

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**“BENEFICIO - COSTO DE RELLENOS FLUIDOS Y RELLENOS DE  
SUELO COMPACTADO”**

**Ana María Cabezas Cabezas**

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de  
Ingeniería Civil

Quito, 11 de Julio del 2010

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio Politécnico**

**HOJA A PROVACIÓN DE TESIS**

**“BENEFICIO - COSTO DE RELLENOS FLUIDOS Y RELLENOS DE SUELO COMPACTADO”**

**Ana María Cabezas Cabezas**

Ing. Cesar Landázuri Soto

Director de Tesis

.....

Ing. Fernando Romo

Miembro del Comité de Tesis

.....

Ing. Cesar Landázuri Soto

Miembro del Comité de Tesis

.....

Ing. Fabricio Yépez

Miembro del Comité de Tesis

.....

Quito, 11 de Julio del 2010

© **Derechos de Autor**

**Ana María Cabezas Cabezas**

**2010**

## DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a todos y cada uno de los que me han visto cursar esta etapa de mi vida y han puesto un granito de arena para que yo la pueda culminar.

En especial a mi madre, por todo lo que me ha dado día tras día, por sus sabios consejos y por apoyarme incondicionalmente en todo lo que he querido incurrir.

A mi hermana Alba María (Garden) porque ha demás de ser un ejemplo a seguir, nunca me ha dejado con la mano extendida en busca de su ayuda.

A mi Cuñado Marco, porque con sus consejos y ayuda me ha hecho ser y crecer como una mejor persona.

A mi tía Pauly, porque así este lejos nunca me ha faltado su palabra de cariño y ayuda en el momento indicado.

A mi prima Deby, porque con ella he compartido cada uno de los momento de mi vida.

A mis amigos con quienes he compartido estos últimos cinco años, porque nunca ha faltado una palabra de aliento o una mano amiga en ningún momento. Porque con ellos he disfrutado de risas, tristezas, malas noches, pruebas.

Pancho, Vic, Fernando, Darcy, Sapusy, Chino, David, Isma, Caleña, Crixs, Estef, Gaby.

A mi enamorado Siegfried, quien con su magia, virtudes, sonrisa siempre me ha levantado cuando estoy triste. Nunca me ha cortado las alas para hacer lo que deseo y porque siempre me ha ayudado en todo.

## AGRADECIMIENTOS

Cuando comencé a escribir los agradecimientos pensé que por descuido podía dejar a alguien importante fuera de la mención, por eso de ante mano pido disculpas en caso de que suceda.

Antes que a todos quiero agradecer a Dios por darme las fuerzas necesarias en los momentos en que más las necesité y bendicirme con la posibilidad de caminar a su lado durante toda mi vida.

También quiero agradecer a mi profesor gurú, el Ingeniero Cesar Ricardo Landázuri quien me orientó y aconsejó durante el tiempo que duró esta tesis. ¡Vamos que se puede!

De igual manera a los profesores de la USFQ, quienes lograron despertar en mí una mente que generadora de preguntas y lo más importante que trate de buscar una respuesta. Además, por forjar en mí a una buena Ingeniera y una mejor persona.

En particular a mi director de Tesis el Ingeniero Cesar Landázuri, por generar en mí un gusto por los suelos y permitirme desarrollar la investigación dentro de su empresa.

No puedo dejar de agradecer a Carlos Rosales, por sus consejos y ayuda desinteresada durante todo el desarrollo de la tesis. ¡Mal Mal Mal..!

Quiero agradecer además a mi amigo Francisco, quien destinó parte importante de su tiempo para ayudarme a cargar suelo, pesar muestras, tomar humedades.

Por último quiero agradecer a “Fabricio Yépez”, “Don Fabián”, “Alicia” quienes estuvieron dispuestos a ayudarme en cualquier circunstancia durante mi recorrido en la USFQ.

## RESUMEN

Hasta la actualidad, en el Ecuador se ha visto como único sistema de rellenos de suelo la compactación con maquinaria. Hoy en día, en varias partes del mundo se utilizan nuevos métodos para rellenos como son los “Rellenos Fluidos”. Por esta razón, se ha realizado un estudio comparativo de los beneficios y costos del sistema de rellenos fluidos versus los rellenos de suelo compactado. El presente trabajo, expone un estudio que está basado en ensayos de laboratorio normados por la ASTM y desarrollo de oficina. Los resultados obtenidos al final de la investigación intentan demostrar, que según el tipo de proyecto a desarrollar, el nuevo método de rellenos (rellenos fluidos) puede llegar a ser más sencillo de utilizar, rentable y eficiente.

## **ABSTRACT**

Nowadays around the World, the strength-control materials are used to replace the antique methods to compact the soils. The “Flowable Fills” is one of these methods. Ecuador is one of the countries that does not use and does not know anything about these new materials. For this reason, the present task compares the advantage and disadvantages of the usage the Flowable Fills with respect to the traditional compaction. All the work is based on laboratory essays, with the ASTM norms, and computer work. At the end of the investigation, the results obtained reflect that depending on the project the new method of fill is better than the compaction soils. The Flowable fill is not only superior in the price but also in the simplicity used and its efficiency.

## Figuras:

Figura 1: Rellenos Fluidos .....	25
Figura 2: Relleno no estructural.....	29
Figura 3: Relleno en Zanjas .....	30
Figura 4: Relleno Fluidos en Taludes .....	31
Figura 5: Teoría de Rankine en Muros.....	32
Figura 6: Tipos de muros y Fuerza Activa del suelo.....	32
Figura 7: Teoría de Rankine en Muros.....	33
Figura 8: Carga sobre Terraplenes (Terraplenes).....	33
Figura 9: Asentamiento con Cono Abierto .....	58
Figura 10: Mezcla con aditivo Espumer .....	59
Figura 11: Mezcla con aditivo Megamix .....	59
Figura 12: Generador de espuma. ....	61
Figura 13: Mezcla Arena- Cemento .....	62
Figura 14: Mezcla Homogénea .....	63
Figura 15: Fluidez de la mezcla .....	64
Figura 16: Piscinas de curado.....	66
Figura 17: Peso y Dimensiones de las muestras.....	67
Figura 18: Extracción de la muestra.....	67
Figura 19: Rotura de muestras .....	68
Figura 20: Muestras fuera de la piscina de curado.....	68
Figura 21: Rotura de Cilindros.....	69
Figura 22: Toma de humedad.....	69
Figura 23: Estructura interna con “Espumer” (cm).....	76
Figura 24: Estructura interna “Espumer + Megamix .....	80
Figura 25: Estructura interna “Barracell” .....	84
Figura 26: Estructura interna “Fill Flow” .....	88
Figura 27: “Probeta antes de ser ensayada .....	105
Figura 28: Fluidez de la muestra.....	132
Figura 29: Mezcla Fluida .....	133
Figura 30: Mezcla Fluida (“Megamix”).....	134
Figura 31: Rotura de cilindros.....	136

## Gráficas:

Gráfica 1: Compactación del suelo .....	56
Gráfica 2: Resistencia Máxima de Compactación .....	74
Gráfica 3: Resistencia mezcla con “Espumer” .....	78
Gráfica 4: Resistencia mezcla con “Megamix” .....	80

Gráfica 5: Resistencia mezcla con “Espumer + Megamix” .....	83
Gráfica 6: Resistencia con variación de concentración aditivo “Barracell” .....	85
Gráfica 7: Resistencia mezcla con “Barracell” .....	87
Gráfica 8: Resistencia mezcla con “Fill Flow” .....	91
Gráfica 9: Resistencia de mezclas al 4% de Cemento.....	92
Gráfica 10: Resistencia de mezclas al 6% de Cemento.....	93
Gráfica 11: Resistencia de mezclas al 8% de Cemento.....	94
Gráfica 12: Densidad Seca de la Línea Base.....	95
Gráfica 13: Densidad Seca de mezclas con “Espumer” .....	96
Gráfica 14: Densidad Seca de mezclas con “Megamix” .....	97
Gráfica 15: Densidad Seca de mezclas con “Espumer + Megamix” .....	98
Gráfica 16: Densidad Seca de mezclas con “Barracell” a diferentes concentraciones. ....	99
Gráfica 17: Densidad Seca de mezclas con “Barracell” .....	99
Gráfica 18: Densidad Seca de mezclas con “Fill Flow” .....	100
Gráfica 19: Densidad Seca de mezclas con “4% de Cemento” .....	101
Gráfica 20: Densidad Seca de mezclas con “6% de Cemento” .....	102
Gráfica 21: Densidad Seca de mezclas con “8% de Cemento” .....	103
Gráfica 22: Resistencia vs. Densidad Seca .....	104
Gráfica 23: Resistencia versus Costo .....	120
Gráfica 24: Densidad versus Costo .....	121
Gráfica 25: Interacción Costo, Resistencia y Densidad. ....	122

### **Matrices:**

Matriz 1: Muestras al 4% de cemento .....	124
Matriz 2: Muestras al 6% de cemento .....	125
Matriz 3: Muestras al 8% de cemento .....	126

### **Tablas:**

Tabla 1: Densidad Máxima y Humedad Óptima.....	55
Tabla 2: Dosificación de los materiales 1 m <sup>3</sup> .....	70
Tabla 3: Dosificación de los materiales 1 m <sup>3</sup> .....	72
Tabla 4: Resumen de Datos de ensayos de compactación del suelo .....	73
Tabla 5: Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Espumer” .....	76
Tabla 6: Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Megamix” .....	79
Tabla 7: Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Espumer + Megamix” .....	81
Tabla 8: Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Barracell” .....	86
Tabla 9: Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Fill Flow” .....	89

Tabla 10: Costo Relleno Compactado.....	109
Tabla 11: Costo Relleno Fluido- “Espumer” .....	110
Tabla 12: Costo Relleno Fluido- “Espumer + Megamix” .....	112
Tabla 13: Costo Relleno Fluido- “Barracell” .....	114
Tabla 14: Costo Relleno Fluido- “Espumer” .....	116
Tabla 15: Resumen de Costos .....	118

## Indice

Introducción .....	15
<b>1 CAPÍTULO: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>16</b>
Alcance y Objetivos .....	16
1.1 Descripción de la tecnología actual.....	18
1.1.1 Compactación del suelo: .....	18
1.1.2 Teoría de Compactación.....	18
1.1.3 Factores que afectan la compactación.....	19
1.1.4 Objetivos de la Compactación.....	20
1.1.5 Compactación en laboratorio.....	20
1.1.6 Proceso de la Compactación de suelos .....	21
1.2 Descripción de la terminología propuesta .....	24
1.2.1 Definición .....	24
1.2.2 Materiales .....	25
1.2.3 Aplicaciones de los rellenos fluidos.....	28
1.2.4 Ventajas.....	34
1.2.5 Propiedades del material antes del fraguado .....	35
1.2.6 Propiedades del Material Endurecido.....	37
1.2.7 Control de Calidad.....	41
<b>2 CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS .....</b>	<b>43</b>
Introducción .....	43
2.1 Selección del material .....	43
2.2 Descripción de Normas y Ensayos.....	44
2.2.1 Descripción del material.....	44
2.3 Muestras.....	54
2.3.1 Línea base.....	54
2.3.2 Mezcla con Aditivo .....	57
2.4 Resistencia.....	66
2.4.1 Compresión simple.....	66
<b>3 CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>
3.1 Resultado de las dosificaciones.....	70

3.2	Resultados de prueba de compresión simple .....	73
3.2.1	Resistencia Línea Base.....	73
3.2.2	Resistencia mezcla con aditivo.....	75
3.3	Resultados de Densidad Seca.....	94
3.3.1	Densidad Seca Línea base .....	95
3.3.2	Densidad seca - mezcla con Aditivo .....	95
3.4	Análisis Resistencia Máxima – Densidad Seca. ....	103
3.5	Retracción de Fraguado .....	104
3.6	Conclusiones .....	105
3.6.1	Mezcla .....	105
3.6.2	Fluidez: .....	106
3.6.3	Resistencia y Densidad:.....	106
3.6.4	Otras:.....	107
4	CAPITULO 4: ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	108
	Introducción .....	108
4.1	Análisis de precios.....	108
4.1.1	Compactación de suelo .....	108
4.1.2	Rellenos Fluidos.....	110
4.2	Matrices de evaluación .....	123
4.2.1	Matriz de evaluación al 4% de cemento: .....	124
4.2.2	Matriz de evaluación al 6% de cemento: .....	125
4.2.3	Matriz de evaluación al 8% de cemento: .....	126
4.3	Conclusiones: .....	128
4.3.1	Análisis .....	128
4.3.2	Costo- Resistencia .....	129
4.3.3	Costo- Densidad .....	130
4.3.4	Otros.....	130
5	CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	131
5.1	Conclusiones .....	131
5.1.1	Mezcla .....	131
5.1.2	Análisis de precios.....	131

5.1.3	Fluidez y Trabajabilidad:.....	132
5.1.4	Porosidad y Permeabilidad .....	134
5.1.5	Colocación .....	135
5.1.6	Fraguado .....	135
5.1.7	Resistencia.....	135
5.1.8	Densidad.....	137
5.1.9	Costo .....	138
5.1.10	Otras.....	139
5.2	Recomendaciones .....	139
Bibliografía .....		141
Anexos.....		144

## **Introducción**

El primer estudio de rellenos fluidos fue dado a conocer en el año 1964. Este fue efectuado por el “U.S. Bureau of Reclamation”. Al término de este análisis se comprobó que los rellenos fluidos eran muy versátiles; por esta razón, en varias partes del mundo, se han comenzado a utilizar como sustituto de los rellenos de suelo comunes (suelo compactado). Países como Estados Unidos, México y Canadá han visto a ésta como una alternativa fácil y rápida de aplicar en cualquier tipo de problema que se refiera a rellenos.

En el Ecuador solo se utilizan rellenos de suelo compactado. En cuanto a esta técnica, se denota que su implementación toma demasiado tiempo, requiere gran cantidad de mano de obra, maquinaria pesada y la obtención de numerosas muestras de campo. Otro punto desfavorable es que este tipo de técnicas restringen al ingeniero, porque en varios casos el peso propio del relleno representa una gran carga muerta, lo que da lugar a diseños de mayor tamaño y por ende de mayor costo.

Al comienzo del estudio de rellenos fluidos se tomaron en cuenta las variables que podían afectar los resultados finales. Una de ellas fue el tipo de suelo, por este motivo se utilizó cenizas volcánicas de una sola zona, las cuales no tienen una clasificación específica y no son completamente homogénea. Se tomó este material, dado que se encuentra en varias zonas en la ciudad de Quito.

Por otro lado, la esencia de un relleno fluido es el aditivo químico que se utiliza, el mismo que permite dar la fluidez e incorpora aire.

Al término de la investigación, se va a tratar de dar a conocer un nuevo método de relleno, tomando en cuenta que tan aplicable y beneficioso puede ser en nuestro país. También se medirá la relación beneficio – costo de dicha técnica ante los rellenos de suelo tradicionales.

## **CAPÍTULO: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **Alcance y Objetivos**

#### **Alcance**

El Proyecto está enfocado en dar a conocer una nueva técnica de rellenos de suelo en el país, esperando que ésta beneficie a todos aquellos que la puedan aplicar. Además se determinarán las ventajas y desventajas de los rellenos fluidos en relación con los rellenos de suelo tradicionales.

Al contrastar ambos métodos y diferenciar todas sus características y beneficios, todo ingeniero civil puede tomar como alternativa el implementar el método de relleno fluido en proyectos civiles o simplemente descartarlo.

El estudio está fundamentado en pruebas de laboratorio basadas en una investigación. Dicha investigación está justificada por medio de estudios realizados y analizados con las normas ASTM Y AASTHO.

Para los dos métodos, se va a utilizar un solo tipo de material, el mismo que fue sacado del “Nuevo Aeropuerto de Quito”.

Con el estudio se pretende mostrar un análisis detallado de la resistencia de ambos rellenos y la utilidad de uno versus el otro. También se hará un breve análisis de precios unitarios, para comprobar si los beneficios se equilibran con el costo en ambos métodos.

De todo esto se obtendrá como resultado el análisis de un nuevo método de relleno, el mismo que al final del proyecto mostrará sus ventajas y desventajas.

## Objetivos

- Utilizar un tipo uniforme de material, proveniente de la misma zona de préstamo, con el propósito de comparar los dos métodos mencionados bajo las mismas condiciones.
- Someter el material a ensayos de control como gravedad específica, granulometría y límites de Atterberg (líquido y plástico) ASTM D4318-05.
- Aplicar los procedimientos establecidos en la norma, para el ensayo de energía de compactación modificado, con un peso específico ( $\gamma$ ) y humedad óptima ( $\omega$ ) del suelo para los rellenos.
- Aplicar los procedimientos establecidos en la norma para rellenos fluidos, utilizando diferentes dosificaciones.
- Utilizar ensayos de resistencia del mismo tipo para las dos tecnologías: compresión simple para la línea base (compactación de suelo) y la muestra con el agente químico (relleno fluido).
- Comparar cambios cuantitativos de resistencia y densidad de los dos materiales.
- Determinar cuáles son las ventajas y desventajas de los dos métodos de rellenos.

- Realizar un análisis económico e ingenieril de los resultados.
- Cuantificar el costo – beneficio de las dos tecnologías.
- Comparar el costo- beneficio de las dos tecnologías.
- Analizar la factibilidad del proyecto con la tecnología de rellenos fluidos en el Ecuador.

## **1.1 Descripción de la tecnología actual**

El Ecuador es uno de los muchos países que utilizan como tecnología de relleno la compactación. Método que permite que el suelo alcance una resistencia.

### **1.1.1 Compactación del suelo:**

Se define como el proceso de aplicación de energía de manera artificial para una muestra de suelo. Esto se realiza con el fin de incrementar la densidad (peso seco unitario), reducir el volumen de vacíos y eliminar el aire contenido en la muestra de suelo. Con esto se logra que el material compactado obtenga una resistencia mucho más alta que en estado natural y a su vez se disminuye la capacidad de deformación. El grado de compactación viene medido en términos de su peso específico seco. (Braja M. Das, pág. 52)

### **1.1.2 Teoría de Compactación**

El hombre ha visto necesario que el suelo sea una masa fuerte capaz de resistir grandes cargas. Por eso los constructores buscaron métodos para lograr esto, tales

como aprisionar la tierra con madera, adquirir resistencias mayores con maquinaria pesada (rodillos) e incluso rellenar con materiales diferentes como hormigón.

En una construcción, si el suelo solamente es descargado, no adquiere resistencia y por ende la infraestructura construida sobre éste es susceptible a colapso.

**R. R. Proctor** es quien exhibió un método de compactación efectiva y segura. Dicho método muestra una relación entre la eficacia de la energía gastada versus el tipo de partículas que forman el suelo, sin embargo todo esto depende la de manera cómo se aplica la energía de compactación. (Tschebotarioff, pág. 89)

### **1.1.3 Factores que afectan la compactación**

El contenido de agua del suelo es de gran influencia en la compactación, pero también es importante conocer el tipo de suelo y el esfuerzo de compactación (energía por volumen unitario).

Es necesario conocer la granulometría (forma de los granos de suelo), la densidad de sólidos del suelo, la cantidad y tipos de minerales arcillosos. Todo esto afecta al peso específico seco y la cantidad de agua óptima para una mejor compactación.

El contenido de agua en una muestra de suelo afecta directamente a la tensión capilar. Una muestra con contenidos de agua bajos, no permite una compactación densa. Esto se debe a que la tensión capilar en los poros del suelo inhibe la tendencia de las partículas a moverse y por esta razón no se logra compactar. He aquí, la importancia de realiza pruebas de energía de compactación, para lograr obtener una humedad óptima y densidad seca máxima, asegurando con esto una resistencia adecuada en el suelo. (Braja M. Das, pág. 57)

#### **1.1.4 Objetivos de la Compactación**

El objetivo principal de la compactación es alcanzar la resistencia necesaria para soportar el peso propio del suelo y el de la estructura que se va a construir sobre éste. Esto se logra porque el suelo pierde todo espacio vacío, llegando a ser una masa sólida firme.

En construcciones civiles los asentamientos y deformaciones por efectos de las cargas aplicadas deben ser mínimos. No es permitido que el suelo tenga asentamientos excesivos y peor aún diferenciales, ya que esto daría lugar a que la estructura se deforme produciendo agrietamiento o derrumbamiento. (Tschebotarioff, pág. 94)

#### **1.1.5 Compactación en laboratorio**

Con el paso de los años se han desarrollado varios métodos para determinar el peso específico seco y la humedad óptima del suelo en laboratorio , estos ensayos pueden ser: energía de compactación estándar y modificada , método giratorio y Harvard miniatura. El método a utilizar en nuestro análisis es el de energía de compactación modificada.

R. R. Proctor fue quien se dio cuenta que la resistencia de un suelo en una vía debe ser el doble de  $2\text{kg/cm}^2$ . Después de esto generó un molde y un martillo compactador, que dé cómo resultado ese valor. Con este estudio, R. R. Proctor presenta su ensayo de

laboratorio de energía de compactación estándar. En la época de la Segunda Guerra Mundial surgió el ensayo de energía de compactación modificado. Esto se debe a que la resistencia necesaria del suelo para esta época era mayor a la establecida en un inicio. La variación entre ambos métodos es el tamaño del molde compactador y el peso del martillo (Energía de Compactación).

El ensayo a utilizar en el presente trabajo es el de **“Energía de compactación Modificada” (ASTM D-1557, AASHTO-180): Compactación del suelo mediante impacto de caída libre.**

La energía que el martillo aplica al suelo es de  $2700 \text{ KN/m/m}^3$ . Al terminar esta prueba se determina la humedad óptima del suelo y su máxima densidad. Esto indica que el suelo tendrá la resistencia adecuada.

#### **1.1.6 Proceso de la Compactación de suelos**

La compactación manual es un proceso que toma demasiado tiempo en una obra civil, dado que el método empleado no se puede llevar a cabo con rapidez. Esto se da porque, en primera instancia, se determina si el material que se tiene en la obra sirve o es necesario acarrear nuevo material. Después, se debe conocer la cantidad de agua para llegar a la humedad óptima y su densidad máxima, realizando el ensayo de energía de compactación. Al tener conocimiento de todo esto, se deben realizar pruebas del

tamaño de capa de compactación. Esto se debe a que en todo suelo los granos poseen diferente estructura (cristales amorfos). Al poseer una estructura diferente, las partículas de suelo se reacomodan en el instante de ser compactadas, permitiendo tamaños de capa diferentes dependiendo del tipo de suelo. Finalmente, compactar un área muy grande en capas de pocos centímetros de espesor es un proceso arduo. Un retraso adicional se genera, por la toma de densidades en campo, método que permite conocer si la compactación fue bien hecha.

En el caso de que la compactación no llegue a cumplir con los requisitos iniciales, el suelo debe ser removido. Al suelo removido se lo vuelve a tratar y compactar. Este proceso se lleva a cabo el número de veces necesarias hasta que las exigencias iniciales cumplan con las finales.

En obras civiles pequeñas, donde se compacta el suelo para rellenar zanjas, cubrir tuberías, rellenos no muy profundos, etc., la obra se retrasa por este proceso. En ciertos casos, donde el espacio a ser compactado es reducido, es muy difícil ingresar con el sapo compactador. Esto no permite que la compactación realizada sea de buena calidad. Esto da como resultado un suelo poco resistente y susceptible a colapsos en el futuro. Esto sucede muy a menudo, porque nadie controla el proceso y la resistencia final.

En caso de obras civiles grandes, como es el “Nuevo Aeropuerto de Quito”, los rellenos alcanzaron alturas de hasta 8m. La magnitud en volumen de suelo que debía ser

humedecido fue enorme. Pensando en este hecho, se crearon piscinas para lograr agilizar el proceso de humedecimiento del suelo (alcanzar la humedad óptima). Este proceso fue realizado porque se conoce que la cantidad de agua juega un papel muy importante en la compactación (El agua que fluye entre las partículas permite que la compactación sea más sencilla). El suelo con la humedad óptima fue colocado en sitio y las compactadoras mecánicas lo amasaron hasta llegar al grado necesario de compactación. Al ser una obra tan importante, el sistema de control fue muy estricto. La densidad de campo y densímetro nuclear, permitieron controlar el porcentaje de compactación. Completar el proceso tomó meses.

En muchos casos los rellenos de suelo compactados conllevan a grandes problemas. Por esta razón, se ha pensado estudiar un nuevo método de rellenos. Este método puede llegar a agilizar el proceso de compactación, consiguiendo una mejor calidad, menor tiempo, un precio conveniente y mayor rendimiento.

En cuanto a la permeabilidad del suelo luego de ser compactado, es muy poco. La estructura del suelo pierde todo espacio vacío por tanto se vuelve poco permeable.

## **1.2 Descripción de la terminología propuesta**

### **1.2.1 Definición**

Los rellenos fluidos (Flowable Fills) o Materiales de baja resistencia controlada (CLSM) son un material utilizado en varias partes del mundo. La ACI 229R-99, presentan las normas en las cuales debe fundamentar cualquier análisis sobre estos materiales. (ACI 229R-99 pág.1)

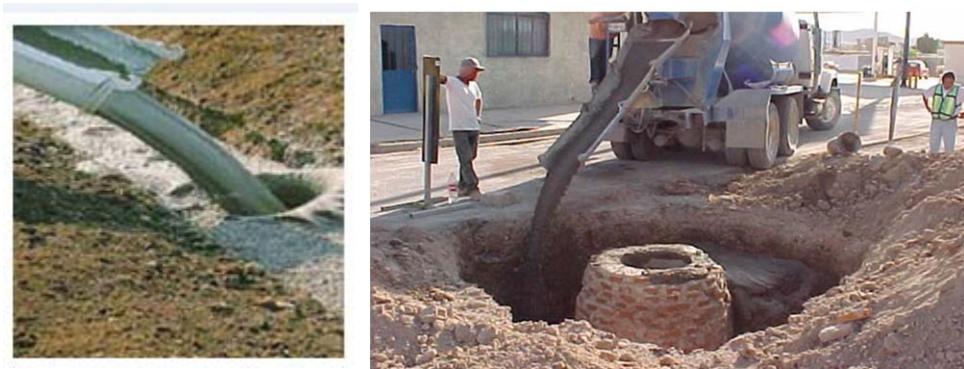
Los rellenos fluidos son la mezcla de suelo, agua, cemento y aditivo espumante. Este material puede llegar a una resistencia a la compresión máxima de 85 kg/cm<sup>2</sup>. Cabe recalcar que no es un hormigón y tampoco puede remplazarlo (ACI 116R).

Este tipo de relleno se auto compacta bajo su propio peso, no se sedimenta, es de fácil nivelación, mínima retracción de fraguado, tiene una densidad controlada (con lo cual se puede disminuir su peso propio) y al ser fluido puede llegar a áreas de difícil acceso.

Otra de sus múltiples ventajas es que no necesita ser vibrado, su colocación es muy sencilla y presenta asentamientos mínimos. Además, se ahorra en mano de obra, equipos y sobre todo en tiempo. Por estas razones, los rellenos fluidos son muy

utilizados hoy en día, ya **que se ha visto en ellos gran versatilidad en comparación con los rellenos de suelo compactado.**

Una propiedad muy importante de los rellenos fluidos, es que pueden ser variables tanto en resistencia, consistencia y trabajabilidad. Todas estas propiedades pueden ser modificadas dependiendo la dosificación de sus componentes. (CIP 17 Rellenos Fluidos)



(“Todo lo que busca en un buen concreto”)

**Figura 1:** Rellenos Fluidos

### 1.2.2 Materiales

Los rellenos fluidos, como primer objetivo, buscan ayudar y simplificar la ingeniería, por esa razón los materiales que se utilizan es su preparación son los siguientes:

➤ **Cemento**

El cemento que se utiliza es el Portland Tipo I o II (Norma: ASTM C 150 o AASHTO M-85), de “Cementos Selva Alegre”. La norma nos indica que también se puede utilizar variantes (Norma: ASTM C-595), siempre y cuando se haya realizado pruebas con ese tipo de cemento y los resultados obtenidos pasen todas las especificaciones de la norma. (ACI 229R-RR pág. 5)

➤ **Suelo**

El agregado que se debe utilizar es una arena con gran cantidad de finos. Existe la posibilidad de mezclar arena natural con arena artificial para mejorar las propiedades cementicias. No debe ser un material clasificado. Es preferible que sea poco plástico, en caso de no serlo, se debe tomar medidas ante la retracción de fraguado porque se verá afectada. (ACI 229R-99, Pág. 5)

➤ **Agua**

Permite que todos los materiales se vuelvan uno solo. La cantidad de ésta no está predeterminada y varía según las necesidades: se debe ir experimentando con diferentes porcentajes hasta llegar a la relación que sea más conveniente y que proporcione las características deseadas. (ACI 229R-99, Pág. 5)

➤ **Aditivo Químico**

Básicamente es un producto inclusor de aire, que permite generar espacios vacíos, dar una consistencia más fluida y mejorar el desempeño. El aditivo no puede incluir más

de un 6% de vacíos, ya que esto daría lugar a que el material se segregue. Solo en caso de tener un material que permita una perfecta cohesión (muchos finos), se puede generar un 15% a 20% de espacios vacíos. (ACI 229R-99, Pág. 5)

Para las presentes pruebas se van a utilizar cuatro tipos de aditivos: tres inclusores de aire (uno de forma física, dos de forma química) y un reductor de agua.

Como se manifiesta en la norma ACI 229R-99, la cantidad de aditivo viene dada según las recomendaciones del fabricante y el tipo de mezcla que se desee utilizar. Cabe recalcar que los aditivos usados cumplen con las especificaciones de la norma C 260-00 o C 260-01 y C 233-00.

Los generadores de vacíos están hechos a base de sulfato de aluminio. Este compuesto, al estar presente en la mezcla, reacciona con el cemento en presencia de agua. El sulfato de aluminio reacciona con el tetra silicato de calcio generando dióxido de carbono. Este queda dentro de la muestra en forma de burbujas (espacios vacíos).

“**Espumer**”, producto fabricado por Adimix, es el inductor de aire. Este compuesto es un líquido de color azul, no tóxico, con densidad baja igual a la del agua ( $\rho=1 \text{ g/cm}^3$ ). Su uso más común es en morteros celulares, morteros livianos, hormigón poroso.

“**Fill Flow**” es un aditivo químico en polvo a base surfactantes, que permiten la inclusión de burbujas de aire al reaccionar con el cemento. Esto se debe a su alta concentración de minerales. Este producto no tiene cloruros de calcio u otros compuestos que puedan corroer al relleno. También actúa como un superplastificante que ayuda a reducir la cantidad de agua y por ende mejora la resistencia final de rellenos. (Fill Flow, Production Bolletin #1)

Por otro lado se utilizó inclusores de aire por medio físico. Se denomina inclusor de aire físico a aquellos aditivos que generan espuma por medio de un compresor de aire. Dicha espuma es muy estable, así que se adhiere a la mezcla del suelo, cemento y agua. Un producto de este tipo es “**Barracell**”, producido por Basf. El cual permite generar espuma, dando como resultado una mezcla homogénea y fluida con reducción de agua.

La resistencia de la mezcla suelo-cemento se ve modificada por la cantidad de agua que se incluye, por eso es importante el uso de un súper- plastificante. “**Megamix 350**”, es un aditivo reductor de agua a base de poly-carboxil-naftaleno, totalmente libre de cloros. Su función es permitir tener una muestra más fluida con poco contenido de agua. Ayuda a dispersar las partículas y rompe los grumos del cemento. Su densidad es de  $\rho=1.19 \text{ g/cm}^3$ .

En rellenos fluidos se rempazan la energía de compactación por aditivos químicos, lo que permiten que el material sea fluido y obtenga resistencia.

### **1.2.3 Aplicaciones de los rellenos fluidos**

Sus principales usos radican en rellenos estructurales y rellenos de excavaciones, suplantando a los rellenos de suelo compactado. Esto se debe a que el relleno fluido no necesita compactarse y puede ser elaborado con considerable fluidez para llegar a zonas de difícil acceso. (ACI 229R-99, Pág. 2)

- **Rellenos estructurales**

Dependiendo de su composición puede tener resistencias muy altas, permitiendo ser usados como bases de cimientos, sub-bases de pisos, bases para pavimentos, excavaciones de pilotes, etc. (ACI 229R-99, Pág. 3-4)

- **Rellenos Simple (Backfills)**

Estos pueden ser rellenos de pequeñas excavaciones, huecos, trincheras, estribos de puentes, recubrimientos de conductos, muros de contención u otros lugares donde se realiza compactación manual, la misma que asegura una resistencia de carga adecuada. (ACI 229R-99, Pág. 2-3)



(Flyashdirect)

**Figura 2:** Relleno no estructural

En algunas países ya se ha normado que las excavaciones de zanjas, deben ser rellenadas únicamente de con rellenos fluidos. Esto permite tener un mayor control de la calidad de relleno final. También, es ocasiones el espacio a compactar es muy estrecho, por ende no se puede introducir la maquina compactadora.



(Concrete Division)

**Figura 3:** Relleno en Zanjas

- **Otros Usos**

También se han empleado estos rellenos en pozos, alcantarillas de túneles, cimientos y estructuras subterráneas, control de erosión, aislamiento térmico, terraplenes, estribos de puentes, rellenos de muros y estabilidad de taludes, etc. ((ACI 229R-99, Pág. 3-5)

➤ **Taludes:** En muchas ocasiones éstos son problemáticos, más aún cuando el suelo es inestable y se erosiona con facilidad. Los rellenos fluidos se han visto como técnica para la estabilidad de éstos. La figura 3 muestra el proceso constructivo de un talud revestido con rellenos fluidos.



**Talud en estado natural**



**Construcción del Encofrado**



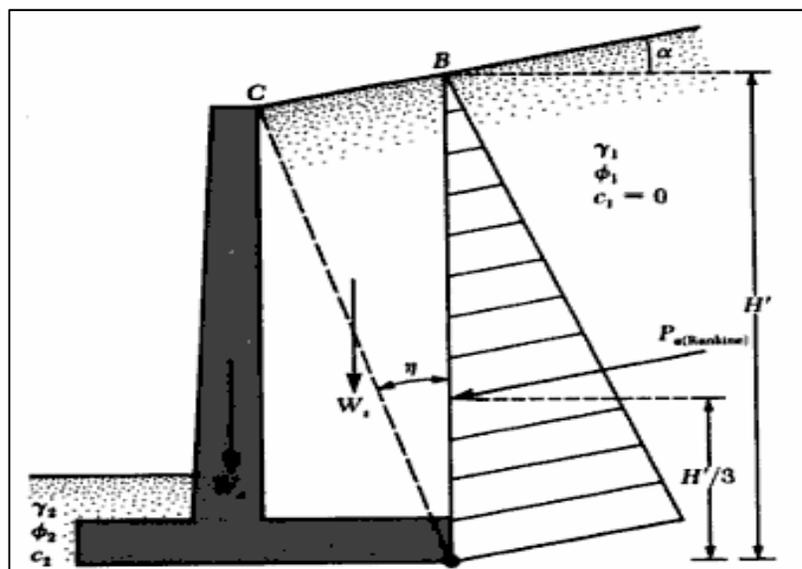
**Colocación del Material**



**Talud Estabilizado**

**Figura 4:** Relleno Fluidos en Taludes

➤ **Relleno de Muros:** Con la teoría de Rankine, se determinó que la fuerza del empuje activo del suelo sobre la estructura genera un aumento en el dimensionamiento del muro. Este hecho permite que el costo del muro aumente. Los rellenos fluidos por la incorporación de vacíos en su estructura permiten disminuir el peso del relleno. Por lo tanto, existe una disminución de la fuerza activa del muro. Lo que da lugar a muros con secciones menores que las de suelo compactado.

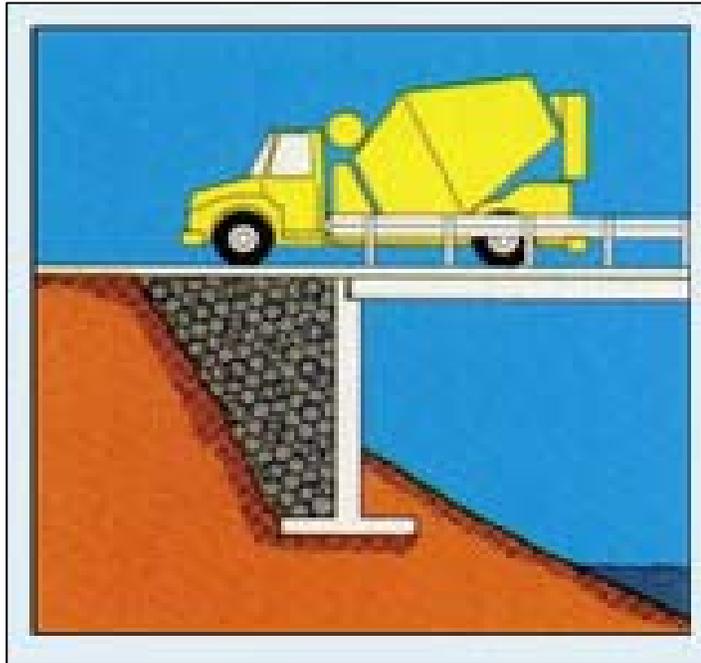


**Figura 5:** Teoría de Rankine en Muros  
(Braja M. Pág 448)



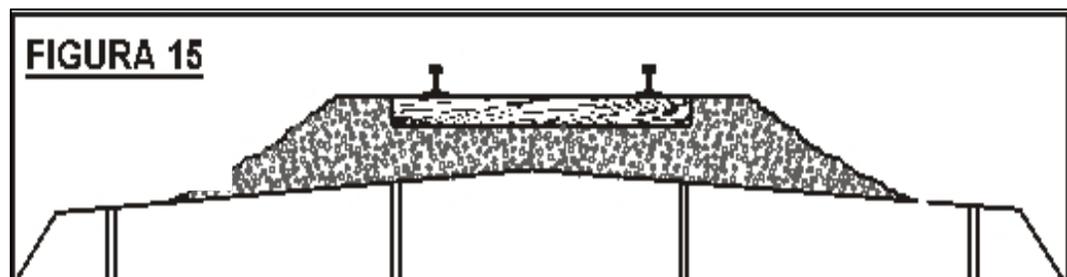
**Figura 6:** Tipos de muros y Fuerza Activa del suelo  
(Mecánica de suelos, Pág 367)

- **Estribos de puentes:** al igual que en la teoría de muros, el peso del relleno disminuye permitiendo construir estructuras con menores dimensiones.



**Figura 7: Teoría de Rankine en Muros (Geotechnical Applications)**

- **Terraplenes:** en caso de uso de rellenos fluidos en terraplenes la disminución del peso es alrededor del 20%.



**Figura 8: Carga sobre Terraplenes (Terraplenes)**

#### 1.2.4 Ventajas

Como ya se ha mencionado, los rellenos fluidos tienen múltiples ventajas, pero entre ellas se destacan:

- Su alta trabajabilidad, que permite colocarlo en zonas estrechas y de poco accesibles.
- No requiere vibración, ni compactación.
- Se vacía en un punto determinado y se distribuye con muy poco personal.
- Disminuye costos de mano de obra.
- Es de fácil remoción o re-excavación.
- Reduce el volumen de excavación.
- Es más resistente y durable que los rellenos de suelo compactado.
- No presenta cambios volumétricos.
- No necesita ser colocado en capas.
- La lluvia, en general, no impide su colocación.
- Garantiza un relleno uniforme alrededor de tuberías y líneas soterradas.
- Secado rápido, lo que da lugar a una esperar de utilización corta.
- No se erosiona con facilidad ante climas inclementes.

(ACI 229R, pág. 3)

### 1.2.5 Propiedades del material antes del fraguado

#### ➤ **Fluidez**

Esta propiedad es la que diferencia a los rellenos fluidos de los relleno de suelo compactado y permite que al momento de la colocación del relleno este fluya llenando espacios vacíos, se auto-nivele y se auto-compacte por su peso propio. El material no necesita de la ayuda de maquinaria convencional de compactación. Esto da lugar a que el relleno no requiera vibración ni compactación. La fluidez puede variar con la dosificación de los materiales según las especificaciones que se desee obtener. (ACI 229R pág., 7)

El ensayo propuesto para determinar la fluidez es:

- Ensayo de flujo modificado con cilindro de extremo abierto de 7,62 x 15,24cm. (ASTM C 6103)

#### ➤ **Segregación**

Cuando la mezcla es demasiado fluida, puede ocurrir que los materiales se separen. Por esta razón se recomienda controlar rigurosamente la adición de agua. Para obtener un relleno muy fluido el material utilizado debe contener grandes cantidades de finos, lo que permite alta cohesión y por ende no existe segregación. De ser posible, el material con finos debe ser ensayado en laboratorio antes de su utilización en el relleno. (ACI 229R pág., 8)

➤ **Contracción**

Es uno de los mayores inconvenientes en el proceso de endurecimiento de la mezcla. La eliminación de agua y aire retenidos en sus poros permite que la mezcla se reduzca en volumen. El agua que se encuentra en demasía debe ser empleada ya sea para la fluidez de la muestra, para endurecerla o hidratarla. En caso de no ser así, la muestra elimina el agua, la cual es absorbida por el suelo que se encuentra alrededor o se evapora en la superficie del relleno.

La contracción está directamente relacionada con la cantidad de agua, así que los suelos que no poseen este líquido en grandes cantidades no experimentan cambios en su altura. Los valores típicos de contracción para probetas de muestra con contenidos altos de agua son de 3.1mm hasta 6.35mm por cada 30cm de profundidad. (“RELLENO FLUIDO”, pág. 2)

➤ **Tiempo de fraguado**

El tiempo de fraguado es el tiempo requerido para que la muestra pase de un estado plástico a un estado endurecido, obteniendo la resistencia adecuada en obra. La mezcla elimina el agua en exceso, permitiendo la formación de una masa sólida, ya que las partículas se alinean y se ponen en contacto íntimo. Los factores que afectan el tiempo de fraguado son:

- Tipo y cantidad de cemento.
- Permeabilidad y grado de saturación del suelo que se encuentra alrededor de relleno fluido.
- La fluidez del relleno fluido.

- La dosificación del relleno fluido.
- Temperatura del ambiente y de la mezcla.
- Humedad.
- Espesor del relleno.

El tiempo de fraguado estará comprendido entre 3 a 5 horas bajo condiciones normales de clima. (“RELLENO FLUIDO”, pág. 3)

### **1.2.6 Propiedades del Material Endurecido**

Las propiedades del material están relacionadas directamente con la dosificación. La cantidad de cada uno de los materiales permite variar las propiedades que se deseen obtener. Estas propiedades son:

#### **➤ Resistencia**

Se refiere a la capacidad de soporte de cargas de un relleno fluido. Un suelo sometido a compresión simple bien compactado alcanza una resistencia entre 3,5 a 12 kg/cm<sup>2</sup>. Un relleno fluido con dosificaciones adecuadas alcanza una resistencia de hasta 85 kg/cm<sup>2</sup>. (ACI 229R pág., 7)

La resistencia del relleno fluido está dada según la utilidad que se le va dar al relleno (Norma, ASTM C-139) :

- Zanjas: 5 kg/cm<sup>2</sup>

- Bases de andenes: entre 10 y 20 kg/cm<sup>2</sup>
- Bases de pavimentos: entre 21 y 85 kg/cm<sup>2</sup>

(ACI 229R pág., 8)

#### ➤ **Resistencia a la Meteorización<sup>1</sup> e Intemperización**

Es muy importante hacer un estudio de resistencia según ciclos de humedecimiento y secado; ya que, resistencia del suelo a cambios de temperatura varía. Se puede ver afectada notablemente si no se estudia su comportamiento.

#### ➤ **Densidad**

Este tipo de relleno, al poseer un aditivo incorporador de aire, permite que su densidad baje. Esta propiedad puede varía en tanto cambie la relación agua – cemento- aditivo. La magnitud de la densidad en sitio se encuentra entre 1842 a 2322 kg/m<sup>3</sup>. La densidad seca es de 1440 a 1600 kg/m<sup>3</sup>. (ACI 229R pág., 7)

#### ➤ **Permeabilidad**

Esta característica no es similar a la de los rellenos de suelo compactados. El material es mucho más permeable. La porosidad que adquiere el material por acción del espumante permite la el paso de agua a través de él. Los valores típicos se encuentran en un rango de 10<sup>-4</sup> a 10<sup>-5</sup> cm/seg. La permeabilidad varía de acuerdo a la cantidad del material

---

<sup>1</sup> , La meteorización o intemperización es la alteración de las rocas a causa de modificaciones mineralógicas o químicas, inducidas por agentes superficiales”.

cementante, estos valores pueden llegar a ser menores de  $10^{-7}$  cm/seg. Valores que se obtienen según la porosidad del material. (ACI 229R pág., 8)

➤ **Retracción de fraguado**

La resistencia del relleno fluido no se ve afectada por la retracción, ya que esta es mínima. Los valores de retracción lineal fluctúan entre 0.022 a 0.05 por ciento de toda la masa. Esto se debe a que el aditivo químico es el que permite la fluidez, con lo que se reduce el contenido de agua. Con una muestra con poco contenido de agua, la retracción es mínima. (ACI 229R pág., 8)

➤ **Excavación o socavación**

Los rellenos fluidos, después del endurecimiento, no pueden dejar de ser excavables. Puesto que en muchas obras en etapas posteriores a la colocación del material puede ser necesaria su remoción. Materiales con resistencia de 0.3 MPa pueden ser removidos de forma manual, pero materiales con resistencia superior necesitan de una maquinaria especial como una retroexcavadora. No existe una norma que manifiesta el valor de socavación necesaria para un relleno fluido, esto varía según el material y su resistencia. (ACI 229R pág. 8)

➤ **Asentamiento**

Está relacionado directamente con la cantidad de agua, si ésta es elevada el asentamiento puede ser de alrededor de unos 20cm. Si el relleno fluido tiene gran inclusión

de aire, contiene muy poca agua así que no presenta asentamiento alguno. (CIP 17 Rellenos Fluidos, pág., 2)

### ➤ **Transporte**

Los rellenos fluidos pueden ser preparados en el lugar de obra o en un mixer. Si éste es preparado en obra, los materiales se mezclan en el interior de la concreteira y luego se los coloca como relleno. Si la cantidad de mezcla es muy grande se la prepara en una planta, la misma que transporta el relleno en un mixer. El mixer debe agitar la mezcla constantemente durante todo el transporte y el tiempo de espera de descarga. Con esto se logra que el material siempre se encuentre en suspensión y no existe una posible segregación. (ACI 229R pág., 11)

### ➤ **Colocación**

Los rellenos fluidos se colocan directamente en el lugar determinado por medio de bandas transportadoras, rampas, baldes, palas o bombas. Esto depende de la accesibilidad del lugar. Una de las cosas que se deben tomar en cuenta, es el que el instrumento de descarga cumpla con las normas especificadas. Con esto se logra que el mismo instrumento segregue al material.

Dada la fluidez del material, éste puede recorrer grandes espacios, llega a lugares de difícil acceso y una de las cosas más importantes es que se auto nivela. Por otro lado, no es necesario limpiar la base donde se coloca el relleno, ya que el material se introduce directamente en las cavidades y envuelve las impurezas.

Par rellenar zanjas o espacios pequeños, se lo hace de forma continua. Si la construcción se la está llevando a cabo por etapas o uno de los extremos de la misma es abierto, el relleno puede ser retenido, con formaletas, sacos de arena o barreras de arena hasta que el relleno este completamente duro.

En caso de rellenos sobre tuberías y muros se debe colocar el material en capas, esperando que cada una de ellas endurezca antes de colocar la siguiente. Esto se da porque el relleno no es auto portante. Si cada una de las capas se endurece antes de colocarse la siguiente, no se tiene problemas de generar sobrecarga en las capas inferiores.

El relleno fluido en áreas confinadas puede ser colocado directamente sobre agua, sin tener problemas de segregación del material, ya que permite que el agua a flore a la superficie para ser removida. (ACI 229R, pág. 11) - (“RELLENO FLUIDO”, pág. 4)

### **1.2.7 Control de Calidad**

Permite determinar si el material que se está usando brinda todas las propiedades que se necesita.

#### **➤ Consistencia y Masa unitaria**

Estas dos propiedades son determinantes. Dependen de la experiencia de la persona que realizó la mezcla, la aplicación que se le va a dar al relleno, la materia prima que se va a utilizar y calidad del relleno que se necesita. Los rellenos pueden ir desde muy fluidos con

resistencias muy bajas hasta rellenos casi plásticos con mejor resistencia. (ACI 229R, pág. 11)

➤ **Consistencia**

Permite conocer que tan fluido es nuestro material. (Ensayo de Fluidez)

➤ **Resistencia**

Permite conocer si el relleno tiene la capacidad de carga que se esperaba. Existen varios ensayos, pero el más común es el de compresión no confinada (ensayo de compresión simple), pero también se puede usar otro tipo de ensayos como el penetrómetro o el ensayo de placa cargada. (“RELLENO FLUIDO”, pág. 5-6)

**Nota:**

Es necesario recalcar que el relleno fluido es un tipo de Suelo Cemento que no necesita ser compactado.

## **CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS**

### **Introducción**

En el siguiente capítulo se define teóricamente como se realizan los ensayos de laboratorio y también se especifica el material que se va a utilizar.

Todos los ensayos de laboratorio están basados bajo normas. Las normas que se van a utilizar son las de la ACI (American Concrete Institute), ASTM (American Society for Testing and Materials) o AASHTO (American Association of State Highway & Transportation Officials). Lo que da lugar a la fiabilidad de los estudios que se van a realizar para los dos diferentes métodos de rellenos.

### **2.1 Selección del material**

El suelo empleado para los dos procesos de rellenos es el mismo. Los ensayos solo fueron realizados con un tipo de material.

La selección del material es una de las cosas más importantes porque permite variar las propiedades físicas del relleno. Las propiedades a modificar son la fluidez (Rellenos Fluido) y la resistencia a la compresión (en Rellenos Granulares y Fluidos).

Como se empleó el mismo suelo para las dos diferentes técnicas el enfoque del trabajo será en las normas de selección del material establecidas para rellenos fluidos, ya que este material debe cumplir normas más estrictas que los Rellenos de suelo compactado.

El suelo seleccionado es una arena muy fina, la misma que se obtuvo del terreno donde se construye el Nuevo Aeropuerto de Quito ( NQI-A Tababela, Profundidad 1.50m).

## **2.2 Descripción de Normas y Ensayos**

### **2.2.1 Descripción del material**

La norma ASTM C 33 presenta las especificaciones técnicas que debe poseer el material para ser utilizado como agregado en rellenos fluidos. La descripción del suelo es una arena muy fina con poco contenido de grava. Para arenas naturales, como mínimo deben permitir que un 10% (en peso) de la muestra pase el tamiz No. 200 y no debe tener agregados de tamaño mayor a (3/4) in. En caso de ser arenas de canteras, el agregado de tamaño nominal máximo puede ser (3/8) in. (ACI R99-99, pág. 6)

La norma también indica que en varios casos se puede utilizar materiales no estandarizados (que no cumplan rígidamente con las especificación). Esto puede resultar económico y es aplicable al caso de estudio. De esta manera, se considera posible el uso de un material no clasificado, pero que cumpla con todos los requerimientos de la obra. (ACI R99-99, pág. 7)

### 2.2.1.1 Granulometría

El ensayo granulométrico para la selección de este material fue el mismo que se utiliza para determinar las características de cualquier otro material.

Las pruebas de selección fueron realizadas a cuatro diferentes tipos de suelo. Las muestras fueron tomadas de forma alterada, es decir, el suelo fue removido con la ayuda de una pala, puesto en costales y trasladado hasta el laboratorio.

➤ **Análisis Granulométrico- Método Mecánico.**

En primer lugar se determinó el contenido de humedad (Norma ASTM D2216-71) y Gravedad específica (Norma ASTM D854-54).

La **Humedad** es un valor que sirve para el cálculo de la granulometría y provee un dato referencial para conocer las condiciones en que se encuentra la muestra de suelo en sitio.

La **Gravedad Específica** no es un valor referencial para la clasificación de los minerales dentro del suelos. Si los valores de Gravedad Especifica están en un rango normal (2.3 a 2.7) indican suelos provenientes de sílice (que es lo que se necesita). Si el valor de Gravedad Especifica es mucho mayor (2.75 -3.00), la muestra puede tener contenidos de minerales de hierro (hecho que convendría). (Bowles, pág. 62-65)

**Granulometría** de suelo, Norma AASTHO T87-70 (Preparación de la muestra); ATSM D421-58 Y D422-63 (Ensayo de la muestra).

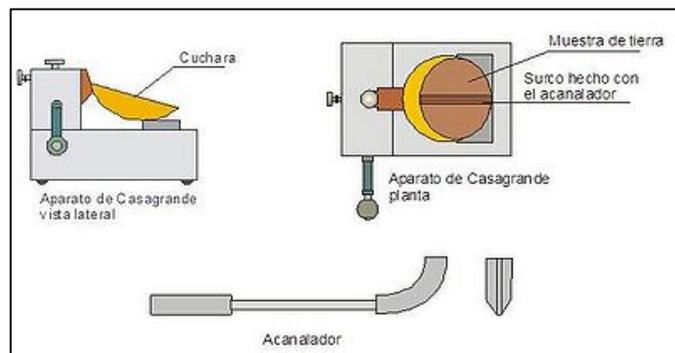
Las cuatro muestras seleccionadas presentaban grandes contenidos de finos; ninguna posee tamaños de agregado mayores a lo especificado o que queden retenidos en el tamiz No. 4. La granulometría fue realizada por lavado.

### 2.2.1.2 Propiedad índice del material.

#### ➤ Limite líquido

Normas AATHO T89-69, ASTM 423-66

“Se define como **límite líquido** al contenido de humedad por debajo del cual la muestra se comporta como una material plástico”. (Bowles, Pág. 15-25)



**Figura 8 : Aparato de Casagrande**

#### ➤ Limite plástico

Normas, AASTHO T90-70, ASTM D424-59.

“Se denomina **Límite Plástico** al contenido de humedad por debajo del cual el material se comporta como material no plástico.” (Bowles, pág. 16)



**Figura 9 : Aparato para límite plástico**

Para las muestras que se utilizaron en todo el análisis no fue posible realizar estos ensayos, porque el material era no plástico.

### **2.2.1.3 Descripción exacta del tipo de material**

Los ensayos antes mencionados fueron aplicados a las cuatro muestras. Los resultados obtenidos de los análisis proporcionaron datos para la elección del material a usar en el resto de las pruebas.

Los cuatro diferentes suelos ensayados se obtuvieron del terreno donde se construye el nuevo aeropuerto. Todas las muestras son de la misma zona, pero de localidades y profundidades diferentes.

Las pruebas proporcionaron detalles de la granulometría, propiedades índice, humedad y gravedad específica. Las muestras fueron no plásticas, así que fue imposible hacer límite líquido y plástico.

A continuación se muestran las gráficas de las granulometrías de todos los suelos y en detalle los datos del suelo a utilizar en el resto de la investigación. Los demás datos y cálculos se encuentran en el **Anexo 1**.

**Muestra 1:** Muestra que va a ser utilizada durante toda la investigación

---

**Análisis del tipo de suelo**

---

**Muestra**

NQI-A Tababela 19-01-10

Profundidad 1.50m

**Peso Tarro** 11.2 gr.

**Peso suelo + Tarro** 453.4 gr.

**Peso Suelo Húmedo:** 442.2 gr.

**Peso Usado en la serie fina:** 442.2 gr.

---

**Humedad Natural**

---

Capsula N°	Peso Cápsula		Peso Cápsula	%Humedad
	Suelo Húmedo gr.	Suelo Seco gr.		
B3	67.4	65.8	16.7	3.25
B4	63.9	62.5	16.1	3.01

**% de humedad** 3.138 %

**Peso seco** 428.32 gr.

---

**Análisis Granulométrico**

---

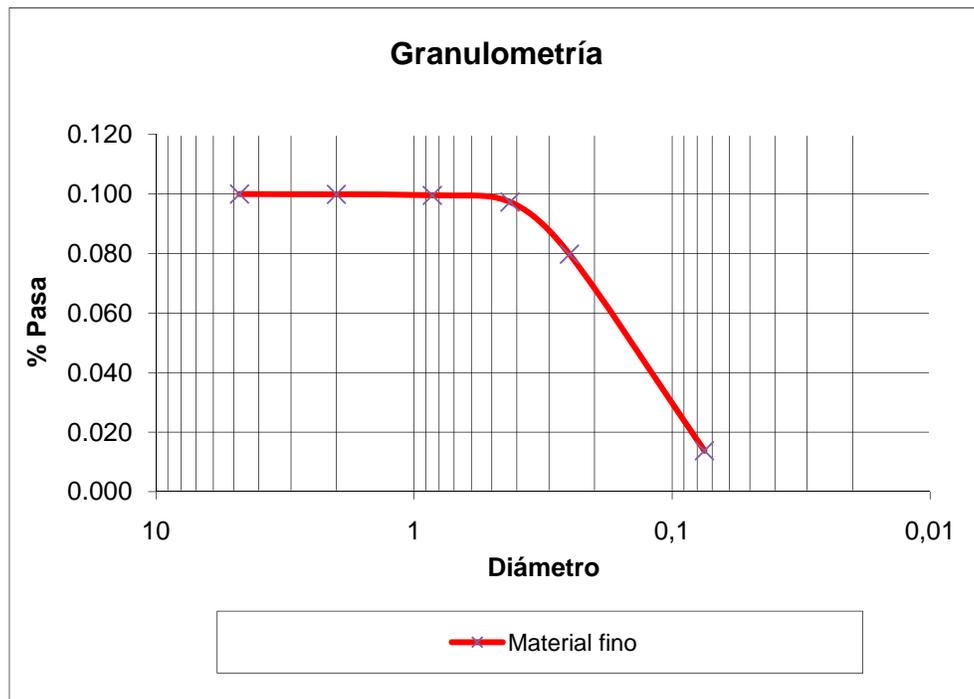
<b>Diámetros mm</b>	<b>Tamiz</b>	<b>Peso Retenido</b>	<b>% Ret.</b>	<b>%Pasa</b>
		gr.		
<b>SERIE GRUESA</b>				
76.2	<b>3</b>	0	0	100
50.8	<b>2</b>	0	0	100
38.1	<b>1-(1/2)</b>	0	0	100
25.4	<b>1</b>	0	0.000	100.000
19.05	<b>(3/4)</b>	0	0.000	100.000
9.525	<b>(3/8)</b>	0	0.000	100.000
4.75	<b>N°4</b>	0	0.000	100.000
	<b>pasa N°4</b>	0	0.000	100.000
<b>SERIE FINA</b>				
2	<b>10</b>	0.44	0.103	99.897
0.85	<b>20</b>	1.50	0.350	99.547
0.425	<b>40</b>	9.90	2.311	97.338

0.25	<b>60</b>	76.70	17.907	79.782
0.075	<b>200</b>	292.80	68.359	13.734
	<b>pasa 200</b>	381.34	89.031	

---

**Curva Granulométrica**

---



	<b>Mm</b>		
<b>D10</b>	0.07	<b>Cu</b>	2.82
<b>D30</b>	0.12	<b>Cc</b>	1.01
<b>D60</b>	0.20		

**Nota:** La muestra es nada plástica, los límites no se pueden hacer

---

**Gravedad Específica**


---

Peso del tarro	90.26 Gr	
Peso del suelo secado al horno	125.6 gr	
Peso del Picnómetro + Agua destilada a 20 C		162 Gr
Peso del suelo seco		35.34 Gr
Peso del picnómetro +Suelo Seco		183.74 Gr

**Gravedad Especifica (GS)** 2.60 gr

**Muestra 2**


---

**Análisis del tipo de suelo**


---

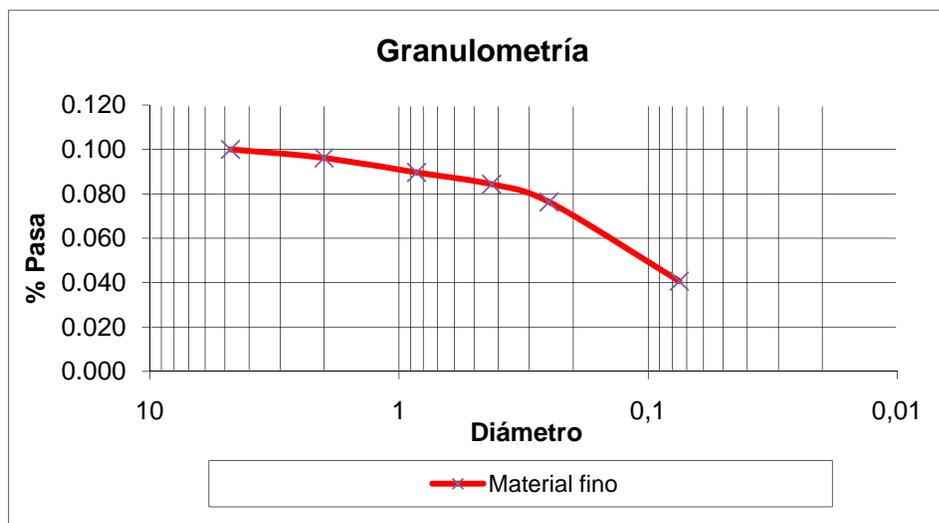
**Muestra**

NQI-A Tababela - Laguna de depósito 19-01-10

Profundidad 12m

**Curva Granulométrica**


---



**Muestra 3**

---

**Análisis del tipo de suelo**

---

---

**Muestra**

NQI-A Tababela - Stock 19-01-10

Hangares GR7

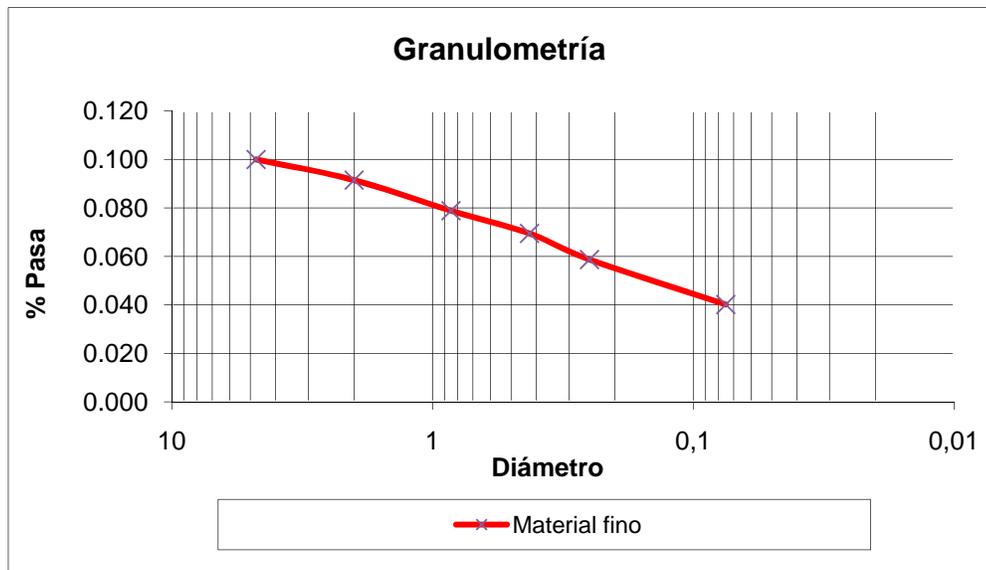
Profundidad 7.5 m

---

**Curva Granulométrica**

---

---



**Muestra 4**

---

**Análisis del tipo de suelo**

---

---

**Muestra**

NQI-A Tababela – Área de Corte GC3- Vía perimetral-Laguna

19-01-10

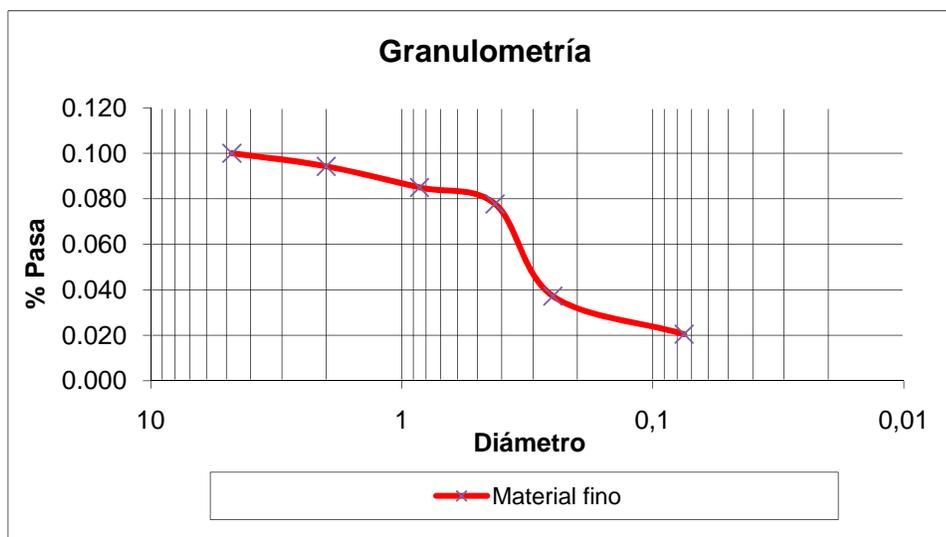
Profundidad 12m

---

**Curva Granulométrica**

---

---



Las curvas granulométricas de todas las muestras son similares, pero la muestra 1 fue la que menos contenido de finos poseía, sin embargo se encuentra en el rango recomendable de la norma (ASTM C 33). No se quiso trabajar con una muestra con mucho

contenido de finos, ya que está necesita una proporción mayor de agua y podría ser perjudicial para los ensayos de compactación de rellenos de suelo compactado.

Para permitir un lenguaje común en el campo de la ingeniería, los suelos han sido clasificados en grupos y subgrupos. La clasificación se ha basado en el tamaño de los granos y de sus propiedades índices. Los Sistemas de Clasificación son el AASTHO (usado por ingenieros viales) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS (usados por los geotécnicos).

Por tanto, al conocer la granulometría y propiedades índice de la muestra, el resultado del tipo de suelo según la AASTHO es una Arena Fina, nada plástica, un suelo tipo **A-3**. (Braja M, pág. 36)

En la clasificación de la ASTM, es un suelo SM, una arena limo-arcillosa nada plástica. (Braja M, pág. 42)

## **2.3 Muestras**

### **2.3.1 Línea base**

Como línea base se llamó al proceso de análisis de rellenos de suelo compactado. El análisis de laboratorio para este tipo de rellenos es muy sencillo. El ensayo de energía de compactación modificada, que presenta el valor de la densidad – humedad, es lo que se aplicó.

➤ **Ensayo de “Energía de Compactación Modificado Tipo A”** (Norma AASTHO T180-70, ASTM D1557-70)

Es el ensayo que permite, conocer cuál es la humedad que debe tener el suelo para alcanzar la densidad máxima y con esto alcanzar la resistencia máxima.

**Humedad óptima** es la cantidad de agua que debe tener el suelo para llegar al valor máximo de densidad. Porcentaje que demuestra que el suelo a usarse tendrá la resistencia máxima. (Bowles, pág. 83)

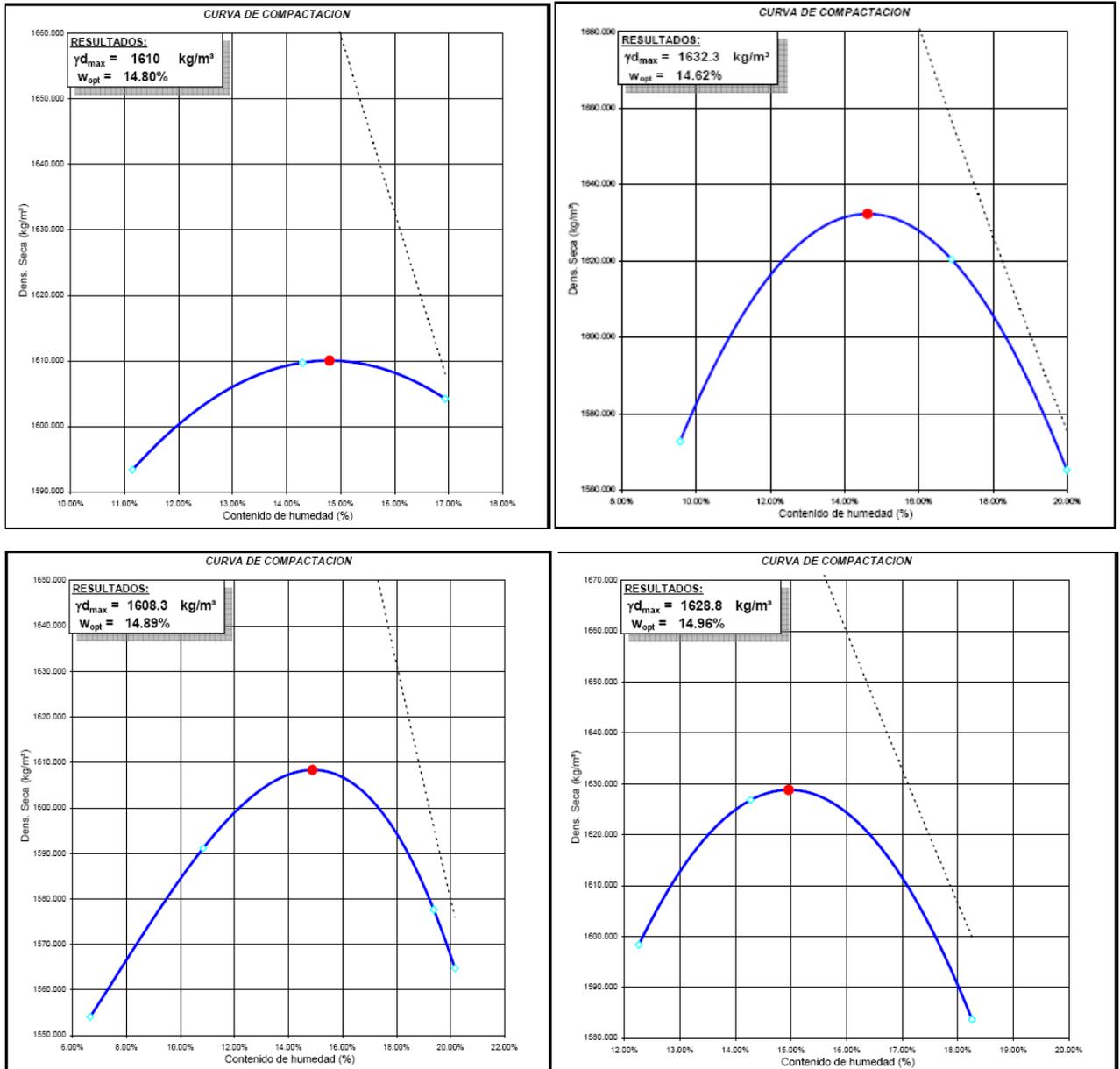
Este ensayo se lo realizó para diez muestras. De los diez ensayos realizados, solo se escogieron 6. La tabla 1 muestra los valores escogidos con los cuales se promedió y se obtuvo la densidad máxima y humedad óptima. El valor obteniendo como humedad óptima es del 15.06 % con una densidad máxima de 1.69 gr/cm<sup>3</sup>.

**Tabla 1:** Densidad Máxima y Humedad Óptima

Muestras	$\gamma_d$ (Kg/cm <sup>3</sup> )	% Humedad Óptima
1	1601.5	14.94
2	1611	15.16
3	1623.6	15.77
4	1608.3	14.89
5	1633.1	15.45
6	1697.6	14.13
	1629.18	15.06

La gráfica 1 muestra las curvas de compactación obtenidas. Todos los datos de cálculo se encuentran en el Anexos 2.

**Gráfica 1:** Compactación del suelo



### 2.3.2 Mezcla con Aditivo

Esta mezcla es para relleno fluido. La mezcla contiene agregado fino, cemento, aditivo espumante y agua.

#### ➤ **Dosificación:**

La dosificación es en base a la cantidad de material que se necesita para obtener 12 cilindros. Se dosifica para un volumen promedio de 20 litros, la proporción de los materiales varían según la mezcla, se consideran las recomendaciones del fabricante del aditivo (Adimix, Basf y Fritz Pack) y la norma de rellenos fluidos (ACI 229R-99, ASTM 6024).

No existe un solo tipo de dosificación, todo depende de la resistencia deseada, consistencia de la mezcla, uso final. Por todas estas razones se optó por realizar varias dosificaciones.

Al contrario de los hormigones que se dosifican en base a la relación agua- cemento, que está ligada íntimamente con la resistencia final de la mezcla, en un relleno fluido no se tiene valores exactos predeterminados. Lo que da lugar a que la dosificación de un relleno fluido, sea experimental hasta conseguir valores adecuados de resistencia, los porcentajes de adhesión de agua y cemento se basan de acuerdo a la cantidad total de arena.

La dosificación final para cada mezcla, se fundamenta en la consistencia, la misma que debe ser fluida. Por lo tanto, la fluidez para cada una de las muestra está entre 14 y 14.5 cm de asentamiento del cono abierto .



**Figura 9:** Asentamiento con Cono Abierto

En cuanto al porcentaje de cemento, estos son 4%, 6% y 8% respectivamente en relación al peso de la arena. Según el tipo de aditivo se obtiene tres diferentes tipos de dosificaciones, dando como resultado un total de 15 dosificaciones.

➤ **Tipos de Mezcla:**

**Dosificación 1:** mezcla con “Espumer” (Adimix), es un aditivo líquido, que permite la incorporación de aire de forma química. La mezcla es muy homogénea y de fácil trabajabilidad.



**Figura 10:** Mezcla con aditivo Espumer

**Dosificación 2:** el Súper-Plastificante “Megamix” se utiliza para realizar esta dosificación. Se utilizó este aditivo para comprobar la teoría de fluidez dada por el espumante. La primera mezcla con este aditivo resultó poco apropiada, el agua aflora a la superficie y la arena se segrega. No existe una buena consistencia de mezcla, por esa razón la prueba únicamente se la realizó al 4% de cemento.



**Figura 11:** Mezcla con aditivo Megamix

**Dosificación 3:** “Espumer” y “Megamix”. La mixtura de los dos aditivos favorece a una mejor fluidez y a una reducción de agua. Lo que dio como resultado una mezcla muy homogénea con gran trabajabilidad.

**Dosificación 4:** posee el aditivo “Barracell” (BASF). Este aditivo permite incluir burbujas de aire de forma física, a través de incorporación de espuma. La misma que da una consistencia fluida y esponjosa a la mezcla.

La generación de espuma es una técnica que varía en cuanto a la concentración de solución (aditivo-agua) para su producción. Variar las concentraciones hasta obtener la adecuada es un trabajo que no se puede dejar de hacer, ya que la consistencia de la espuma y la cantidad de la misma es el éxito de la mezcla final. La concentración de la solución es de 50 partes de agua por cada parte de aditivo espumante. (ASTM C796, pág. 387). Esto genera una espuma estable, que aumenta su volumen en 14 veces su tamaño original.

**Dosificación 5:** aditivo en polvo “Fill Flow” viene en una funda biodegradable. Genera la incorporación de aire como un agente químico al igual que ayuda en la reducción de agua en la mezcla.

Las cantidades exactas que se emplearon para cada muestra se encuentran en el Anexo 3.

### ➤ **Mezclado**

Mezclar los materiales para relleno fluidos es sencillo. Puede ser llevado a cabo en una mezcladora (en obra) o en un Mixer. Para este caso, la máquina que se utilizó, es una mezcladora de laboratorio con capacidad de hasta 5 galones, la misma que gira a 50 rpm.

Se puede acotar, que “El Taller Mecánico de la Universidad San Francisco de Quito”, participó estrechamente en la construcción de la maquina concretera. La misma que cumple con las normas ASTM y fue creada en base a especificaciones de máquinas comerciales. (ASTM C796-97, pág. 386)

### ➤ **Generador de Espuma**

Es un conducto largo de PVC ( $\Phi \frac{1}{2}$ "), que tiene en su interior una malla de dimensiones de 2x1 mm. Ingresa al conducto la solución (aditivo- agua) a una presión de 2-3 kg/cm<sup>2</sup> y en el interior del caño existe una conexión a un compresor. El compresor genera una presión entre 50 a 70 kg/cm<sup>2</sup>, que pasa dentro del conducto. La inclusión del aire dentro del caño manda la solución directo hacia la malla, permitiendo generar espuma estable<sup>2</sup>. (ASTM C796-97, pág. 387)



**Figura 12:** Generador de espuma.

---

<sup>2</sup> “Espuma Estable”, espuma que contenga pequeñas y compactas burbujas de aire, que no se disuelvan con rapidez.

➤ **Orden de la mezcla:**

La mezcla debe ir en el siguiente orden.

- Primero, se mezcla la arena con el cemento en una bandeja plana.



**Figura 13:** Mezcla Arena- Cemento

- Añadir entre el 40% y 50% del agua de amasado y las  $\frac{3}{4}$  partes de la arena con el cemento, se deja mezclar entre 5 a 7 minutos.
- Agregar el aditivo, es decir el generador de espuma ya sea química o físicamente. Se deja mezclar todos los materiales por unos minutos, a una velocidad constante hasta producir la mayor cantidad de espuma. (ASTM C796, pág. 387)
- Al tener un contenido adecuado de espuma se agrega el resto del agregado fino con cemento. Se mezcla todo nuevamente por 5 minutos.
- A toda esta mezcla se agrega la cantidad de agua que resta. Se debe dejar la muestra por lo menos de 2 a 3 minutos dentro de la mezcladora o mixer, para que se combinen perfectamente todos los materiales. (ACI R229-99, pág., 9-10)
- Se realiza la prueba de fluidez del material.



**Figura 14:** Mezcla Homogénea

➤ **Fluidez:**

Es una parte muy importante en la teoría de Rellenos Fluidos, con este parámetro podemos conocer cuál es la consistencia del relleno, si es una pasta plástica o un líquido viscoso.

Para determinar la fluidez del rellenos se usó el ensayo de “**Cilindro de cono abierto.**” (ASTM C 6103, (Standard Test Method for Flow Consistency of Controlled Low Strength Material)

Este ensayo se lo realiza a los hormigones en su estado fresco, para medir su consistencia ("fluidez"). El ensayo se basa en rellenar un cilindro hueco, de 3 in x 6 in, el mismo que va sobre una superficie plana, se retira el cilindro y se mide el nuevo diámetro de la muestra. Según el nuevo diámetro se puede determinar qué tan fluida se encuentra la pasta. (ASTM C 6103)

No se tiene una medida estandarizada que nos indique la fluidez exacta, pero existe una recomendación. Ésta manifiesta que el mínimo crecimiento entre los dos diámetros debe ser

de 200 mm (2cm) para que sea posible bombear el relleno. (Technical Questions - ACI Concrete Knowledge Center.)

También, existe un parámetro de revenimiento que está dada en mm o cm y se ha propuesto que se divida en:

- **Baja fluidez:** debajo de 150 mm (6in)
- **Fluidez normal:** entre 150 y 200 mm (6 a 8 in.)
- **Alta fluidez:** más de 200 mm (8 in.)

(ACI 229R pág. 7)

Basándonos en esta medida se va a realizar una medición comparativa entre las muestras.



**Figura 15:** Fluidez de la mezcla

Para este caso en particular se determinó que una fluidez de 14 a 14.5 cm es la adecuada, esta relación se mantuvo para todas las dosificaciones.

### ➤ **Vertido**

Las muestras de rellenos fluidos fueron vertidas en moldes de tubo de PVC al volteo. (ASTM D 4832, pág. 2). Los cilindros de PVC tienen las mismas dimensiones que los cilindros del ensayo de “Energía de compactación modificada”. Con eso se pretende minimizar las posibilidades de error al comparar los dos métodos. Si, las muestras (compactación y rellenos fluidos) tienen similares dimensiones, los factores de error de comparación disminuyen.

Las muestras tienen un diámetro de 4 in (10.16cm), y su altura no es el doble del diámetro, la altura del cilindro es de 12 cm. Esto se lo puede hacer según la Norma ASTM C42, que nos indica factores de corrección de cilindros que no son 2 a 1. El factor de corrección, para este caso, se obtuvo por interpolación y es de 0.92.

El vertido dentro del molde debe ser inmediatamente después de mezclar todos los materiales. Se realizó al volteo, no se varilla o coloca la muestra en capas. Esto se lleva a cabo porque se desea mantener las mismas condiciones que en obra, puesto que no se necesita vibrar el material (es auto-compactante). (ASTM D 4832, pág. 2)

### ➤ **Curado**

La norma ASTM D 4832 para rellenos fluidos, manifiesta que el curado de los cilindros debe ser el mismo que para cilindros de hormigón, ya sea en baños de agua, cámara de curado. En este caso los cilindros fueron curados en baños de agua, las muestras estuvieron completamente sumergidas durante 7, 14 y 28 días.



**Figura 16:** Piscinas de curado

## 2.4 Resistencia

### 2.4.1 Compresión simple

Norma, ASTM 21166-66 – AASHTO T208-70, ASTM D4832-02.

La compresión simple es una de las pruebas más sencillas y confiables de resistencia, aplicada tanto para pruebas de suelo como hormigones.

Sometemos a la muestra a carga axial hasta que falla (la muestra ya no puede soportar más carga). Se toma el dato de esfuerzo máximo, proporcionado por la máquina y con el área de la probeta se determina cuanto es su resistencia.

Para este análisis de resistencia, se van a probar los dos materiales con este ensayo.

Las muestras previo su ensayo son pesadas y medidas, para determinar el área y la densidad húmeda y seca.



**Figura 17:** Peso y Dimensiones de las muestras

➤ **Rellenos de suelo Compactado**

Se compacta el suelo y se extrae la muestra con un gato hidráulico, y se la prueba (no se permite que la humedad de compactación se pierda) para determinar la resistencia, finalmente se toma la muestra de humedad para calcular la densidad seca máxima.



**Figura 18:** Extracción de la muestra



**Figura 19:** Rotura de muestras

➤ **Rellenos Fluidos**

La resistencia se la toma a los 7, 14 y 28 días de curado el material. Para cada día de rotura de muestras, se prueban 4 especímenes. Se prueba 4 muestras, para tener el mayor número de datos posibles para disminuir la proporción de error. Los cilindros han permanecido fuera de las piscinas de curado por un lapso de 2 horas previamente a ser ensayados, esto se realiza para que se pierda la humedad excesiva. Por lo tanto, los cilindros están saturados durante su rotura. Con esto se genera las peores condiciones de prueba, para tener un margen de seguridad. Como ya se mencionó, las muestras son pesadas y medidas previo su ensayo y por ende se toma la humedad de la muestra. (ASTM D4832-02, pág. 5)



**Figura 20:** Muestras fuera de la piscina de curado



**Figura 21:** Rotura de Cilindros



**Figura 22:** Toma de humedad

## CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados de los ensayos. Al término de la rotura de todos los cilindros se logró obtener datos que demuestran que en casos donde se necesita la mayor capacidad de carga, con baja densidad es muy útil utilizar el nuevo método de relleno.

### 3.1 Resultado de las dosificaciones

La dosificación a continuación se presenta para 1 m<sup>3</sup> de muestra de relleno fluido. Los valores han sido redondeados a valores enteros superior o inferiores dependiendo el caso. Para el cálculo de las dosificaciones de 1m<sup>3</sup> se ha tomado en cuenta el rendimiento de la muestra que varía según el aditivo usado.

**Tabla 2:** Dosificación de los materiales 1 m<sup>3</sup>

Mezcla	% de Cemento	Arena (kg)	Cemento (kg)	Agua (lt)	Aditivo (lt)	Fluidez (cm)	Rendim. (%)	Re. W/A
Espumer	4%	1220.00	48.8	290	1	14.5	1.04	0.24
	6%	1220.00	73.2	300	1	14.5	1.06	0.25
	8%	1220.00	97.6	305	1	14.5	1.0	0.25

<b>Mezcla</b>	<b>% de Cemento</b>	<b>Arena (kg)</b>	<b>Cemento (kg)</b>	<b>Agua (lt)</b>	<b>Aditivo (lt)</b>		<b>Fluidez (cm)</b>	<b>Rendim. (%)</b>	<b>Re. W/A</b>
<b>Espumer + Megamix</b>	<b>4%</b>	1220	48.8	260	1	1	14.5	1.01	0.21
	<b>6%</b>	1220	73.2	260	1	1	14.5	1.01	0.21
	<b>8%</b>	1220	97.6	260	1	1	14	1.01	0.21
<b>Mezcla</b>	<b>% de Cemento</b>	<b>Arena (kg)</b>	<b>Cemento (kg)</b>	<b>Agua (lt)</b>	<b>Aditivo (lt)</b>		<b>Fluidez (cm)</b>	<b>Rendim. (%)</b>	<b>Re. W/A</b>
<b>Barracell</b>	<b>4%</b>	1220	48.8	220	1		14	1.15	0.18
	<b>6%</b>	1220	73.2	230	1		14	1.13	0.19
	<b>8%</b>	1220	97.6	240	1.2		14	1.13	0.20
<b>Mezcla</b>	<b>% de Cemento</b>	<b>Arena (kg)</b>	<b>Cemento (kg)</b>	<b>Agua (lt)</b>	<b>Aditivo (lt)</b>		<b>Fluidez (cm)</b>	<b>Rendim. (%)</b>	<b>Re. W/A</b>
<b>Fill Flow</b>	<b>4%</b>	1220	48.8	300	1		14	1.03	0.25
	<b>6%</b>	1220	73.2	300	1		14	1.06	0.25
	<b>8%</b>	1220	97.6	300	1		14	1.09	0.25

La tabla 2 muestra las diferentes dosificaciones de acuerdo al aditivo. El contenido tanto en arena como cemento es el mismo, la cantidad de agua es la que varía.

En cuanto al aumento de volumen, no es igual para todas las mezclas aun siendo tratadas con el mismo aditivo. Se debe aclarar que la variación del rendimiento con el mismo aditivo a diferentes porcentajes de cemento no es mucha. Esto se da, porque las dosificaciones fueron totalmente experimentales, solo se basaron en la consistencia de la mezcla (fluidez).

La tabla 3 muestra las dosificaciones de las muestras en parihuelas de arena (30x30x30 cm) y sacos de cemento. Esto se realizó para una mejor apreciación de cantidades.

**Tabla 3:** Dosificación de los materiales 1 m<sup>3</sup>

Mezcla	% de Cemento	Arena (Parihuelas)	Cemento (Sacos)	Agua (lt)	Aditivo (lt)	Fluidez (cm)	Rendim. (%)	Re. W/A
Espumer	4%	30.00	1	290	1	14.5	4.43	9.67
	6%	30.00	1 (1/2)	300	1	14.5	6.30	10.00
	8%	30.00	2	305	1	14.5	1.0	10.17
Mezcla	% de Cemento	Arena (Parihuelas)	Cemento (kg)	Agua (lt)	Aditivo (lt)	Fluidez (cm)	Rendim. (%)	Re. W/A
Espumer + Megamix	4%	30	1	260	1   1	14.5	1.44	9.33
	6%	30	1 (1/2)	260	1   1	14.5	1.09	9.33
	8%	30	2	260	1   1	14	1.37	9.33
Mezcla	% de Cemento	Arena (Parihuelas)	Cemento (kg)	Agua (lt)	Aditivo (lt)	Fluidez (cm)	Rendim. (%)	Re. W/A
Barracell	4%	27	1	220	1	14	13.28	7.33
	6%	27	1 (1/2)	230	1	14	14.55	7.67
	8%	27	2	240	1.2	14	18.94	8.00
Mezcla	% de Cemento	Arena (Parihuelas)	Cemento (kg)	Agua (lt)	Aditivo (lt)	Fluidez (cm)	Rendim. (%)	Re. W/A
Fill Flow	4%	30	1	300	1	14	13.28	10.00
	6%	30	1 (1/2)	300	1	14	14.55	10.00

	8%	30	2	300	1	14	8.84	10.00
--	----	----	---	-----	---	----	------	-------

## 3.2 Resultados de prueba de compresión simple

El suelo que se utilizó para hacer los ensayos de compactación es una arena con gran contenido de finos. Suelo que también fue empleado en la modelación de rellenos fluidos.

### 3.2.1 Resistencia Línea Base

Al término de varias pruebas de “Energía de Compactación Modificada” se obtuvo la densidad seca máxima y la humedad óptima del suelo. Con estos datos se modeló las muestras que finalmente fueron ensayadas.

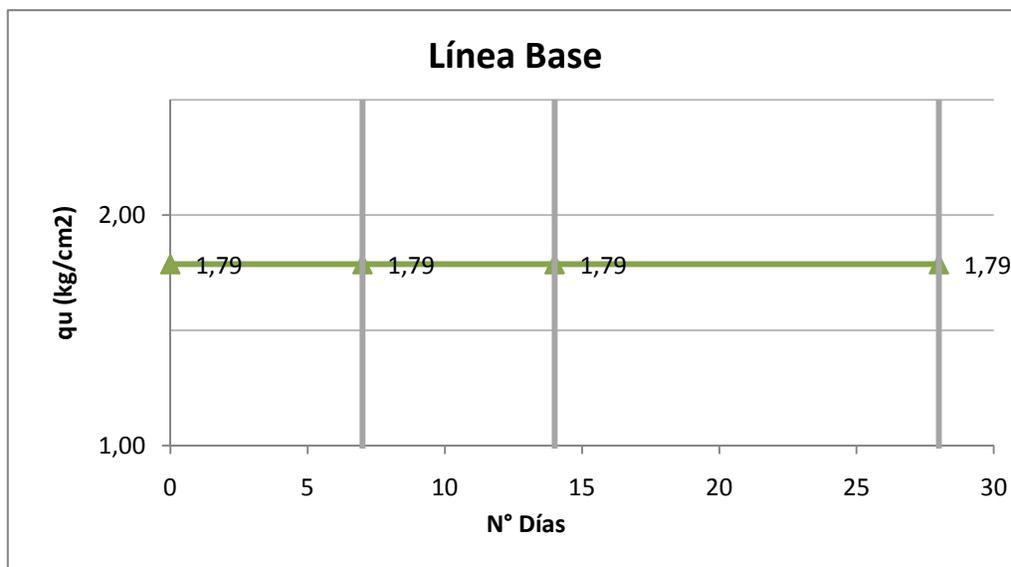
Las muestras a humedad óptima y densidad seca máxima ensayadas a compresión simple, permitieron obtener un patrón de resistencia máxima del suelo compactado. Se realizaron 15 ensayos de los cuales se escogieron 12 para el cálculo final.

La tabla 4 muestra los datos obtenidos de densidad seca ( $\gamma_A$ ), y resistencia máxima ( $q_u$ ).

**Tabla 4:** Resumen de Datos de ensayos de compactación del suelo

<b>Compactación</b>			
$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )
1.52	1.78	1.79	1.51
1.52	1.71		
1.53	1.85		
1.51	1.75		
1.51	1.85		
1.50	1.86		
1.52	1.75		
1.52	1.82		
1.51	1.72		
1.51	1.86		
1.52	1.81		
1.51	1.70		

La gráfica 2 muestra la resistencia máxima obtenida con un valor de de 1.79 kg/cm<sup>2</sup> y la densidad seca de 1.51 gr/cm<sup>3</sup>.

**Gráfica 2:** Resistencia Máxima de Compactación

Los datos obtenidos no se los puede tomar como valores de resistencia máximos para cualquier tipo de suelo, porque existen suelos compactados que pueden resistir cargas mayores. Lo que vamos hacer es tomar este valor como un parámetro de referencia comparable para el resto del estudio. Ya que, lo suelos en la ciudad de Quito (arena, material usado) pueden variar en resistencia compactada, pero no de forma abrupta.

Datos de todo el ensayo en el Anexo 4.

### 3.2.2 Resistencia mezcla con aditivo

Para el análisis de las diferentes mezclas, en primera instancia se realizó una comparación de acuerdo al tipo de aditivo y diferente porcentaje de cemento. Finalmente se comparó los diferentes tipos de aditivo al mismo porcentaje de cemento.

### 3.1.1.1 Análisis de acuerdo al tipo de aditivo y diferente porcentaje de cemento:

- **Dosificación 1:** como se muestra en la Figura 17 la mezcla con “Espumer” presentó una estructura altamente porosa. La formación de burbujas de aire se pueden observar a simple vista, las mismas que permiten una gran trabajabilidad en la muestra.



**Figura 23:** Estructura interna con “Espumer” (cm)

La tabla 5 presenta un resumen de las resistencias de las muestras y densidades. En la gráfica 3 se logra apreciar el aumento de la resistencia con el paso de los días, desde el día 7 hasta el día 28 de acuerdo al porcentaje de cemento.

**Tabla 5:** Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Espumer”

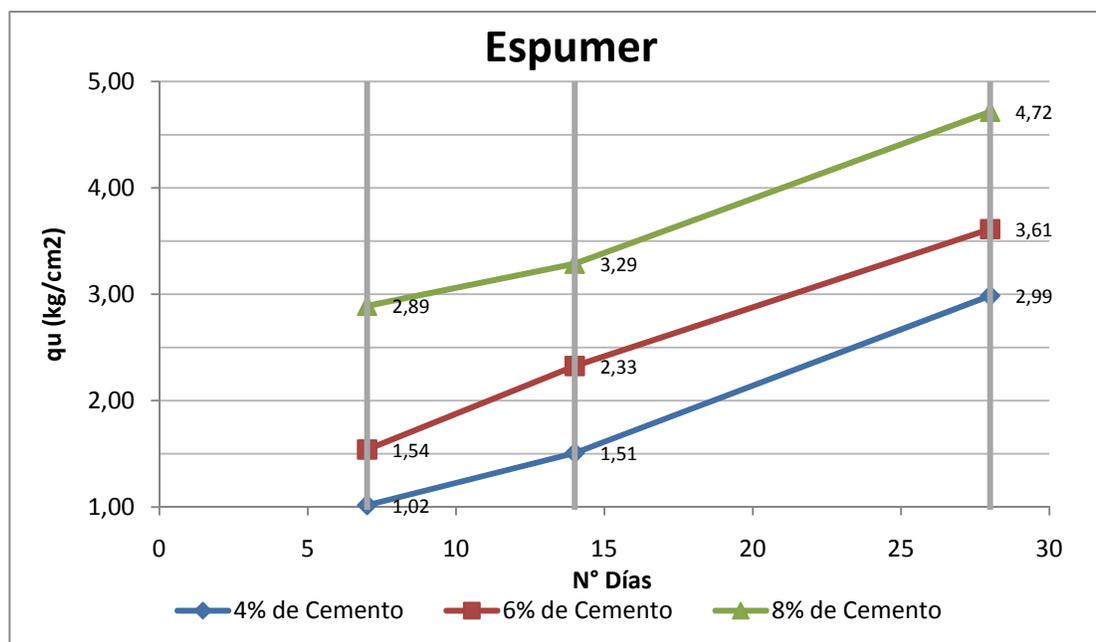
Aditivo Espumer (D. 1-2-3)					
Nº Días	$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	% Cemento	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )

7	1.17	0.88	4	1.02	1.18
7	1.18	1.08	4		
7	1.19	1.09	4		
14	1.18	1.40	4	1.51	1.18
14	1.18	1.61	4		
28	1.18	2.94	4	2.99	1.18
28	1.19	2.88	4		
28	1.18	3.14	4		
7	1.20	1.64	6	1.54	1.19
7	1.19	1.41	6		
7	1.19	1.58	6		
7	1.20	1.53	6		
14	1.20	2.47	6	2.33	1.19
14	1.19	2.25	6		
14	1.19	2.26	6		
14	1.18	2.31	6		
28	1.20	3.56	6	3.61	1.19
28	1.19	3.34	6		
28	1.19	3.90	6		
28	1.19	3.66	6		
7	1.24	3.03	8	2.89	1.24
7	1.26	3.15	8		
7	1.24	2.77	8		
7	1.24	2.62	8		
14	1.25	2.89	8	3.29	1.25
14	1.26	3.24	8		

14	1.24	3.42	8		
14	1.25	3.61	8		
28	1.25	4.49	8	4.72	1.24
28	1.24	4.81	8		
28	1.25	4.58	8		
28	1.24	4.98	8		

La resistencia máxima de la muestras dio a los 28 días de curado. La resistencia para la muestra con 4% de cemento se encuentra en 3 kg/cm<sup>2</sup>, para la muestra con 6% de cemento en 4 kg/cm<sup>2</sup> y para el 8% de cemento está en 5kg/cm<sup>2</sup>.

**Gráfica 3:** Resistencia mezcla con “Espumer”

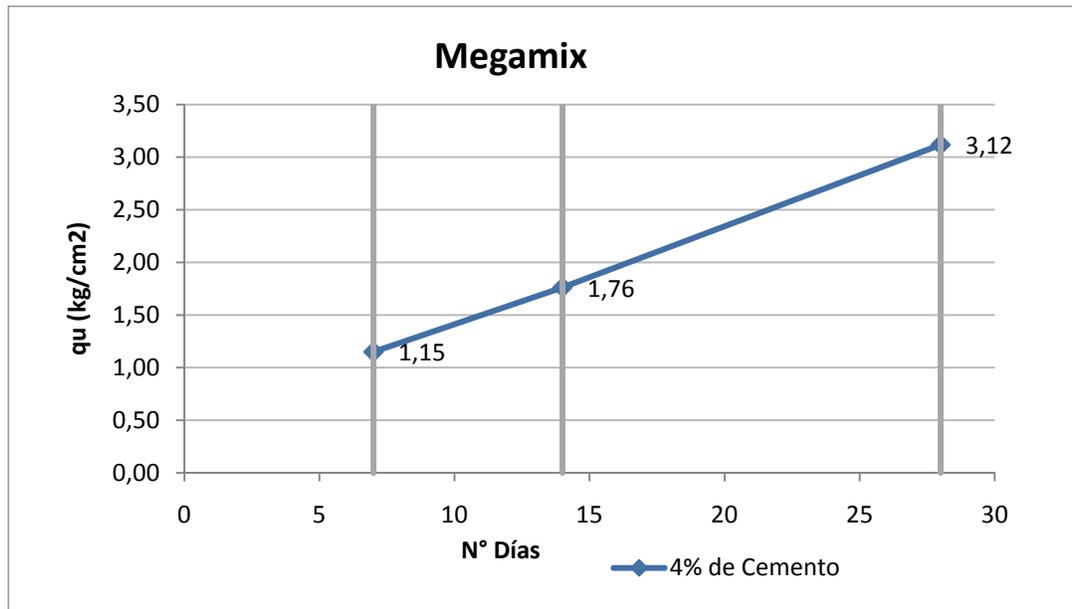


• **Dosificación 2:** las muestras con “Megamix” no presentaron la trabajabilidad necesaria en el instante de su preparación. La estructura interna no es lo suficientemente porosa. Otra de sus características es que la muestra se segrega, el agua aflora hacia la superficie y la mezcla de arena y cemento caen hacia el fondo. Esto es obvio porque el aditivo incorporado solo fue un reductor de agua (superplastificante), más no un inclusor de aire (permite la trabajabilidad). La tabla 6 presenta el resumen de la resistencia de la mezcla 2. Una de las cosas que llama la atención es que la dosificación alcanzó una resistencia final relativamente buena. El valor obtenido fue de  $3.12 \text{ kg/cm}^2$ . Aunque la muestra posee resistencia favorable, las pruebas solo se realizaron al 4% de cemento, porque lo que se busca es un mezcla de fácil trabajabilidad.

**Tabla 6:** Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Megamix”

Aditivo Megamix (D. 4)					
N° Días	$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	% Cemento	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )
7	1.28	1.16	4	1.15	1.29
7	1.29	1.14	4		
7	1.29	1.14	4		
14	1.31	1.68	4	1.76	1.29
14	1.26	1.84	4		
14	1.32	1.82	4		
28	1.30	3.23	4	3.12	1.30
28	1.31	3.23	4		
28	1.31	2.99	4		
28	1.29	3.02	4		

Gráfica 4: Resistencia mezcla con “Megamix”



- **Dosificación 3:** esta mezcla es una de la que mejor resultado ha proporcionado.

Esto da porque “Espumer” permite una gran trabajabilidad y “Megamix” el reductor de agua ayuda al aumento de la resistencia.

La Figura 18, presenta la estructura interna de la muestra. La incorporación de aire se nota a simple vista.

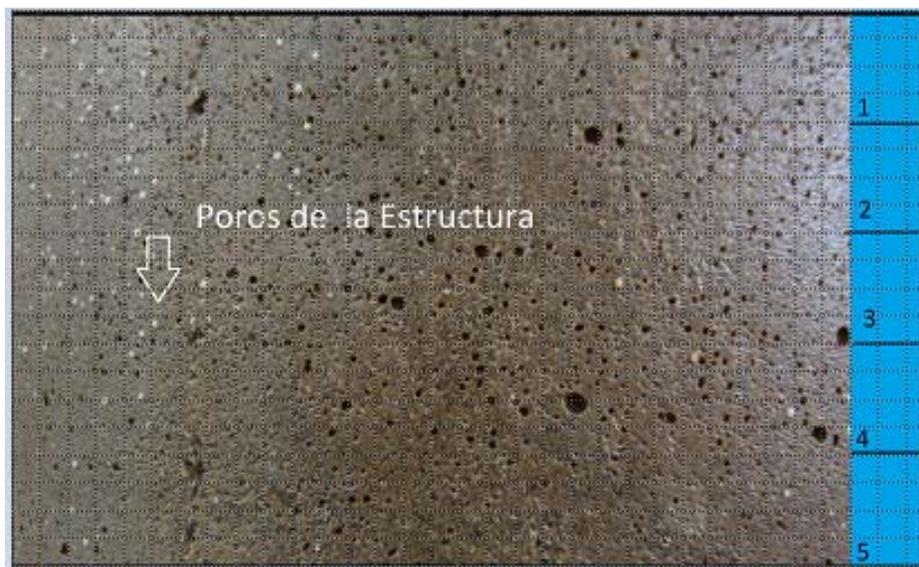


Figura 24: Estructura interna “Espumer + Megamix”

La tabla 7 es el resumen de las pruebas hechas con la dosificación 3, mientras que en la gráfica 5, se puede ver la variación de la resistencia para los diferentes porcentajes de cemento y el paso de los días. La resistencia máxima se alcanzó a los 28 días.

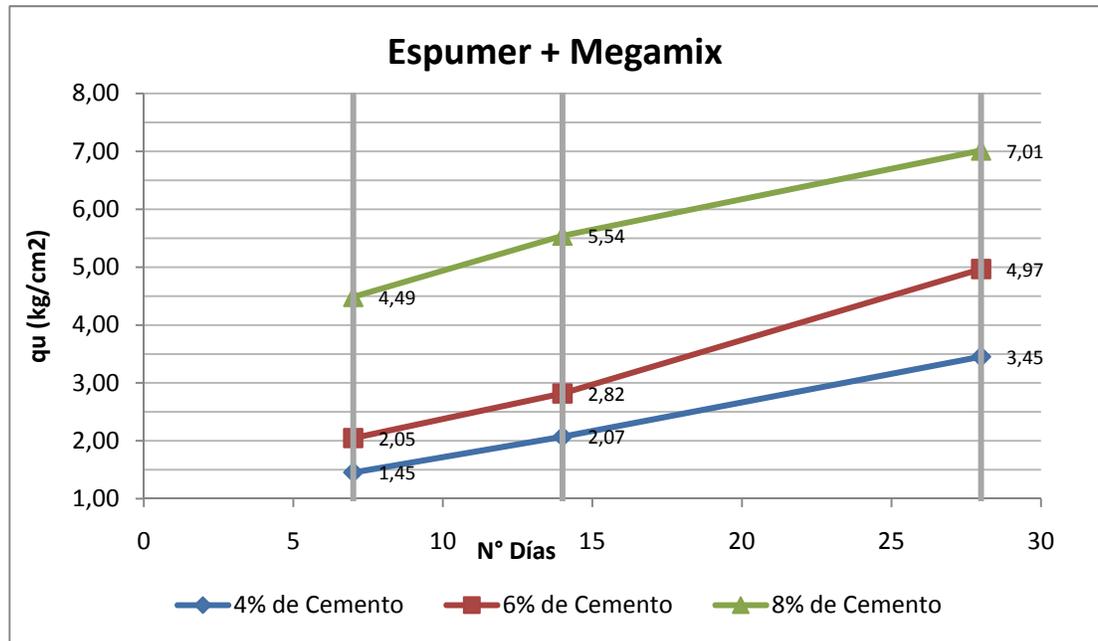
Para la muestra con 4% de cemento se consiguió una resistencia de 3.45 kg/cm<sup>2</sup>, en tanto que para un 6% de cemento de 4.97 kg/cm<sup>2</sup> y para un 8% de cemento 7.01 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 7:** Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Espumer + Megamix”

Aditivo Espumer + Megamix (D.5-6-7)					
N° Días	Y <sub>A</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	% Cemento	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Y <sub>A</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )
7	1.15	1.45	4	1.45	1.15
7	1.16	1.60	4		
7	1.15	1.47	4		
7	1.15	1.29	4		
14	1.15	2.02	4	2.07	1.16
14	1.16	2.03	4		
14	1.15	2.11	4		
14	1.17	2.12	4		
28	1.18	3.41	4	3.45	1.17
28	1.15	3.41	4		
28	1.18	3.72	4		
28	1.17	3.28	4		
7	1.26	1.84	6	2.05	1.24
7	1.22	2.04	6		

7	1.23	2.26	6		
7	1.26	2.20	6		
14	1.23	2.88	6	2.82	1.24
14	1.25	2.70	6		
14	1.25	2.87	6		
14	1.23	2.65	6		
28	1.24	5.10	6		
28	1.25	4.91	6	4.97	1.24
28	1.22	4.97	6		
28	1.23	4.90	6		
7	1.25	4.53	8		
7	1.25	4.49	8	4.49	1.25
7	1.25	4.25	8		
7	1.25	4.67	8		
14	1.24	5.50	8		
14	1.25	5.52	8	5.54	1.25
14	1.26	5.52	8		
14	1.25	5.63	8		
28	1.24	6.88	8		
28	1.26	7.18	8	7.01	1.24
28	1.24	7.03	8		
28	1.24	6.97	8		

**Gráfica 5:** Resistencia mezcla con “Espumer + Megamix”



• **Dosificación 4:** en cuanto a la mezcla 4 con el aditivo “Barracell” se tuvo muchas complicaciones. Esto se dio porque la empresa Basf no mostró ningún interés en el estudio del producto y por lo tanto no se tenía las especificaciones técnicas de la dosificación del aditivo. Este hecho, generó un atraso en la dosificación de las muestras. Se tuvo que realizar de forma experimental las diferentes concentraciones del producto hasta obtener la que mejor se ajustó a las condiciones necesarias.

En la figura 19 se observa, que la estructura interna no es la más adecuado. La incorporación de aire no se la denota a simple vista, más bien las burbujas de aire no son estables y por eso se pierden dentro del cilindro. La mezcla crecía un 15% su tamaño, al colocarse toda la espuma, hecho generó que se pierda la resistencia. Se asume que el cemento era muy poco para la cantidad de muestra final. Otro de los problemas que presentó el material es la pérdida de humedad y saturación excesiva. Ante este hecho, las

muestras fueron tratadas de dos formas distintas. Las primeras al aire libre y las otras en piscinas de saturación. La pérdida de humedad al aire libre, generó que la muestra sea de rápida erosión y se desquebraje. La adsorción excesiva de agua en las piscinas permitió que la muestra se vuelva muy frágil. En ambos métodos no se tuvo buenos resultados.

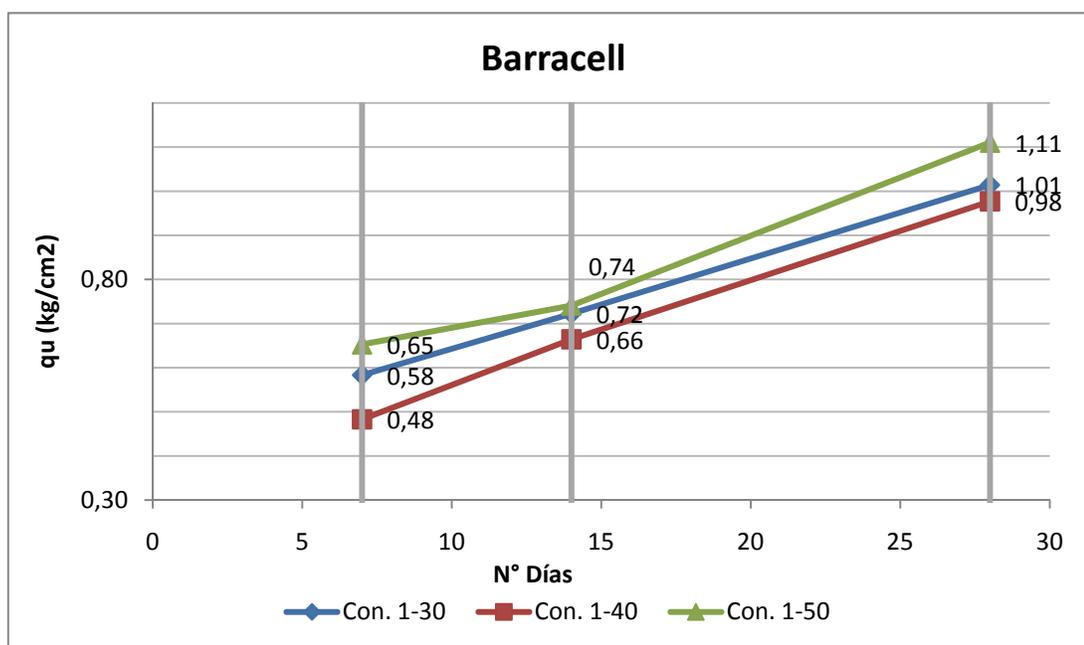


**Figura 25:** Estructura interna “Barracell”

Como ya se mencionó fue experimental la concentración a usar, por lo tanto la gráfica 6 contiene los tres tipos de concentraciones del aditivo. Estas concentraciones fueron aplicadas a una mezcla de 4% de cemento. La primera concentración usada fue 1-30 (1 parte de aditivo por 30 partes de agua), la segunda 1-40 (1 parte de aditivo por 40 partes de agua), la tercera 1-50 (1 parte de aditivo por 50 partes de agua). La que mejor se ajusta a las necesidades requeridas, tanto en trabajabilidad como en resistencia fue la solución 1-50.

La gráfica 6 presenta la variación de resistencia entre las tres, la cual no fue excesiva, pero la consistencia del material es la que marcó la diferencia. Las tres muestras eran trabajables, pero a concentraciones elevadas la mezcla era demasiado esponjosa y se formaban grumos que se rompían con facilidad. Esto se dio con la mezcla a concentración 1-30 y 1-40.

**Gráfica 6:** Resistencia con variación de concentración aditivo “Barracell”



Al haber seleccionado la concentración adecuada, se continuó con las siguientes mezclas tanto al 6% y 8% de cemento.

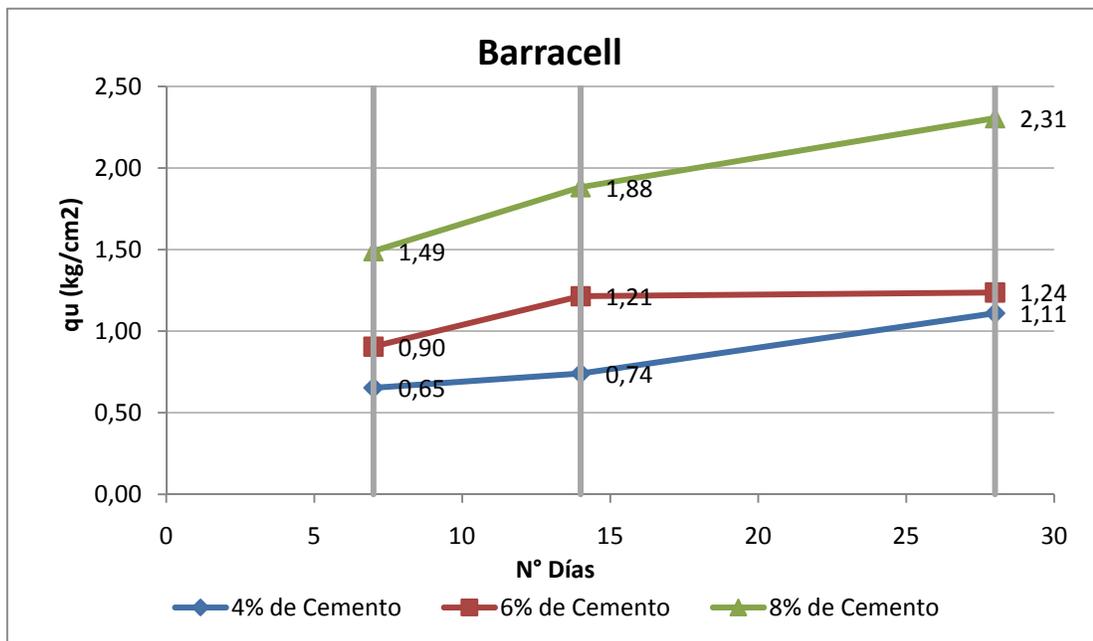
La Tabla 8 muestra los datos obtenidos, para las tres muestras con diferentes porcentajes de cemento. Mientras que en la gráfica 7 se observa la variación de la resistencia, teniendo como resultado al 4% de cemento 1.11 kg/cm<sup>2</sup>, para 6% de cemento 1.24 kg/cm<sup>2</sup> y para 8% de cemento 3.31 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 8:** Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Barracell”

Aditivo Barracell Con. 1-50 (D.10-11-12)					
N° Días	$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	% Cemento	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )
7	0.91	0.65	4	0.65	0.91
7	0.90	0.55	4		
7	0.90	0.63	4		
7	0.91	0.78	4		
14	0.92	0.81	4	0.74	0.92
14	0.91	0.67	4		
28	0.94	1.08	4	1.11	0.94
28	0.93	1.10	4		
28	0.93	1.15	4		
7	0.97	0.73	6	0.90	0.97
7	0.98	1.07	6		
7	0.97	0.91	6		
7	0.96	0.91	6		
14	0.96	1.33	6	1.21	0.97
14	0.96	1.22	6		
14	0.98	1.09	6		
14	0.99	1.20	6		
28	0.98	1.33	6	1.24	0.99
28	0.98	1.20	6		
28	1.00	1.22	6		
28	0.99	1.20	6		
7	0.99	1.28	8	1.49	0.97
7	0.97	1.40	8		

7	0.96	1.60	8		
7	0.96	1.67	8		
14	0.96	1.77	8	1.88	0.99
14	0.97	1.86	8		
14	1.01	1.87	8		
14	1.02	2.03	8		
28	1.02	2.26	8	2.31	1.00
28	0.97	2.37	8		
28	0.99	2.34	8		
28	1.02	2.26	8		

**Gráfica 7:** Resistencia mezcla con “Barracell”



- **Dosificación 5:** el aditivo “Fill Flow” es un aditivo en polvo proveniente de los Estados Unidos. Este aditivo permitió alcanzar una asombrosa manejabilidad en el material, gran fluidez y lo más importante una alta resistencia.

La estructura interna, era porosa como lo muestra la figura 20. Una estructura perfecta.

El tamaño de las burbujas internas permite que sea liviana y a vez resistente.



**Figura 26:** Estructura interna “Fill Flow”

La tabla 9 proporciona el resumen de las diferentes resistencias del material. En la gráfica 8, se aprecia la variación de la resistencia en cuanto al porcentaje de cemento.

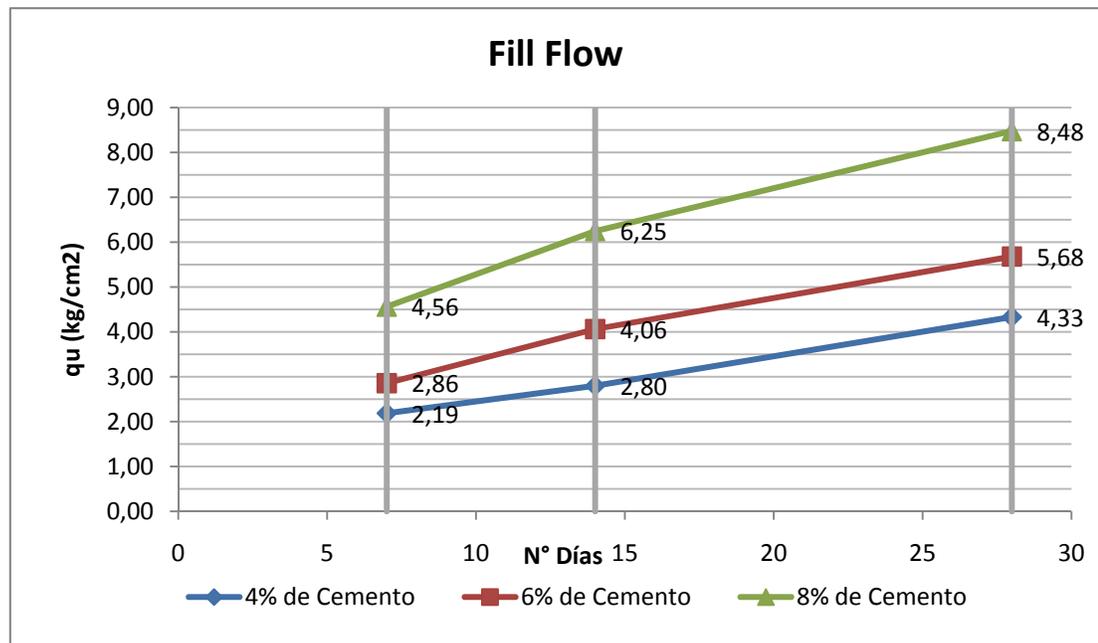
Obteniendo como resultado final al 4% de cemento  $4.33 \text{ kg/cm}^2$ , para el 6% de cemento  $5.68 \text{ kg/cm}^2$  y al 8% de cemento  $8.5 \text{ kg/cm}^2$ .

**Tabla 9:** Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Fill Flow”

Aditivo Fill-Flow (D.13-14-15)					
N° Días	$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	% Cemento	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )
7	1.18	2.15	4	2.19	1.18
7	1.19	2.22	4		
7	1.18	2.10	4		
7	1.19	2.28	4		
14	1.19	2.73	4	2.80	1.19
14	1.19	2.80	4		
14	1.18	2.76	4		
14	1.20	2.91	4		
28	1.19	4.26	4	4.33	1.19
28	1.18	4.40	4		
28	1.19	4.40	4		
28	1.20	4.26	4		
7	1.19	2.84	6	2.86	1.20
7	1.20	2.96	6		
7	1.20	2.74	6		
7	1.20	2.89	6		
14	1.19	4.10	6	4.06	1.19
14	1.20	4.12	6		
14	1.20	3.92	6		
14	1.19	4.10	6		
28	1.20	5.69	6	5.68	1.20

28	1.20	5.50	6		
28	1.19	5.69	6		
28	1.20	5.82	6		
7	1.27	4.67	8	4.56	1.26
7	1.26	4.51	8		
7	1.26	4.56	8		
7	1.26	4.52	8		
14	1.26	6.26	8	6.25	1.25
14	1.25	6.27	8		
14	1.26	6.30	8		
14	1.23	6.15	8		
28	1.23	8.75	8	8.48	1.26
28	1.28	8.16	8		
28	1.26	8.86	8		
28	1.26	8.14	8		

**Gráfica 8:** Resistencia mezcla con “Fill Flow”



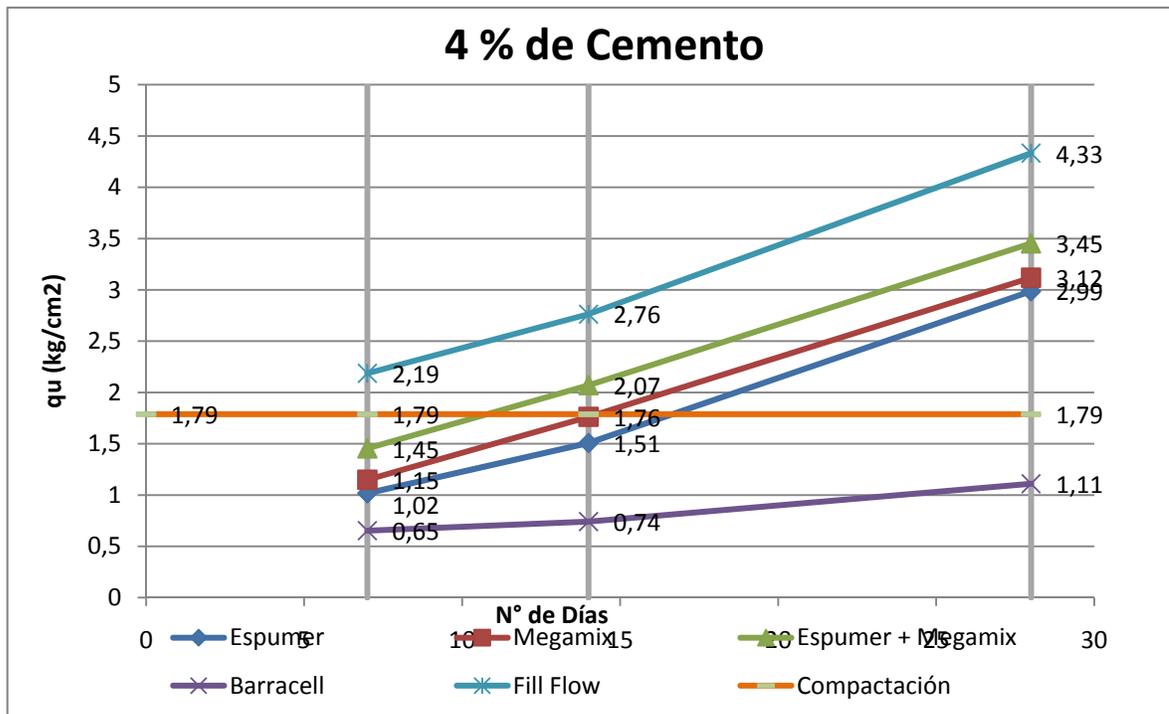
### 3.2.2.1 Comparación de las mezclas de acuerdo a su porcentaje de cemento

Al tener todos los datos de resistencia tabulados, se determinó que otra de las formas de comparación de las muestras es al mismo porcentaje de cemento y diferente aditivo. He aquí los resultados de resistencia versus los días de curado de acuerdo al porcentaje de cemento.

- **4% de cemento:** la gráfica 9 presenta la resistencia de las muestras con diferentes aditivos. El resultado obtenido para la mayor resistencia es a los 28 días de curado, con

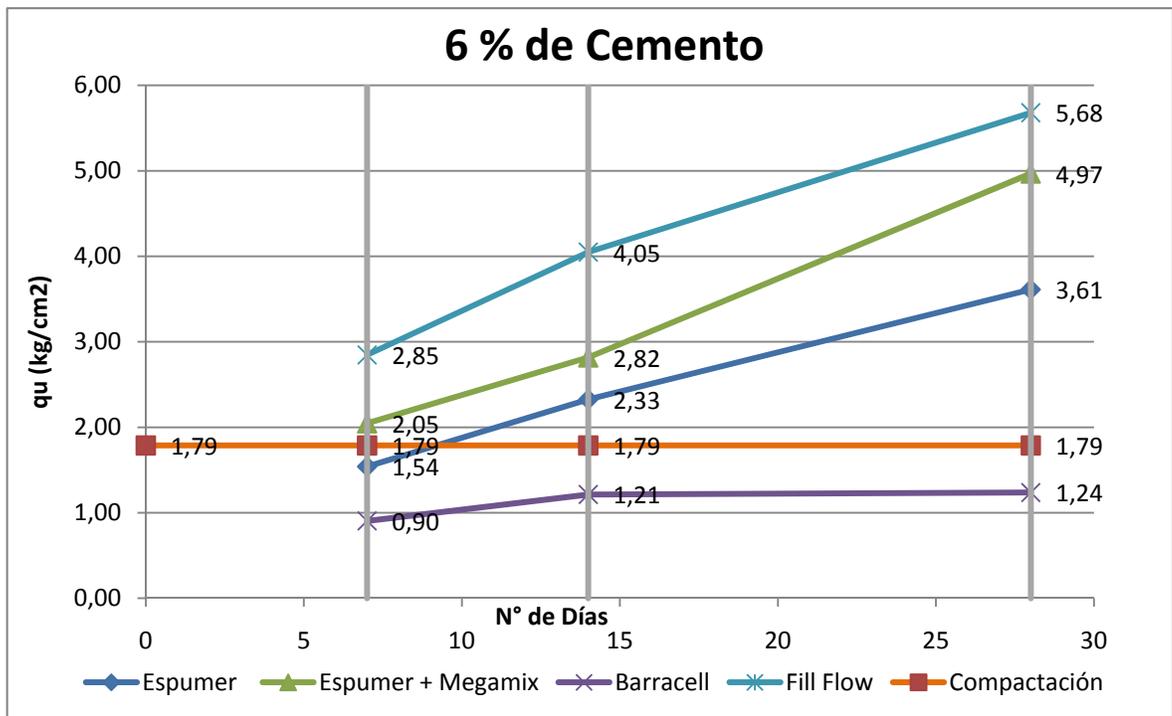
el aditivo “Fill Flow” ( $4.33 \text{ kg/cm}^2$ ) y la menor resistencia es con “Barracell” dando únicamente  $1.11 \text{ kg/cm}^2$ .

**Gráfica 9:** Resistencia de mezclas al 4% de Cemento



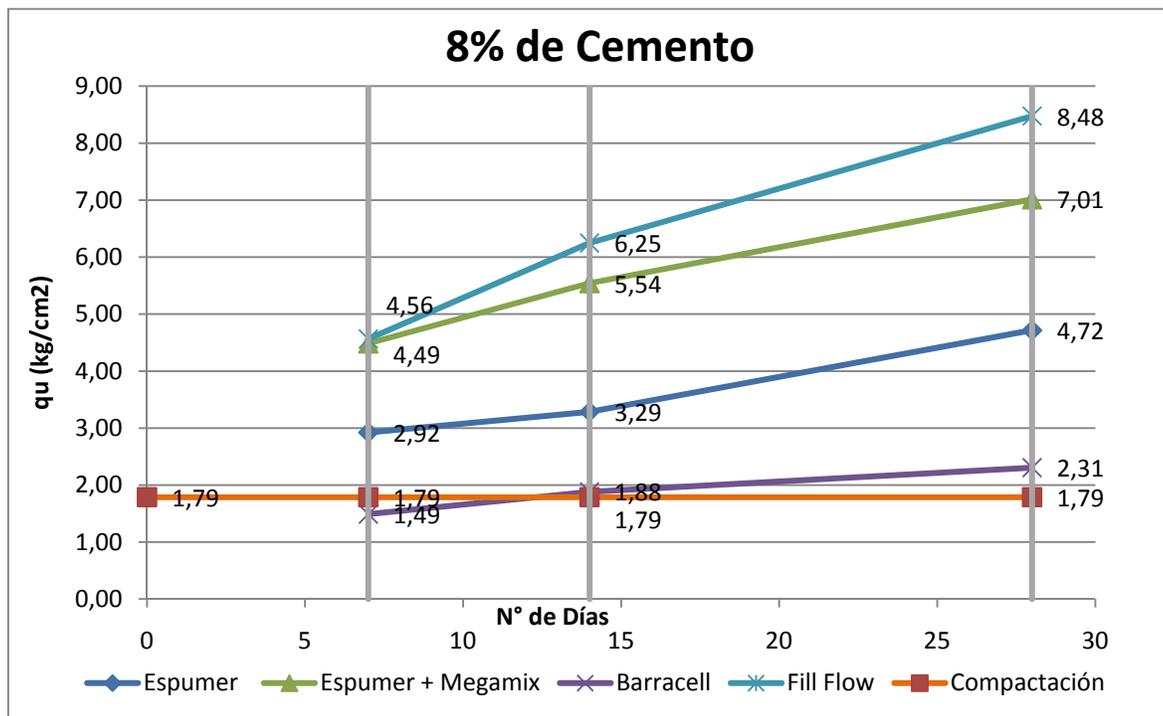
• **6 % de cemento:** al igual que en el caso anterior la menor resistencia se la alcanzó con el aditivo “Barracell”  $1.24 \text{ kg/cm}^2$  y la mayor resistencia de  $5.68 \text{ kg/cm}^2$  el aditivo “Fill Flow”, esto se lo puede apreciar en la gráfica 10.

**Gráfica 10:** Resistencia de mezclas al 6% de Cemento



- 8 % de cemento:** la gráfica 11 ejemplifica que al contrario de los dos casos anteriores, la menor resistencia fue por compactación con un valor de 1.79 kg/cm<sup>2</sup>. En este caso el aditivo “Barracell” obtuvo una mejor resistencia, pero al igual que en los casos anteriores la mayor resistencia adquirida fue con el aditivo “Fill Flow” con 8.48 kg/cm<sup>2</sup>.

**Gráfica 11:** Resistencia de mezclas al 8% de Cemento.



### 3.3 Resultados de Densidad Seca

En el análisis de laboratorio para este tipo de muestras no solo importa la resistencia a los 28 días sino también la densidad seca del material. Se toma en cuenta este parámetro (densidad seca) ya que a una menor densidad el peso por carga del material disminuye notablemente.

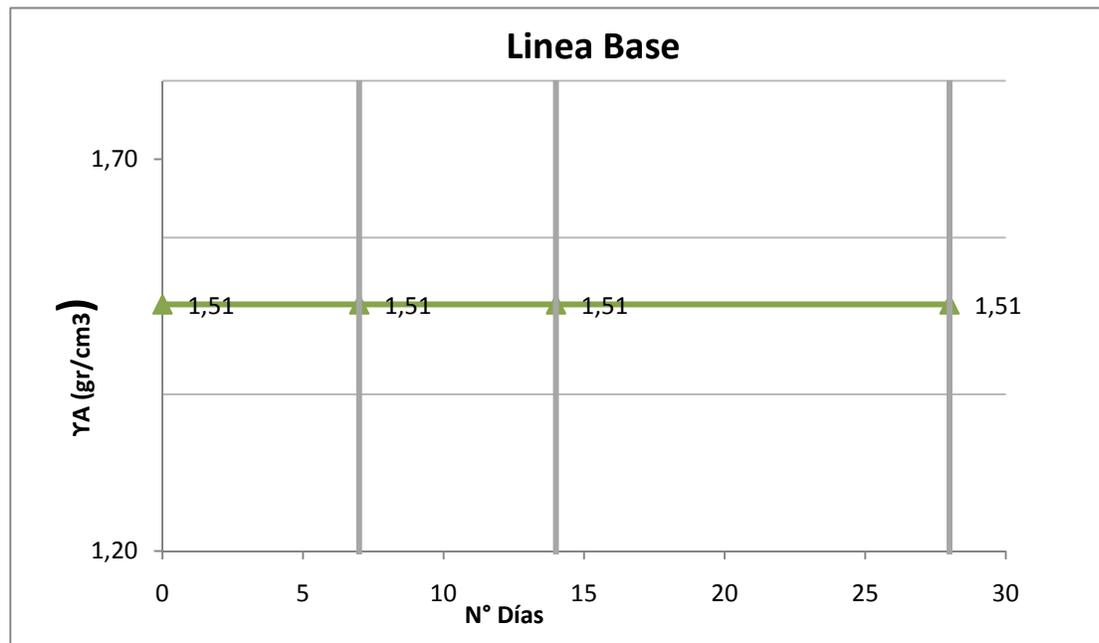
Al igual que en resistencia, en primera instancia se compara la densidad según el tipo de aditivo a diferentes porcentajes de cemento. Finalmente se comparó todos los aditivos a un mismo porcentaje de cemento. Con todo lo tabulado se genera un análisis comparativo entre las diferentes dosificaciones y la línea base.

### 3.3.1 Densidad Seca Línea base

Los suelos por lo general bien compactados presenta una densidad seca entre 1.6 a 2.2  $\text{gr/cm}^3$ . En cuanto a la línea base, los datos se tienen tabulados en la tabla 2, dándonos como resultados 1.51  $\text{gr/cm}^3$ .

La gráfica 12 muestra la densidad para de la línea base, la misma que con el paso de los días es la misma, con un valor de 1.51  $\text{gr/cm}^3$ .

**Gráfica 12:** Densidad Seca de la Línea Base.



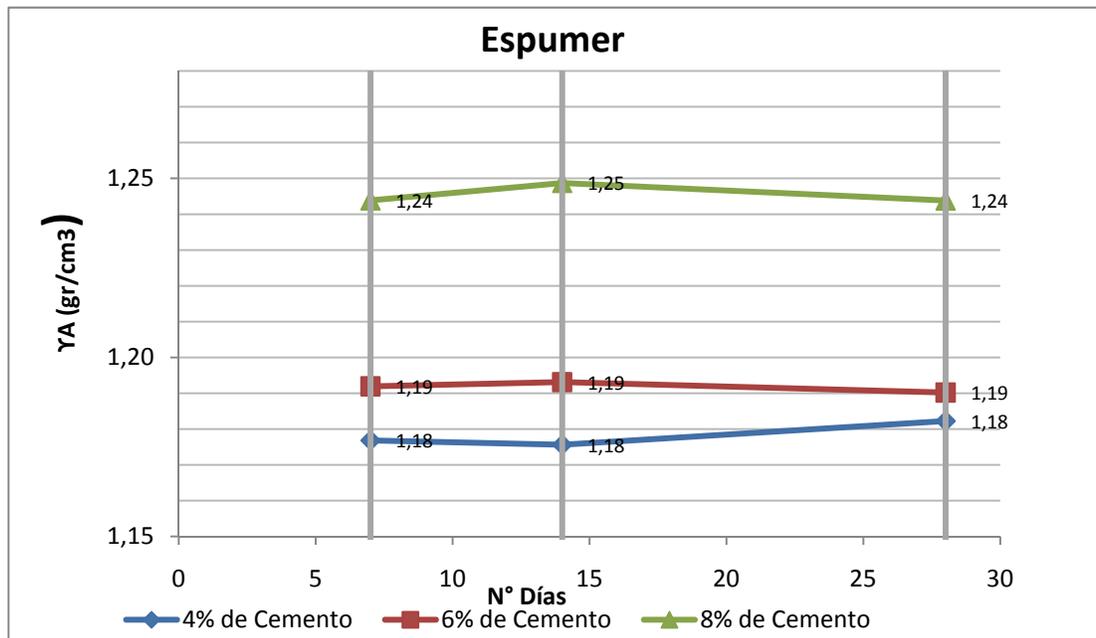
### 3.3.2 Densidad seca - mezcla con Aditivo

Al igual que en los casos anteriores la densidad seca se compra para los diferentes aditivos y el porcentaje de cemento.

### 3.3.1.1 Densidad seca según el tipo de aditivo

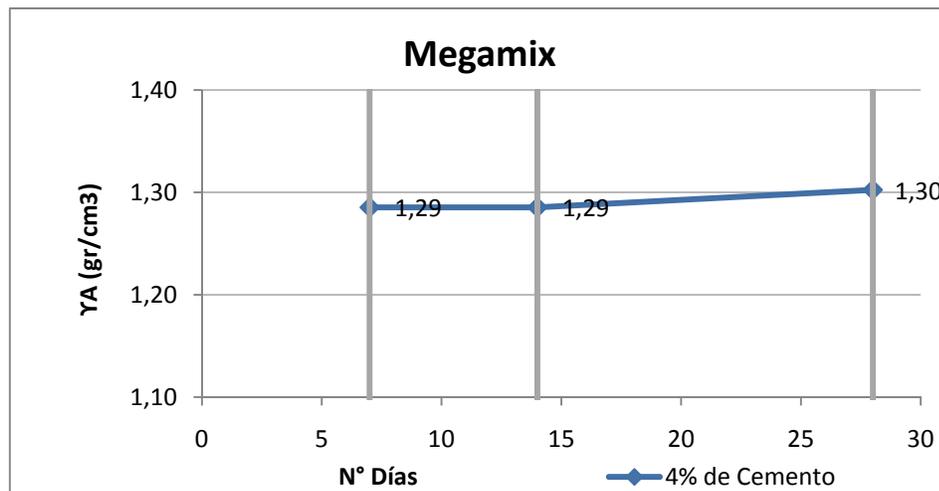
- Dosificación 1:** la tabulación de los datos de densidad para la mezcla con “Espumer” está dada en la tabla 3. El resultado obtenido a los 28 días para la dosificación al 4% de cemento es de  $1.18 \text{ gr/cm}^3$ , para el 6% de cemento de  $1.19 \text{ gr/cm}^3$  y con 8% de cemento es de  $1.24 \text{ gr/cm}^3$ . Los valores de densidad entre el 4% y 6% de cemento no varían en demasiado, tan solo  $0.01 \text{ gr/cm}^3$ , pero para el 8% de cemento ya es de orden de  $0.05 \text{ gr/cm}^3$ . Esta variación en un volumen grande genera un aumento de carga propia del relleno (peso muerto). La gráfica 13 presenta la variación de la densidad en cuanto al paso del tipo.

**Gráfica 13:** Densidad Seca de mezclas con “Espumer”



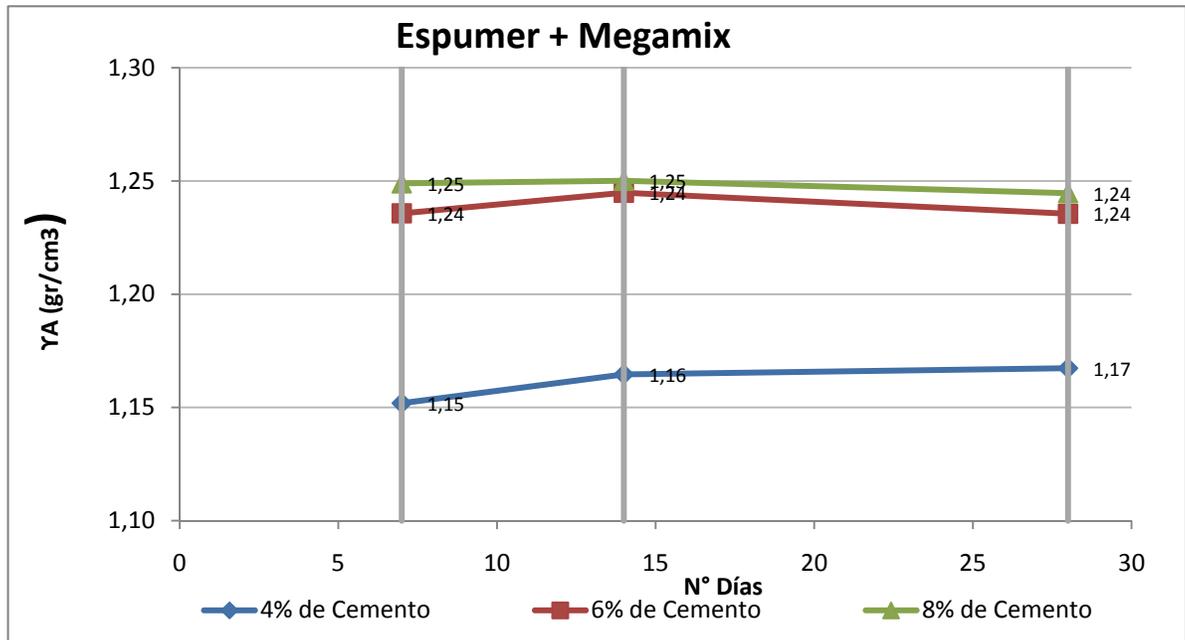
- **Dosificación 2:** la muestra con “Megamix”, por el hecho de ser una muestra con aditivo superplastificante es notable que la densidad seca aumenta. Esto se debe a que el aditivo usado solo ayuda en la reducción de agua, más no en la incorporación de espacios vacíos. La inclusión de aire es la que permite que la muestra sea menos densa. La gráfica 14 presenta una densidad de  $1.30 \text{ gr/cm}^3$  con un 4% de cemento en la muestras.

**Gráfica 14:** Densidad Seca de mezclas con “Megamix”



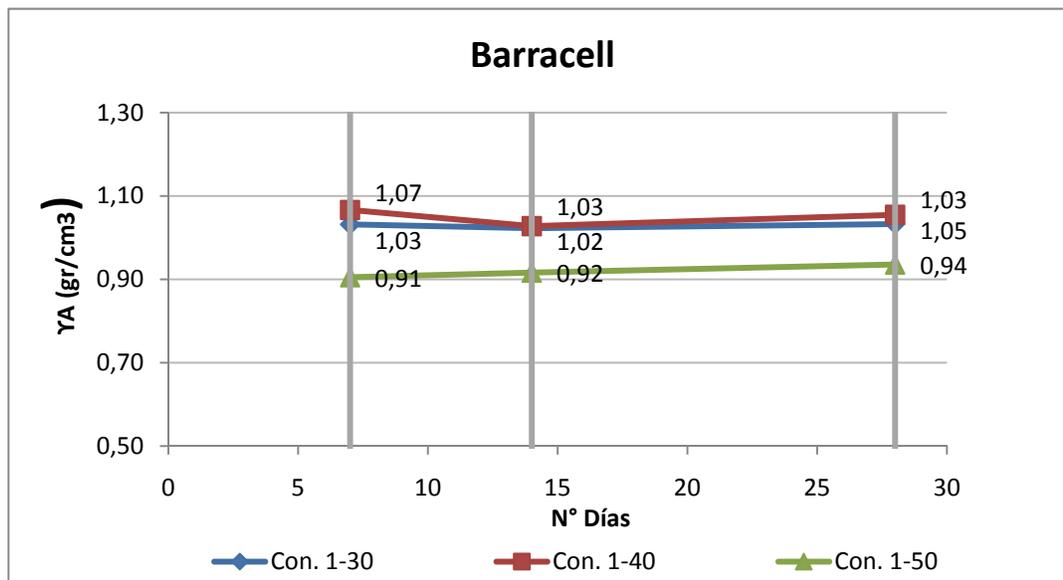
- **Dosificación 3:** la combinación de los dos aditivos, no solo presenta una resistencia buena, sino también una densidad seca relativamente baja. La densidad para la muestra de 4% de cemento es de  $1.17 \text{ gr/cm}^3$ , mientras que para las muestras de 6% y 8% de cemento son muy parecidas. Su valor es de  $1.24 \text{ gr/cm}^3$ . La tabla 4 muestra la tabulación de todos los datos, y en la gráfica 15 se representa la variabilidad antes mencionada.

**Gráfica 15:** Densidad Seca de mezclas con “Espumer + Megamix”



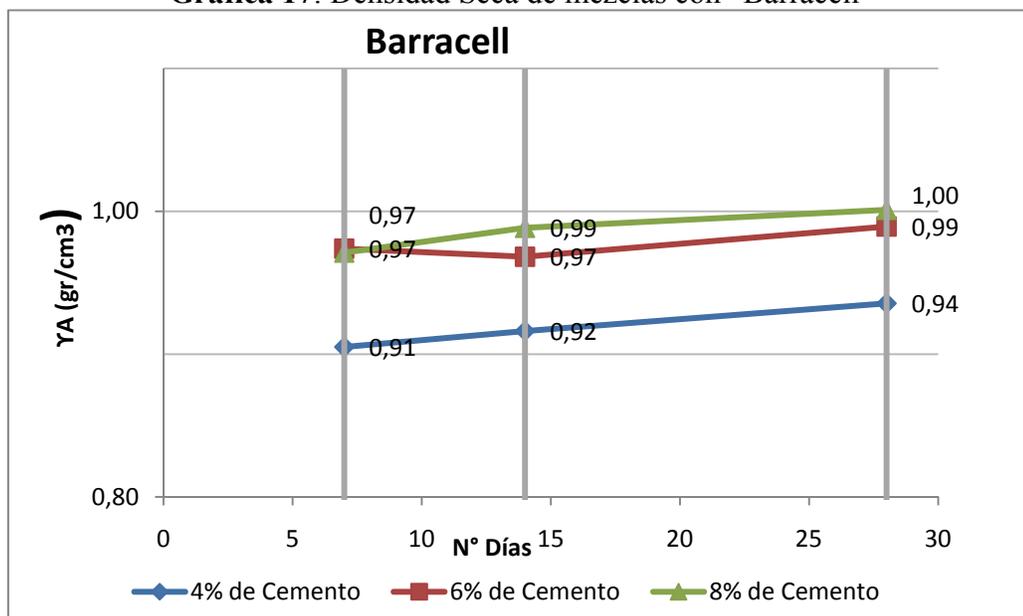
- Dosificación 4:** El aditivo “Barracell” al ser inclusor de aire (espuma espesa) proporciona un crecimiento en la muestra. Esto permite que la muestra reduzca su densidad seca de la muestra. La gráfica 16 presenta las densidades para las diferentes concentraciones de aditivo. Es notable la disminución de la densidad con una concentración más baja, esta es otra de las razones por la cual se optó por elegir la concentración 1-50 del aditivo.

**Gráfica 16:** Densidad Seca de mezclas con “Barracell” a diferentes concentraciones.



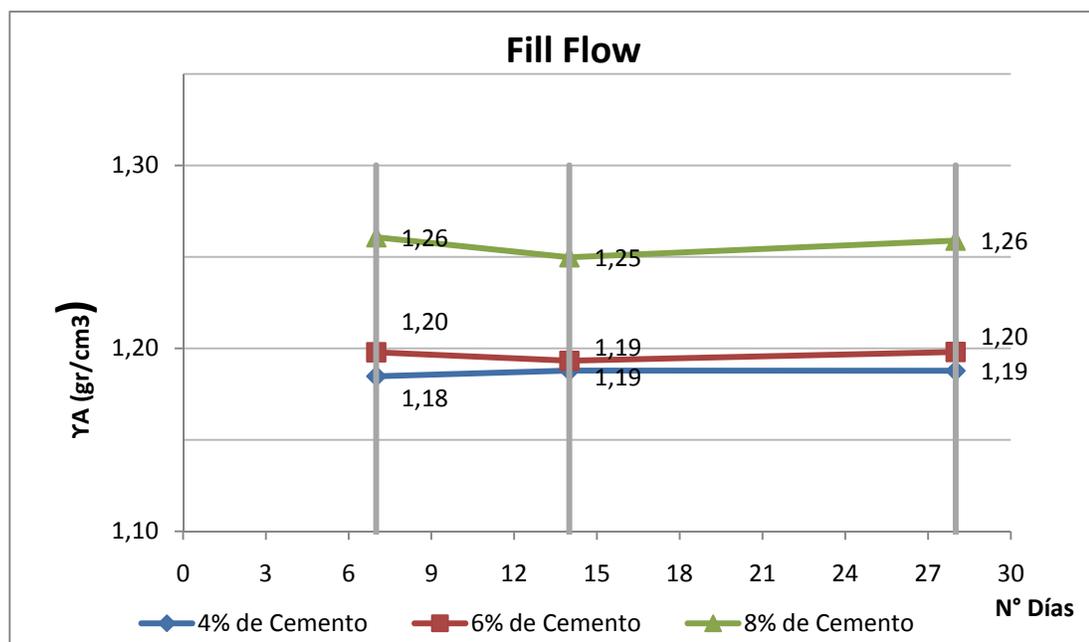
La tabla 5 contiene los valores de densidad para los diferentes porcentajes de cemento, mientras que en la gráfica 17 logramos observar que en la muestra al 4% de cemento la densidad seca es de  $0.94 \text{ gr/cm}^3$ , con 6% de cemento  $0.99 \text{ gr/cm}^3$  y al 8% de cemento  $1 \text{ gr/cm}^3$ .

**Gráfica 17:** Densidad Seca de mezclas con “Barracell”



- **Dosificación 5:** las tres mezclas con aditivo “Fill Flow” presentaron densidades muy parecidas entre sí. La tabulación de los datos para este aditivo se encuentra en la tabla 6. La gráfica 18 muestra los valores máximos de densidad a los 28 días. Dando como resultado para la muestra de 4% de cemento un valor de  $1.19 \text{ gr/cm}^3$ , para el 6% de cemento de  $1.20 \text{ gr/cm}^3$ , y para el 8% de cemento de  $1.26 \text{ gr/cm}^3$ .

**Gráfica 18:** Densidad Seca de mezclas con “Fill Flow”

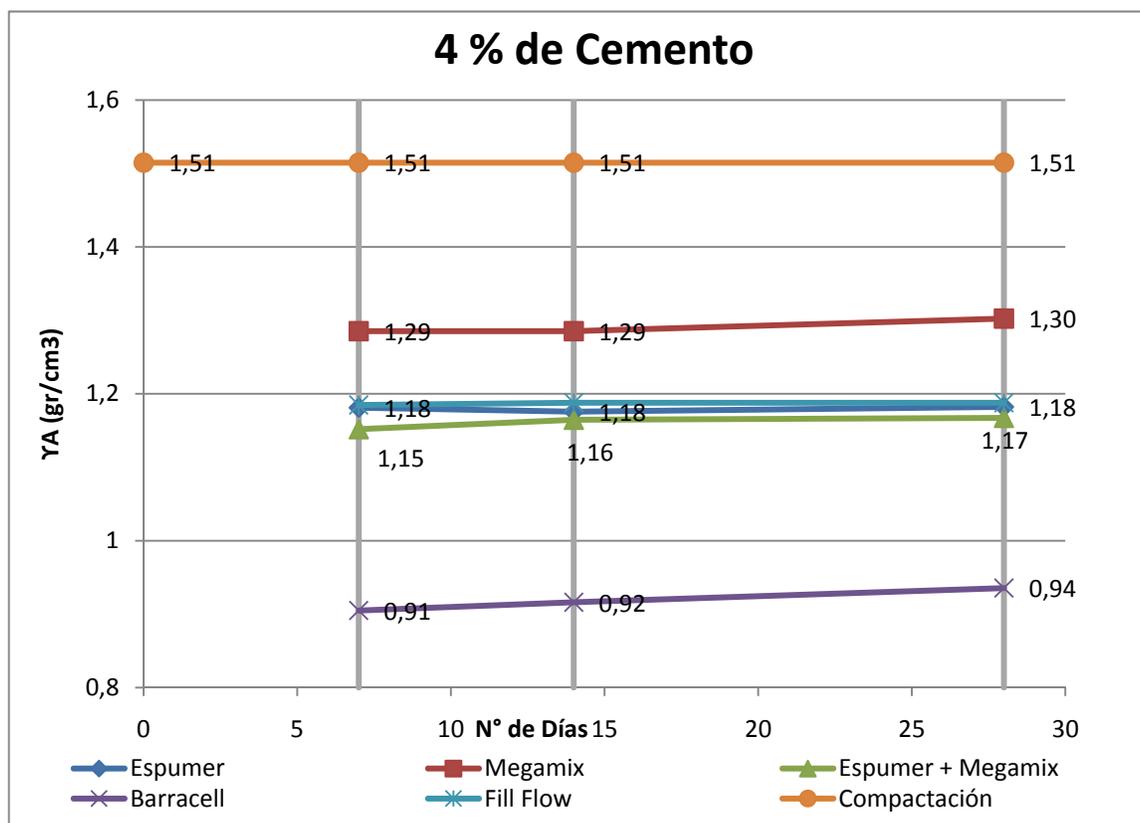


### 3.3.1.2 Densidad seca según el Porcentaje de Cemento

Es notable que la densidad seca de las muestras a diferentes porcentajes de cemento y con el mismo aditivo no varían mucho entre sí. Lo que se hace a continuación es el análisis de la densidad más baja al mismo porcentaje de cemento con diferentes aditivos, también se compara con la densidad máxima seca obtenida por compactación.

- **4% de Cemento:** en la gráfica 19 se observa a simple vista la muestra con menor densidad es con el aditivo “Barracell” con un valor de  $0.94 \text{ gr/cm}^3$ . En cuanto a aditivos se trata, la muestra con una densidad alta es con “Megamix” de  $1.30 \text{ gr/cm}^3$ , pero nada se compara con el valor de  $1.51 \text{ gr/cm}^3$  obtenido compactando el suelo.

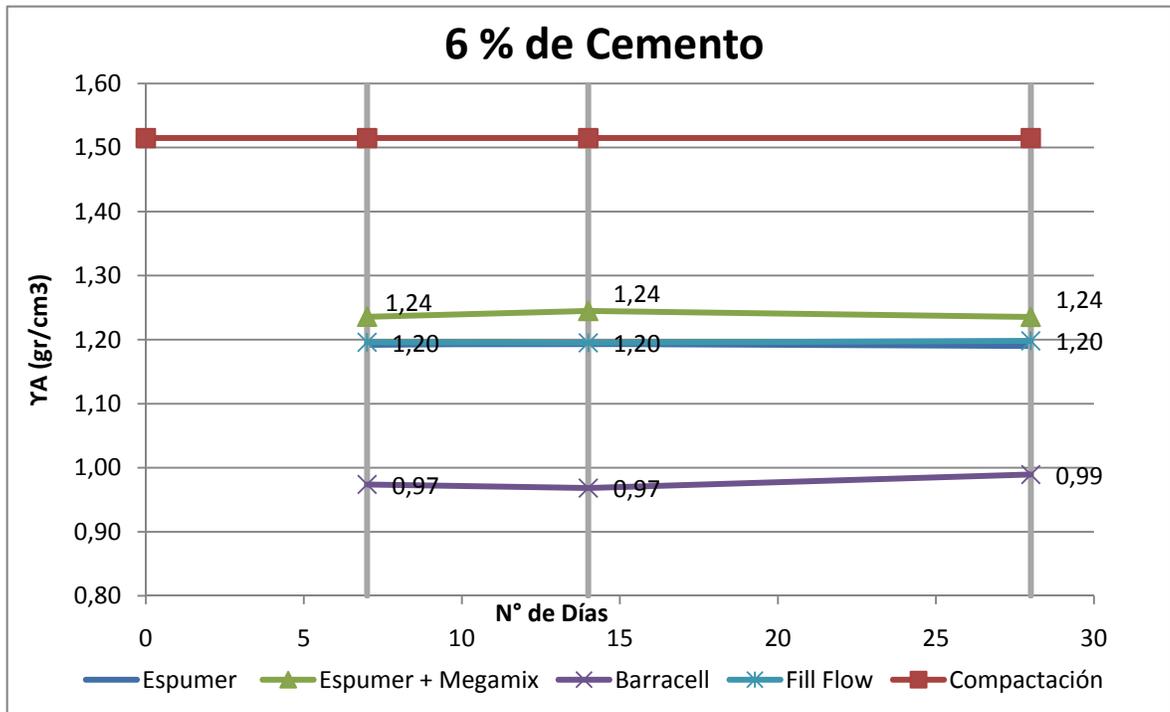
**Gráfica 19:** Densidad Seca de mezclas con “4% de Cemento”



- **6 % de Cemento:** En la gráfica 20 se observa que al igual que al 4% de cemento la mayor densidad obtenida fue por compactación, la menor con “Barracell” con un valor

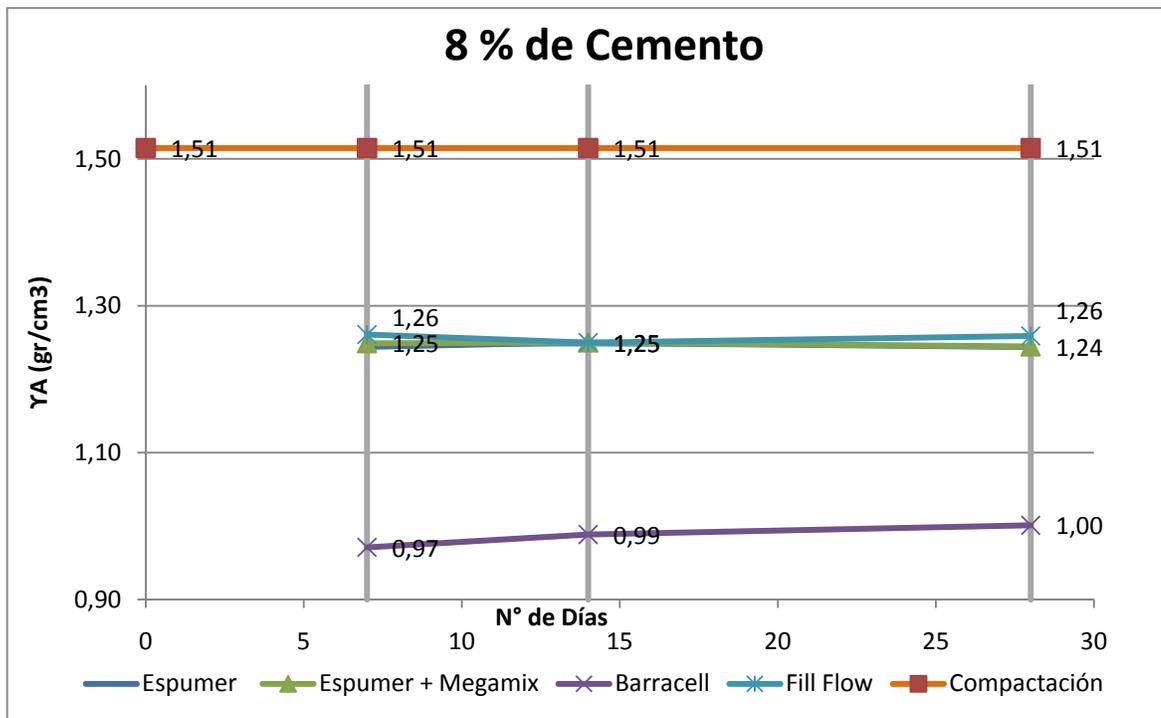
de  $0.99 \text{ gr/cm}^3$ . La mayor densidad con muestra con aditivo fue con Espumer + Megamix de  $1.24 \text{ gr/cm}^3$ .

**Gráfica 20:** Densidad Seca de mezclas con “6% de Cemento”



- 8 % de Cemento:** la densidad entre los diferentes aditivos no es variable. Estas se encuentra en un rango de  $1.24$  a  $1.26 \text{ gr/cm}^3$ . Solo “Barracell” presenta gran diferencia. Para este caso con 8% de cemento la menor densidad es de  $1 \text{ gr/cm}^3$  con “Barracell”, la muestra con aditivo que tiene la mayor densidad es con “Fill Flow” de  $1.26 \text{ gr/cm}^3$ . Aun con este valor, nada iguala a la compactación de suelo con un valor de  $1.52 \text{ gr/cm}^3$ . La gráfica 21 a continuación demuestra lo mencionado.

**Gráfica 21:** Densidad Seca de mezclas con “8% de Cemento”



Los datos obtenidos en laboratorio se encuentran en el Anexo 4.

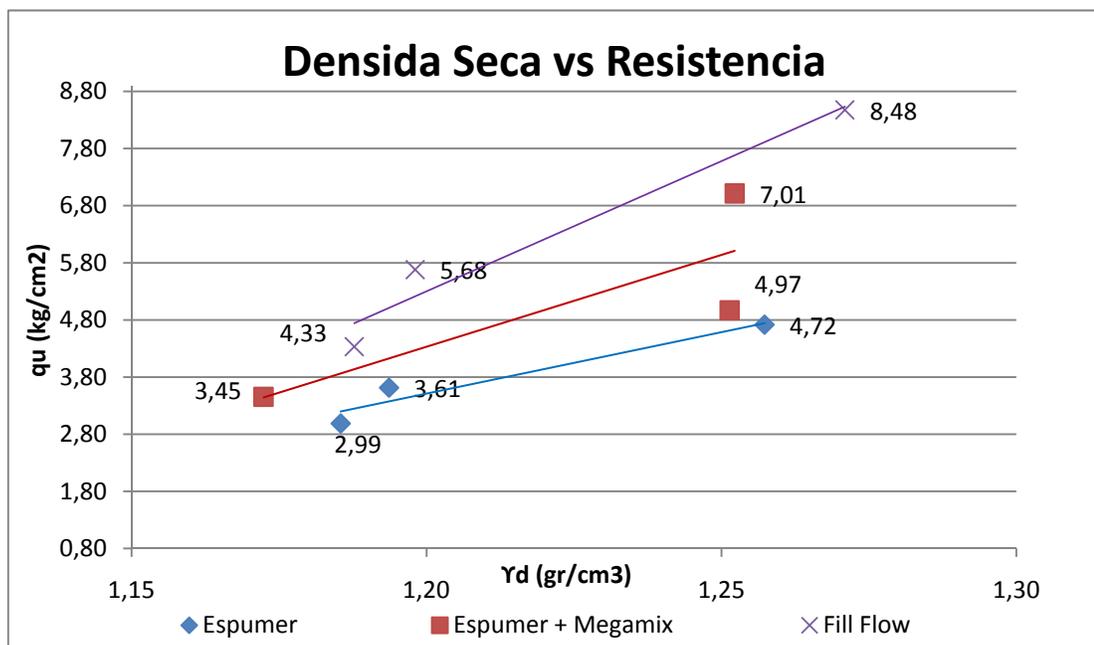
### 3.4 Análisis Resistencia Máxima – Densidad Seca.

Al haber evaluado la resistencia y la densidad de cada una de las muestras de manera aislada se escogieron las mejores muestras. Siendo escogidas las muestra con los aditivos, “Espumer”, “Espumer + Megamix” y “ Fill Flow”.

A continuación se presenta el análisis basado en porcentaje de cemento, según su resistencia máxima versus su densidad seca.

La gráfica 22 muestra, que la muestra con “Fill Flow” alcanzo un 21% más de resistencia y una densidad mayor de 1.6% que la muestra con “Espumer + Megamix”. Se debe recalcar que la resistencia inicial de la mezcla con ”Fill Flow” es mucho mayor comparada con la muestra de “Espumer”. Además, se ve a simple vista que la muestra con “Barracell” posee una densidad baja, pero a vez su resistencia es menor comparada con las otras muestras. La muestra con “Espumer” se encuentra en un punto medio, tanto en densidad como resistencia.

**Gráfica 22:** Resistencia vs. Densidad Seca



### 3.5 Retracción de Fraguado

Durante todo el tiempo de ensayos de probetas, se tuvo muy en cuenta la retracción de fraguado de las mismas. Las probetas no presentaron nunca un cambio de tamaño

(12cm). Durante la rotura de las mismas se verificó, con la ayuda de un calibrador, que la altura inicial no cambie en ningún instante.



**Figura 27:** “Probeta antes de ser ensayada

## 3.6 Conclusiones

### 3.6.1 Mezcla

1. Se utilizaron cinco diferentes tipos de aditivos para las dosificación, de los cuales solo cuatro dieron una mezcla trabajables y homogéneas. Esto se debe a que la muestra con superplastificante solo permitió una reducción de agua con materiales segregados que nunca fue homogénea.
2. En un inicio se asumió que las muestras tendrían un aumento en volumen al incorpora el aditivo espumante. Lo que se corroboró al final de los ensayos.
3. El aditivo “Barracell” mostró el mayor (20%) aumentó de volumen. Para el resto de aditivos existió aumento, pero no fue muy significativo.

### 3.6.2 Fluides:

1. Este parámetro es el que marca la diferencia entre un relleno de suelo compactado y un relleno fluido. Esta característica se logró conseguir para todas las mezclas.
2. Todas las muestras fueron de consistencia y trabajabilidad favorable, ya que se realizó los ensayos bajo un mismo parámetro de fluidez. Todas las mezclas tenían la misma fluidez o al menos parecida.
3. Bajo el parámetro de fluidez no se puede elegir a una de las muestras como la mejor. Todos estuvieron bajo el mismo parámetro de fluidez.
4. El parámetro que rige es la resistencia máxima, densidad mínima y el mejor costo. Todo esto depende de las condiciones en donde se vaya a usar el material.

### 3.6.3 Resistencia y Densidad:

1. La resistencia máxima con los ensayos a compresión, se alcanzó con el aditivo “Fill Flow” a los 28 días de curado, con un 8% de cemento. El valor fue de  $8.48 \text{ kg/cm}^3$ . Si este valor se compara con la resistencia de la muestra compactada, el relleno fluido es 4.5 veces mayor.
2. La variación de resistencia entre las muestras con “Espumer”, “Fill Flow” y “Espumer + Megamix”
3. La muestra con “Barracell” posee la menor densidad y la menor resistencia. Esto se debe a que la dosificación no fue la más óptima, por la falta de colaboración del fabricante. Se asume que lo que afectó a la muestra no fue la concentración de la espuma, sino la cantidad de espuma que se colocó en la mezcla

4. Si se toma como patrón de análisis la densidad, no se puede determinar cuál de las muestras es la mejor, ya que la variación entre densidades es casi nula entre las muestras. Dependiendo el uso del relleno, se puede elegir de acuerdo a la resistencia necesaria y la densidad óptima.
5. Sea el caso de disminuir peso del relleno, es obvio que cualquiera de las dosificación hechas es mejor que el relleno de suelo compactado. Esto se debe ya que un relleno fluido con resistencia máxima, alcanza una densidad seca de  $1.26 \text{ gr/cm}^3$ , mientras que un relleno de suelo compactado de  $1.52 \text{ gr/cm}^3$ .

#### **3.6.4 Otras:**

1. Antes de seleccionar la muestra más apta, es necesario conocer el precio final de la mezcla y los requerimientos del proyecto en donde se quiere aplicar la técnica.
2. Se comprobó que el material es auto-compactante, auto- nivelante y no requiere vibración.
3. No existió retracción de fraguado en ninguna de las muestras.
4. La muestra con “Brracell” fue muy fácil de ser erosionada y absorbe gran humedad. Esto permite que su capacidad de carga disminuya.
5. Las muestras tanto con “Espumer”, “Fill Flow” y “ Espumer + Megamix” tiene una consistencia antes y después de secar muy parecidas.
6. En un relleno fluido la energía de compactación se ve sustituida por el aditivo usado.

## **CAPITULO 4: ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

### **Introducción**

Este capítulo se basa en el análisis de los precios unitarios de materiales, mano de obra y maquinaria para las dos tipos de relleno. La suma de los tres rubros es el resultado del costo total, el mismo que es comparado con el beneficio. Comparar la implementación de una nueva tecnología con relación a su costo es lo que marca la factibilidad de usar este método. En caso del que el costo supere el beneficio, es mejor no implementar rellenos fluidos y es preferible mantener la tecnología usada hasta la actualidad.

#### **4.1 Análisis de precios**

El análisis de costo para los dos métodos está basado en un análisis de precios unitarios por un metro cubico de relleno de suelo compactado y relleno fluido. Los datos se han obtenido por un análisis simplificado propio, tomando en cuenta el rendimiento y algunos costos de la revista de la “Cámara de la Construcción”. Se debe recalcar, que el costo por mano de obra es tomado según la paga de ley (seguro social, décimo tercero y décimo cuarto suelo, vacaciones, etc)

##### **4.1.1 Compactación de suelo**

En compactación tradicional se han analizado el caso de relleno de suelo compactado con maquina (sapo compactador) y material de reposición.

La tabla 10 presenta la descripción de los rubros que se deben tomar en cuenta para el costo final del relleno compactado.

**Tabla 10:** Costo Relleno Compactado

RUBRO: RELLENO COMPACTADO CON MAQUINA Y MATERIAL DE RESPOSICIÓN			UNIDAD	
			m <sup>3</sup>	
<b>(M) EQUIPOS</b>				
DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO HORA	REND. (m <sup>3</sup> /hr)	COSTO /UNIT
Herramientas manuales (5% M.O.)	0	0	0	0.34
Compactador mecánico	1	3.75	0.5	1.88
<b>PARCIAL (M)</b>				<b>2.22</b>
<b>(N) MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO-HORA	REND. (m <sup>3</sup> /hr)	COSTO/UNIT
Peón CAT I	1	3.42	1.00	3.42
Operador de Equipo liviano	1	3.42	1.00	3.42
<b>PARCIAL (N)</b>				<b>6.85</b>
<b>(O) MATERIALES</b>				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Material de Mejoramiento	m <sup>3</sup>	1.3	5.833	7.58
Agua	Lt	30	0.001	0.03

<b>PARCIAL (O)</b>				<b>7.61</b>
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO UNIT.</b>
-	0	0	0	0
<b>PARCIAL (P)</b>				<b>0</b>

**TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)** 16.68

**TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)** 2.67

**PRECIO CALCULAD EN DOLARES** 19.35

El costo final es de 19.35 centavos.

#### 4.1.2 Rellenos Fluidos

El análisis para rellenos fluidos se ha hecho de acuerdo al aditivo y porcentaje de cemento.

• **Dosificación 1:** relleno fluido con Espumer

**Tabla 11:** Costo Relleno Fluido- “Espumer”

<b>RUBRO:</b>	Rellenos Fluidos – Espumer			<b>UNIDAD</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>(M) EQUIPOS</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO /UNIT</b>	
Concreteira	1	6.25	8.00	0.78	

Herramientas manuales (5% M.O.)		0	0	0	0.11
<b>PARCIAL (M)</b>					<b>0.90</b>
<b>(N) MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO-HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO/UNIT</b>
Peón		2	3.42	3.00	2.28
<b>PARCIAL (N)</b>					<b>2.28</b>
<b>(O) MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
<b>4% de Cemento</b>	Arena	m <sup>3</sup>	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	50	0.14	6.88
	Agua	lt	290	0.001	0.29
	Aditivo	lt	1	2.32	2.32
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>14.23</b>
<b>6% de Cemento</b>	Arena	m <sup>3</sup>	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	73	0.14	10.07
	Agua	lt	300	0.001	0.3
	Aditivo	lt	1	2.32	2.32
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>17.44</b>
<b>8% de Cemento</b>	Arena	m <sup>3</sup>	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	100	0.14	13.76
	Agua	lt	305	0.001	0.31
	Aditivo	lt	1	2.32	2.32
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>21.13</b>

4%	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	17.413
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)	2.786
	PRECIO CALCULAD EN DOLARES	20.20

6%	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	20.615
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)	3.298
	PRECIO CALCULAD EN DOLARES	23.91

8%	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	24.308
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)	3.889
	PRECIO CALCULAD EN DOLARES	28.20

El precio final para la mezcla con 4% de cemento es 20.20, para un 6% de c es de 23.91, para 8% es de 28.20.

• **Dosificación 2:** Mezcla con Espumer + Megamix

**Tabla 12:** Costo Relleno Fluido- “Espumer + Megamix”

RUBRO: Rellenos Fluidos - Espumer + Megamix		UNIDAD		m <sup>3</sup>
<b>(M) EQUIPOS</b>				
DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO HORA	REND. ( m <sup>3</sup> /hr)	COSTO /UNIT
Concretera	1	6.25	8.00	0.78
Herramientas manuales(5% M.O.)	0	0	0	0.11
<b>PARCIAL (M)</b>				<b>0.78</b>

<b>(N) MANO DE OBRA</b>						
<b>DESCRIPCION</b>		<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO-HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO/UNIT</b>	
Peón		2	3.42	3.00	2.28	
<b>PARCIAL (N)</b>					<b>2.28</b>	
<b>(O) MATERIALES</b>						
<b>DESCRIPCION</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>	
<b>4% de Cemento</b>	Arena		m <sup>3</sup>	0.81	5.83	4.74
	Cemento		kg	49	0.14	6.71
	Agua		lt	260	0.001	0.26
	Aditivo	Espum.	lt	1	2.32	2.32
		Megam.	lt	1	1.23	1.23
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>15.27</b>	
<b>6% de Cemento</b>	Arena		m <sup>3</sup>	0.81	5.83	4.74
	Cemento		kg	73	0.14	10.07
	Agua		lt	260	0.001	0.26
	Aditivo	Espum.	lt	1	2.32	2.32
		Megam.	lt	1	1.23	1.23
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>18.63</b>	
<b>8% de Cemento</b>	Arena		m <sup>3</sup>	0.81	5.83	4.74
	Cemento		kg	98	0.14	13.43
	Agua		lt	260	0.001	0.26
	Aditivo	Espum.	lt	1	2.32	2.32
		Megam.	lt	1	1.23	1.23
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>21.98</b>	

4%	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	18.33
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)	2.93
	PRECIO CALCULAD EN DOLARES	21.27

6%	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	21.69
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)	3.47
	PRECIO CALCULAD EN DOLARES	25.16

8%	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	25.05
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)	4.01
	PRECIO CALCULAD EN DOLARES	29.06

Para esta dosificación el costo final para 4% de cemento es de 21.27, para 6% de 25.16 y 8% de 29.06.

- **Dosificación 3:** mezcla con aditivo Barracell

**Tabla 13:** Costo Relleno Fluido- “Barracell”

RUBRO:		Rellenos Fluidos - Espumer			UNIDAD	m <sup>3</sup>
<b>(M) EQUIPOS</b>						
DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO HORA	REND. ( m <sup>3</sup> /hr)	COSTO /UNIT		
Concretera	1	6.25	8.00	0.78		
Herramientas manuales(5% M.O.)	0	0	0			
<b>PARCIAL (M)</b>					0.781	

<b>(N) MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO-HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO/UNIT</b>	
Peón	2	3.42	3.00	2.28	
<b>PARCIAL (N)</b>				<b>2.28</b>	
<b>(O) MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>	
<b>4% de Cemento</b>	Arena	kg	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	49	0.14	6.71
	Agua	lt	220	0.001	0.22
	Aditivo	lt	1.00	3.40	3.40
<b>PARCIAL (O)</b>				<b>15.08</b>	
<b>6% de Cemento</b>	Arena	kg	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	73	0.14	10.07
	Agua	lt	240	0.001	0.24
	Aditivo	lt	1.00	3.40	3.40
<b>PARCIAL (O)</b>				<b>18.46</b>	
<b>8% de Cemento</b>	Arena	kg	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	98	0.14	13.43
	Agua	lt	240	0.001	0.24
	Aditivo	lt	1.20	3.4	4.08
<b>PARCIAL (O)</b>				<b>22.49</b>	

<b>4%</b>	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	18.14
	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)</b>	2.90

	<b>PRECIO CALCULAD EN DOLARES</b>	<b>21.05</b>
<b>6%</b>	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	21.52
	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)</b>	3.44
	<b>PRECIO CALCULAD EN DOLARES</b>	<b>24.96</b>
<b>8%</b>	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	25.56
	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)</b>	4.09
	<b>PRECIO CALCULAD EN DOLARES</b>	<b>29.65</b>

Costo final para 4% de cemento 21.05, para 6% 24.96 y para 8% de cemento 29.65.

- **Dosificación 4:** muestra con aditivo Fill Flow.

**Tabla 14:** Costo Relleno Fluido- “Espumer

<b>RUBRO:</b>	Rellenos Fluidos - Fill Flow			<b>UNIDAD</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>(M) EQUIPOS</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO /UNIT</b>	
Concreteira	1	6.25	8.00	0.78	
Herramientas manuales(5% M.O.)	0	0	0	0.11	
<b>PARCIAL (M)</b>				<b>0.781</b>	
<b>(N) MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO-HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO/UNIT</b>	

Peón		2	3.42	3.00	2.28
<b>PARCIAL (N)</b>					<b>2.28</b>
<b>(O) MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
<b>4% de Cemento</b>	Arena	kg	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	49	0.138	6.71
	Agua	lt	300	0.001	0.3
	Aditivo	lb	1.00	4.5	4.5
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>16.26</b>
<b>6% de Cemento</b>	Arena	kg	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	73	0.14	10.07
	Agua	lt	300	0.001	0.30
	Aditivo	lb	1.00	4.50	4.50
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>19.62</b>
<b>8% de Cemento</b>	Arena	kg	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	98	0.14	13.43
	Agua	lt	300	0.001	0.30
	Aditivo	lb	1.00	4.50	4.50
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>22.97</b>

<b>4%</b>	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	19.32
	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)</b>	3.09
	<b>PRECIO CALCULAD EN DOLARES</b>	<b>22.42</b>

<b>6%</b>	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	22.68
-----------	--	-------

	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)</b>	3.63
	<b>PRECIO CALCULAD EN DOLARES</b>	<b>26.31</b>
<b>8%</b>	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	26.04
	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)</b>	4.17
	<b>PRECIO CALCULAD EN DOLARES</b>	<b>30.20</b>

El costo para el 4% de cemento es de 22.24, para 6% de cemento de 26.31 y para 8% de 30.20.

En el Anexo 5 se presenta el desglose del cálculo de precios unitarios.

Al conocer cada uno de los precios unitarios de las mezclas, se puede observar que la variabilidad de los precios radica en el contenido de cemento y el costo del aditivo. A continuación se hace un análisis para determinar cuál de las dosificaciones es la más rentable según su resistencia y densidad. La tabla 15 es un resumen del costo, la resistencia y densidad de las mezclas.

**Tabla 15:** Resumen de Costos

<b>Aditivo</b>	<b>% Cemento</b>	<b>qu (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Y<sub>A</sub> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Precio \$</b>
<b>Espumer</b>	4	2.99	1.19	20.20
	6	3.61	1.19	23.91
	8	4.72	1.26	28.20
<b>Espumer + Megamix</b>	4	3.45	1.17	21.27
	6	4.97	1.25	25.16
	8	7.01	1.25	29.06

<b>Barracell</b>	4	1.11	0.94	21.05
	6	1.24	0.99	24.96
	8	2.31	1.01	29.65
<b>Fill Flow</b>	4	4.33	1.19	22.42
	6	5.68	1.20	26.31
	8	8.48	1.27	30.20
<b>Compactación</b>	-	1.79	1.51	19.35

Dependiendo del tipo de proyecto lo que se busca es una resistencia y densidad adecuado para el relleno a utilizar. Estas variables deben satisfacer todas las condiciones pertinentes con un costo adecuado. Para una mejor apreciación, en primer lugar el análisis que se hace es de resistencia versus costo y densidad versus costo de forma aislada. Como segundo análisis se integran las tres variables (costo, resistencia y densidad).

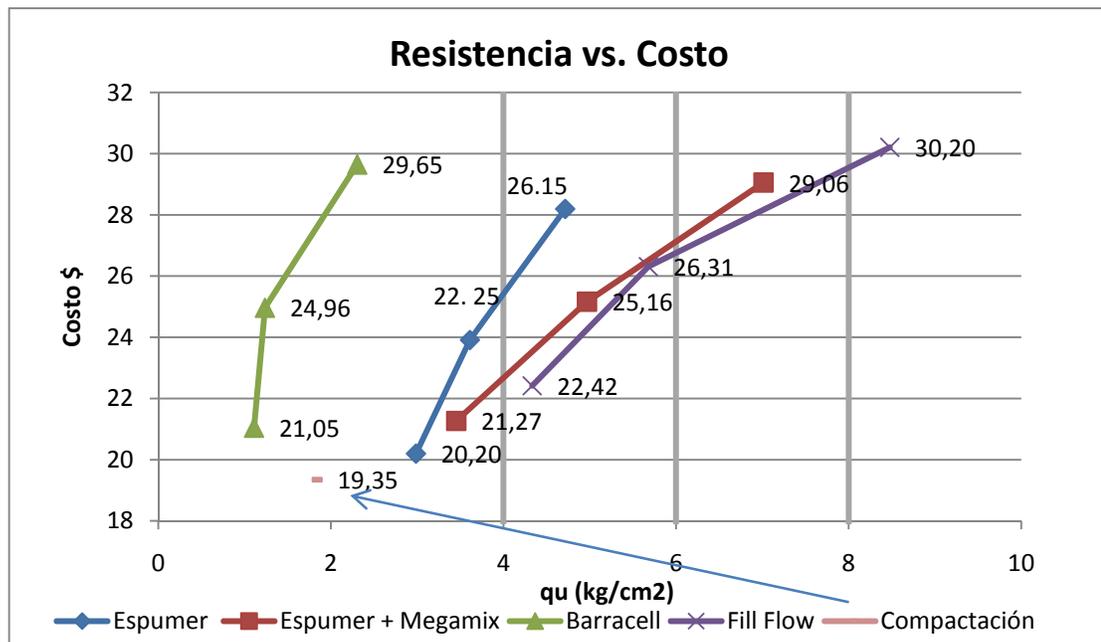
La gráfica 22 muestra la relación de costo versus la resistencia máxima ( $q_u$ ). Es claro que su relación es creciente, a mayor resistencia mayor es el costo. Esto se debe, porque la resistencia es directamente proporcional al contenido de cemento y al aditivo usado.

La mayor resistencia alcanzada es con “Fill Flow”, pero su costo también es mayor. La muestra con “Barracell”, definitivamente no es rentable si se busca un relleno con resistencia baja. Con valores de resistencia entre 6 a 8  $\text{kg/cm}^2$ , la mejor alternativa es usar “Espumer + Megamix.

Un relleno fluido siempre será la mejor opción si se desea alcanzar una resistencia mayor a 3 $\text{kg/cm}^2$ . El costo del relleno fluido comparado con compactación tradicional es

mayor, pero no de forma abismal. El aumento de precio que se paga es por la facilidad, comodidad y rapidez de aplicación.

**Gráfica 23:** Resistencia versus Costo

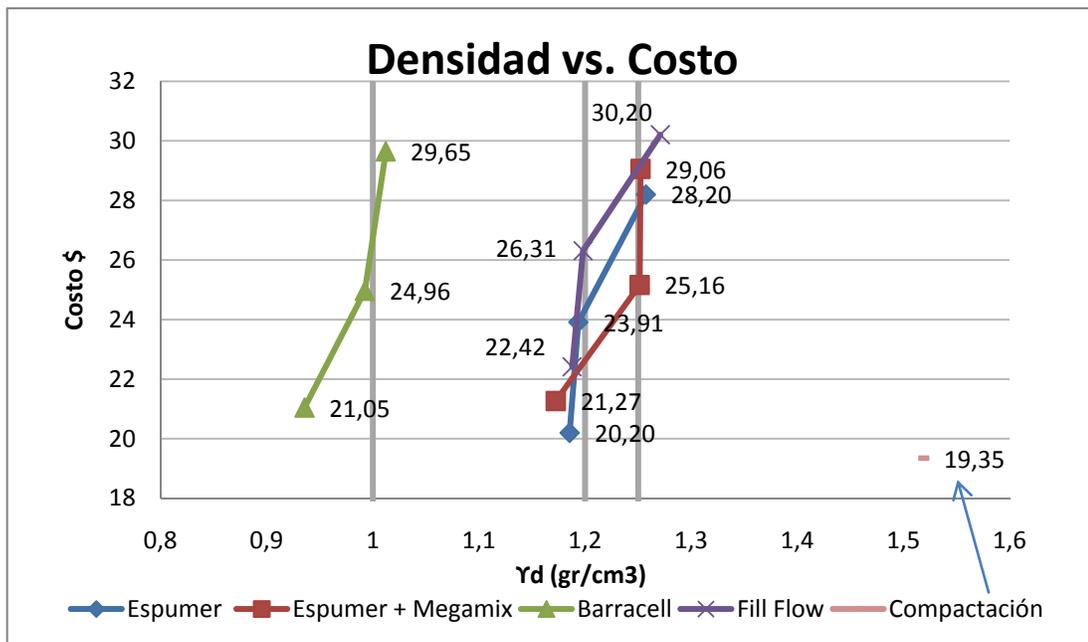


La densidad es una variable que es inversamente proporcional al costo, esto es entendible. Porque un relleno con menor peso debe costar más. La gráfica 23 muestra que una densidad baja implica un mayor costo. La muestra con “Barracell” es una buena opción para un relleno con densidad baja, pero si se desea un costo menor con un incremento de densidad es mejor usar otro aditivo, este puede ser “Espumer” o “Espumer + Megamix”.

Como ya se mencionó, la densidad alcanzada con un relleno de suelo compactado es un 25% mayor que con rellenos fluidos. El precio es un 5% menor. Este aumento de densidad implica un aumento de carga de peso propio del relleno. Este hecho genera un

factor que debe ser tomado en cuenta en el análisis del beneficio versus el costo. El aumentar un 25% más en peso puede crear un aumento en el costo del refuerzo de la estructura donde va a ser utilizado el relleno compactado. Siendo así una mejor opción usar un relleno fluido. Todo depende de las condiciones finales del uso del relleno.

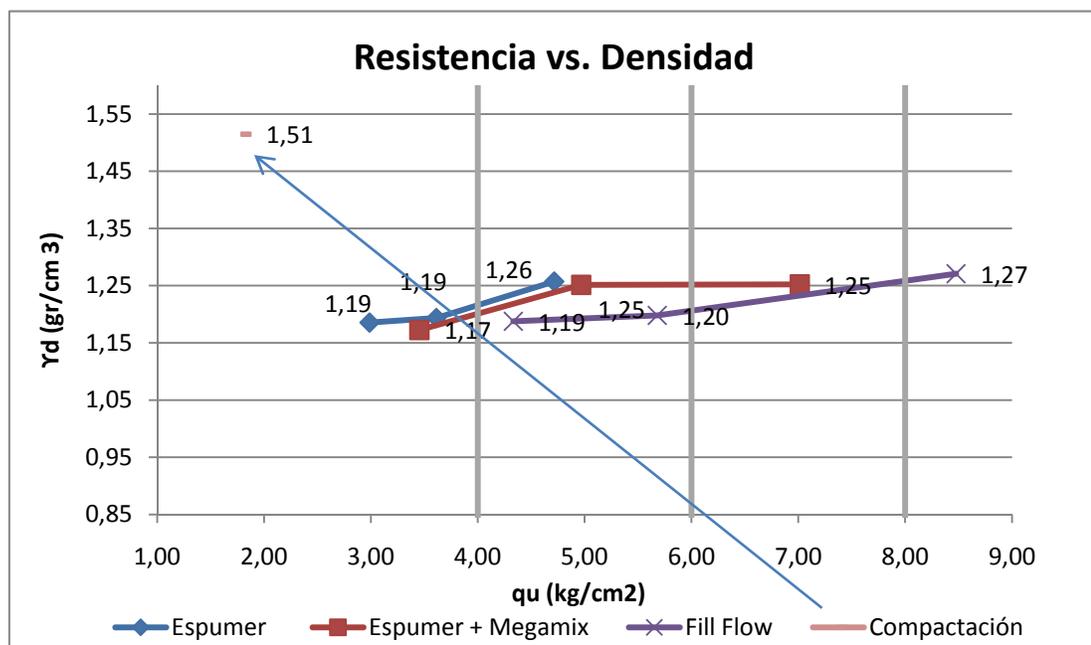
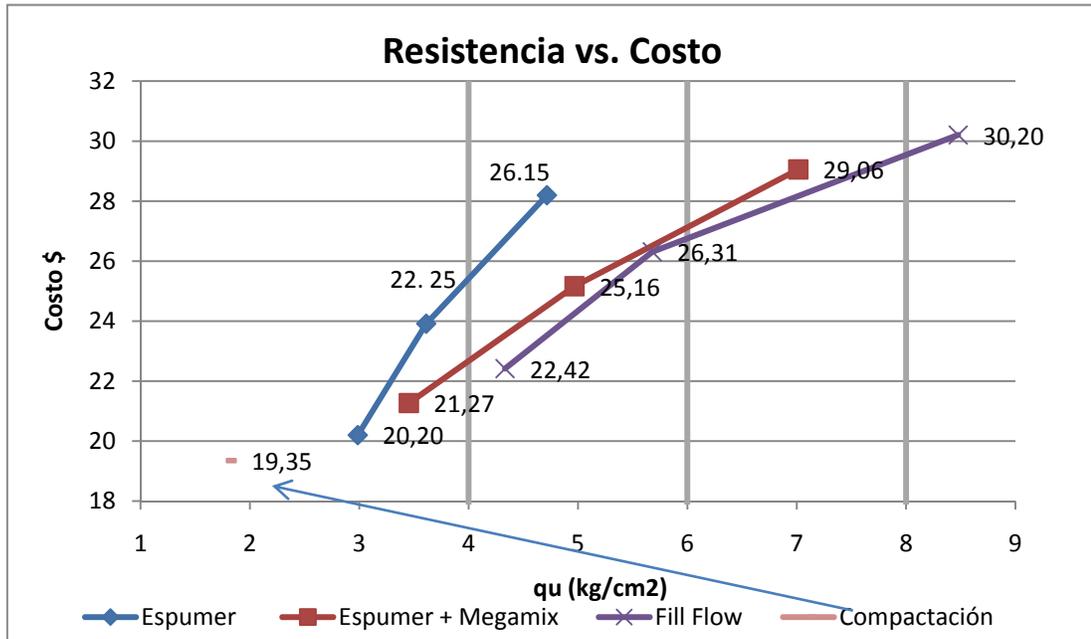
**Gráfica 24:** Densidad versus Costo



El análisis hecho no permite visualizar la relación de las tres variables en un mismo contexto. La gráfica 24 relaciona las variables.

La figura contiene dos gráficas, la primera resistencia versus costo y la segunda resistencia versus densidad. Se nota claramente que la resistencia es la variable independiente en este caso. El parámetro que se desea que cumpla un relleno es, una resistencia adecuada, la menor densidad y el mejor costo. Todo depende del tipo de proyecto y las condiciones a aplicar.

Gráfica 25: Interacción Costo, Resistencia y Densidad.



Es claro que para una resistencia alta, con densidad baja un relleno compactado no es muy beneficioso. En cuanto al costo, la compactación presenta un mejor precio, pero el beneficio alcanzado disminuye. Así que, para dar determinar cuál de los dos métodos es el mejor todo depende del uso que se le vaya a dar al relleno.

## 4.2 Matrices de evaluación

Las matrices permiten asignar un valor a cada una de las características evaluadas dentro de la mezcla. Lo que da lugar a visualizar de forma numérica, cuales con las características que sobresalen entre la comparación de las muestras. El valor máximo de evaluación en este caso es 1 (siendo el mejor). La muestra que obtenga un valor cercano o igual a 1, al final de su evolución, es la mejor alternativa para ser usada.

Las características evaluadas son las de mayor relevancia como densidad, resistencia, fluidez, retracción de fraguado, tiempo de colocación y el precio. Se dice que son relevantes, porque un material debe cumplir con ellas de manera primordial para que sea utilizado en obra.

Cada uno de los parámetros analizados tiene como valor máximo 1 (máximo valor), este valor se lo asigna, según la característica evaluada, a la muestra que presente la mejor propiedad dentro de todas las muestras a analizar. Los valores que se encuentran por debajo de 1 se los representa como el valor porcentual del cumplimiento máximo. Es decir, si la mezcla 2 obtuvo la menor densidad su valor en la escala es 1; mientras que la muestra 3 tiene como valor 0.50. Esto significa que la mezcla 3 es solo el 50% igual de efectiva que la muestra 2 para el parámetro analizado.

Se marcó con color rojo los valores totales que alcanzan un 0.8 o más, porque este valor indica que la muestra cumple con las necesidades con mayoría de las características evaluadas. El color morado representa valores que deben ser analizados para su uso. El color azul remarca los valores máximos de las características de las muestras ya elegidas para el análisis. El verde por el contrario resalta los peores valores obtenidos dentro de la muestra. Valores que deben ser evaluados a fondo si se desea utilizar ese producto.

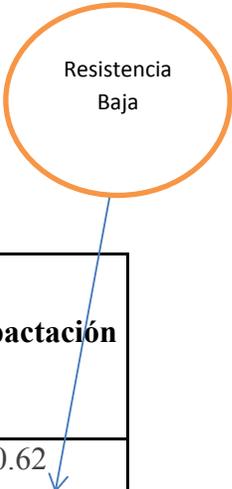
A continuación se presentan 3 diferentes matrices, cada una con un parámetro de resistencia máxima y porcentaje de cemento.

#### 4.2.1 Matriz de evaluación al 4% de cemento:

**Matriz 1: Muestras al 4% de cemento**

4% de Cemento- Resistencia máxima de 4.3 kg/cm <sup>2</sup>				Compactación
Mezclas con Aditivos				
Características de la mezcla	Espumer	Espumer + Magamix	Fill flow	
Densidad	0.79	0.80	0.79	0.62
Resistencia	0.69	0.80	1	0.41
Fluidez	1	1	1	0
Retracción de Fraguado	1	1	1	1
Trabajabilidad	1	1	1	0.2
Tiempo de colocación	1	1	1	0.33
Excavabilidad	0.37	0.32	0.26	0.62
Costo	0.96	0.91	0.86	1.00

Resistencia  
Baja



<b>Total</b>	0.85	0.85	0.86	0.52
--------------	------	------	------	------

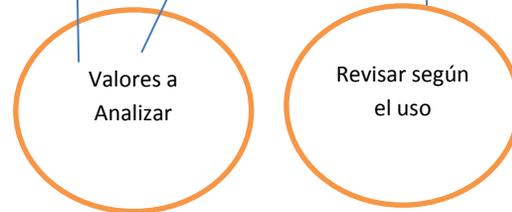
La matriz 1, denota como mejores mezclas las hechas con “Espumer + Megamix” y “Fill Flow”. Las dos tienen un valor total elevado de 0.85 y 0.86 respectivamente. Al término de la evaluación no se debe elegir a simple vista que la muestra con “Fill Flow” es la mejor porque alcanzó un valor total mayor. Lo que permite la matriz es disminuir las alternativas de elección. Al tener las dos, vemos que la muestra con “Espumer + Megamix” alcanza valores desde 0.8 hasta 1 en su valoración de características, dando como resultado la mejor opción para una resistencia máxima de  $4\text{kg/cm}^2$ .

#### 4.2.2 Matriz de evaluación al 6% de cemento:

Matriz 2: Muestras al 6% de cemento

6% de Cemento- Resistencia máxima de $5.68\text{ kg/cm}^2$				Resistencia Baja
Mezclas con Aditivos				
Características de la mezcla	Espumer	Espumer + Magamix	Fill flow	Compactación
Densidad	0.83	0.79	0.83	0.66
Resistencia	0.64	0.87	1.00	0.31
Fluidez	1	1	1	0
Retracción de Fraguado	1	1	1	1
Trabajabilidad	1	1	1	0.2

<b>Tiempo de colocación</b>	1	1	1	0.33
<b>Excavabilidad</b>	0.34	0.25	0.22	0.62
<b>Costo</b>	0.81	0.77	0.74	1.00
<b>Total</b>	0.83	0.84	0.85	0.52



La matriz 2, al igual que la anterior, da como resultado que las muestras con “Espumer + Megamix” y “Fill Flow” son las mejores. Los valores totales son similares entre ambos de 0.92 y 0.93. En cuanto a la evolución de sus características de forma aislada “Fill + Flow” resulta más convenientes, pero centrándonos en el valor de costo la muestra con “Espumer+ Megamix” es más rentable. En este caso todo depende de las características del proyecto. Es claro que para resistencias mayores a  $3\text{kg/cm}^2$ , la compactación no es muy adecuada. La evaluación de sus características de manera aislada permite corroborar lo dicho.

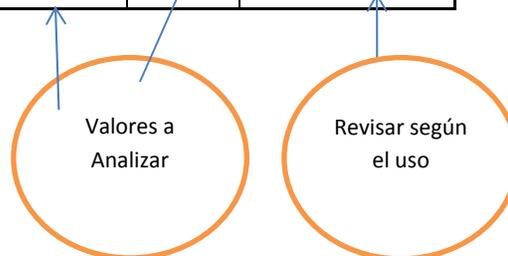
#### 4.2.3 Matriz de evaluación al 8% de cemento:

**Matriz 3:** Muestras al 8% de cemento

<b>8% de Cemento- Resistencia máxima de <math>8.48\text{ kg/cm}^2</math></b>				<b>Compactación</b>
<b>Mezclas con Aditivos</b>				
<b>Características de la mezcla</b>	<b>Espumer</b>	<b>Espumer + Magamix</b>	<b>Fill flow</b>	
<b>Densidad</b>	0.81	0.81	0.80	0.67

Resistencia Baja

<b>Resistencia</b>	0.56	0.83	1.00	0.21
<b>Fluidez</b>	1	1	1	0
<b>Retracción de Fraguado</b>	1	1	1	1
<b>Trabajabilidad</b>	1	1	1	0.2
<b>Tiempo de colocación</b>	1	1	1	0.33
<b>Excavabilidad</b>	0.49	0.33	0.27	1.29
<b>Costo</b>	0.69	0.67	0.64	1.00
<b>Total</b>	0.82	0.83	0.84	0.59



AL parecer para cualquier tipo de resistencia vamos a tener como mejores opciones las muestra con “Espumer + Megamix” y “Fill Flow” . La matriz 3 corrobora la afirmación. Los valores totales son de 0.90 y 0.91 respectivamente. La evaluación asilada de cada una de las características permite observar que las dos muestras se encuentran con valores característicos muy equiparables. La muestra con “Fill + Flow” resulta más convenientes en cuanto a resistencia, pero su variación con “Espumer+ Megamix” no es mucha, todo dependerá de la resistencia del proyecto efectuarse. Lo que se debe analizar en este caso es que el costo del material ( marcado en color naranja) no es completamente rentable. Así que, la elección final la tendrá la persona que decida que es más conveniente para el proyecto, el costo o los beneficios totales obtenidos.

En la matriz de evaluación no se tomó en cuenta la mezcla con aditivo “Barracell”, ya que no se obtuvo los resultados esperados, por la falta de conocimiento de la dosificación del mismo.

### **4.3 Conclusiones:**

#### **4.3.1 Análisis**

1. El estudio de factibilidad presentado en este capítulo se realizó por medio de un análisis sencillo de precios unitarios. Éste tomó en cuenta el costo de materiales, mano de obra y maquinaria para  $1\text{m}^3$  de relleno de suelo compactado y relleno fluido.
2. Los precios de mano de obra se obtuvieron según el requisito de pago del estado. Es decir, tomando en cuenta el precio real de un trabajador para una empresa. La misma que costea pago del IEES, décimo tercero y cuarto sueldo, vacaciones y otro tipo de prestaciones.
3. El costo obtenido para cada una de las muestras (tanto con aditivo y suelo compactado) se graficó versus la resistencia y densidad en gráficas independientes para cada uno.
4. Las matrices de evaluación toman en cuenta varios parámetros para el análisis de las muestras. No estaría bien efectuado un análisis solo de costo, resistencia y densidad. Porque los rellenos fluidos presentan otras características que lo hacen más beneficioso que los rellenos compactados.

### 4.3.2 Costo- Resistencia

1. Las gráficas de resistencia versus costo permiten establecer que la resistencia es directamente proporcional al costo.
2. En caso que se desee un relleno fluido con mayor resistencia su costo también aumenta.
3. Para una resistencia de  $4 \text{ kg/cm}^2$ , es recomendable usar la mezcla con “Espumer + Megamix”. Ésta no solo tiene gran capacidad de carga, buena densidad, fluidez y trabajabilidad si no también su precio no mucho más costoso que un relleno de suelo compactado.
4. En cuanto a una resistencia de  $6 \text{ kg/cm}^2$ , la muestra con “Fill Flow” es una de las mejor alternativas, pero su costo es problemático. Así que, si es por reducir un poco de resistencia y costo la mezcla con “Espumer + Megamix” es una buena alternativa.
5. Una resistencia de  $8 \text{ kg/cm}^2$  solo se la logra con “Fill Flow” y “Espumer + Megamix”, pero su costo es excesivo. Con este tipo de problemas el encargado del proyecto es el que debe decidir que es más conveniente, material resistente con grandes beneficios o un material menos costoso pero con características no muy adecuadas.
6. Es claro que para resistencias mayores a  $3 \text{ kg/cm}^2$  la compactación de suelo es poco conveniente si se desea una mezcla con densidad adecuada, trabajabilidad, poca erosión etc. Lo que si resulta conveniente es su costo.
7. En el análisis de factibilidad, la resistencia es la variable independiente. Por esa razón en la gráfica 24 se tiene dos gráficas. En las cuales tanto el costo como la

densidad dependen de la resistencia. Para la elección de un relleno se determina la mínima resistencia que se desee, la densidad y finalmente el costo.

#### **4.3.3 Costo- Densidad**

1. La variación de la densidad es diferente que la de la resistencia, una mezcla con densidad baja su costo es mayor. Esto se debe a que se obtiene un relleno menos pesado.
2. Si lo que se desea es un relleno con poco peso. Lo más acertado es escoger una mezcla con aditivo que es un 20% más densa que con suelo compactado. No se equipara el 15% más que cuesta un relleno fluido sobre uno de suelo compactado, si compramos la disminución de costo final en un proyecto, por la disminución del peso del relleno.

#### **4.3.4 Otros**

1. El análisis expuesto permite una visión amplia de beneficios y costos de los dos tipos de tecnología. Para poder aplicar una de estas mezclas en un proyecto real, se debe hacer una evaluación más a fondo de todos los beneficios del relleno fluido ante el relleno compactado y viceversa.
2. El aumento del costo de un relleno fluido con un relleno de suelo compactado, se equipara con la disminución de tiempo, la resistencia final obtenida, la facilidad de su colocación, la auto-nivelación, auto- compactación, el producto puede rellenar lugar de difícil acceso, la seguridad de la resistencia final.

## **CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Este capítulo recoge la información más relevante de todo el análisis expuesto. Tratando que la información expuesta sea asimilada de forma sencilla y compacta, para que se pueda aprovechar todo el estudio de mejor manera.

### **5.1 Conclusiones**

#### **5.1.1 Mezcla**

1. Se utilizaron cuatro diferentes tipos de aditivos y tres porcentajes de cemento (4%, 6% y 8%), dando un total de 15 dosificación.
2. La cantidad de suelo y cemento fue la misma para todas las mezclas, lo que varió fue el contenido de agua.
3. Una de las características del aditivo espumante es que permite el aumento de volumen de la mezcla. El aditivo “Barracell” mostró el mayor porcentaje (20%) en aumento de volumen. Con el resto de aditivos existió aumento, pero no fue muy significativo.

#### **5.1.2 Análisis de precios**

1. El estudio de factibilidad presentado en el capítulo 4, como ya se mencionó se hizo por medio de un análisis de precios unitarios. Éste tomó en cuenta el costo de materiales, mano de obra y maquinaria para  $1\text{m}^3$  de relleno de suelo compactado y relleno fluido.

2. Los precios de mano de obra se obtuvieron según el requisito de pago del estado. Es decir, tomando en cuenta el precio real de un trabajador para una empresa. La misma que costea pago del IEES, décimo tercero y cuarto sueldo, vacaciones y otro tipo de prestaciones.
3. El costo obtenido para cada una de las muestras (tanto con aditivo y suelo compactado) se graficó versus la resistencia y densidad en gráficas independientes para cada uno.
4. Las matrices de evaluación toman en cuenta varios parámetros para el análisis de las muestras. No estaría bien efectuado un análisis solo de costo, resistencia y densidad. Porque los rellenos fluidos presentan otras características que lo hacen más beneficioso que los rellenos compactados.

### 5.1.3 Fluidez y Trabajabilidad:

1. Todas las muestras se realizaron bajo un mismo parámetro de fluidez. Se hizo lo posible en mantener en promedio el revenimiento de la muestra, que fue de 14 a 14.5 cm. Todas las mezclas tenían la misma fluidez o al menos parecida.



**Figura 28:** Fluidez de la muestra

2. La incorporación de aditivos generó mezclas trabajables y homogéneas. Solo la mezcla con el aditivo “Megamix” no adquirió esta consistencia. Esto se debe porque la muestra fue hecha con superplastificante. Este aditivo ocasionó una reducción de agua con materiales segregados que nunca fue homogénea.



**Figura 29:** Mezcla Fluida

(“Espumer”, “Espumer +Megamix”, “Fill Flow”, “Barracel”)



**Figura 30:** Mezcla Fluida ("Megamix")

3. Bajo el parámetro de fluidez no se puede elegir a una de las muestras como la mejor. El parámetro que rige es la resistencia máxima, bajo la mínima densidad y su costo. Todo esto depende de las condiciones en donde se vaya a usar el material.

#### **5.1.4 Porosidad y Permeabilidad**

1. A diferencia de las muestras compactadas las muestras con rellenos fluidos son mucho más porosas lo que permite que sean más permeables. El agua puede atravesar con facilidad los poros del relleno fluido.
2. La porosidad se obtiene por la adición del aditivo.

### **5.1.5 Colocación**

1. Las condiciones de vertido de la muestra en los moldes se hizo al volteo. Con esto, se trató de mantener las condiciones de obra en donde no se necesita vibrar a la mezcla.
2. Al colocar la muestra al volteo y ver que no se necesitaba varillar se constató que el material es auto -nivelante.

### **5.1.6 Fraguado**

1. Este parámetro se lo midió con gran cautela a los 7, 14 y 28 días.
2. Ninguna de las muestra presentaron retracción.

### **5.1.7 Resistencia**

1. Como ya se mencionó la resistencia se la midió para ambos caso con el ensayo de compresión simple de cilindros.
2. Las gráficas permitieron establecer que la resistencia es directamente proporcional al costo, mientras se desee una mayor resistencia el costo aumenta.
3. La resistencia máxima con los ensayos a compresión, se alcanzó con el aditivo “Fil Flow” a los 28 días de curado, con un 8% de cemento. El valor fue de  $8.48 \text{ kg/cm}^3$ . Si este valor se compara con la resistencia de la muestra compactada, el relleno fluido es 4.5 veces mayor.

4. La variación de resistencia entre las muestras con “Espumer”, “Fill Flow” y “Espumer + Megamix”.



**Figura 31:** Rotura de cilindros

5. Las gráficas de resistencia versus costo permiten establecer que la resistencia es directamente proporcional al costo.
6. En caso que se desee un relleno fluido con mayor resistencia su costo también aumenta.
7. En cuanto a relación costo – resistencia, para una resistencia de  $4 \text{ kg/cm}^2$ , es recomendable usar la mezcla con “Espumer + Megamix”. Ésta no solo tiene gran capacidad de carga, buena densidad, fluidez y trabajabilidad si no también su precio no mucho más costoso que un relleno de suelo compactado.

8. En cuanto a una resistencia de 6 kg/cm<sup>2</sup>, la muestra con “Fill Flow” es una de las mejor alternativas, pero su costo es problemático. Así que, si es por reducir un poco de resistencia y costo la mezcla con “Espumer + Megamix” es una buena alternativa.
9. Una resistencia de 8 kg/cm<sup>2</sup> solo se la logra con “Fill Flow” y “Espumer + Megamix”, pero su costo es excesivo. Con este tipo de problemas el encargado del proyecto es el que debe decidir que es más conveniente, material resistente con grandes beneficios o un material menos costoso pero con características no muy adecuadas.
10. Es claro que para resistencias mayores a 3 kg/cm<sup>2</sup> la compactación de suelo es poco conveniente si se desea una mezcla con densidad adecuada, trabajabilidad, poca erosión etc. Lo que si resulta conveniente es su costo.
11. En el análisis de factibilidad, la resistencia es la variable independiente. Por esa razón en la gráfica 24 se tiene dos gráficas. En las cuales tanto el costo como la densidad dependen de la resistencia. Para la elección de un relleno se determina la mínima resistencia que se dese la densidad y finalmente el costo.

#### **5.1.8 Densidad**

1. Si se toma como patrón de análisis la densidad, no se puede determinar cuál de las muestras es la mejor, ya que la variación entre densidades es casi nula entre las muestras.
2. Sea el caso de disminuir peso muerto del relleno, es obvio que cualquiera de las de dosificación hechas con aditivo es mejor que el relleno compactad. Ya que un relleno fluido con resistencia máxima alcanza una densidad seca de 1.26 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que un relleno de suelo compactado de 1.52 gr/cm<sup>3</sup>.

3. En cuanto al coto- densidad. La variación de la densidad es diferente que la de la resistencia, una mezcla con densidad baja su costo es mayor. Esto se debe a que se obtiene un relleno menos pesado.
4. Si lo que se desea es un relleno con poco peso. Lo más acertado es escoger una mezcla con aditivo que es un 20% mas densa que con suelo compactado. No se equipara el 15% más que cuesta un relleno fluido sobre uno de suelo compactado, si compramos la disminución de costo final en un proyecto, por la disminución del peso del relleno.
5. La muestra con “Barracell” posee la menor densidad. Pero por la falta de ayuda de la empresa Basf se consiguió un material de densidad baja, pero muy erosionable y absorbe la humedad lo que permite que se disminuya su capacidad de carga y puede fallar.

#### **5.1.9 Costo**

1. El aditivo “Fill Flow” es uno de los más costosos, porque se lo debe importar dese Estados Unidos, pero los resultados obtenidos con el mismo son de la mejor calidad.
2. Los aditivos de Adimix, como son “Megamix “ y “Espumer”. Presentaron resultados favorables y además su producción es nacional. Por esta razón su costo es menor. Es una de las mejores alternativas para poder ser usado.
3. Finalmente en el costeo todo depende del tipo de proyecto que se tenga. Porque este marcará la factibilidad de utilizar un nuevo método con grandes beneficios y un precio un poco más elevado.
4. No se debe tomar en cuenta solamente el precio sino la cantidad de beneficios que se obtiene al final, ya que en precio inicial puede variar, pero la reducción de costos al final de la obra es lo que marcará la diferencia.

### **5.1.10 Otras**

1. La energía de compactación del relleno compactado es sustituida por el aditivo químico en rellenos fluidos.
2. Se comprobó que el material es auto-compactante, auto- nivelante y no requiere vibración.
3. Ninguna de las muestras presenta retracción al fraguado, porque la cantidad de cemento es pequeña comparada con su volumen.
4. Antes de seleccionar la muestra más apta, es necesario conocer el precio final de la mezcla y los requerimientos del proyecto en donde se quiere aplicar la técnica.
5. En el análisis de factibilidad la resistencia es la variable independiente, por esa razón en la gráfica 24 se tiene dos gráficas. En las cuales tanto el costo como la densidad dependen de la resistencia.

### **5.2 Recomendaciones**

1. No debe existir preocupación ante la retracción de fraguado, solo en caso de usar un material plástico. La retracción dependerá de la plasticidad del material usado.
2. Es adecuado seguir elaborando pruebas con el aditivo “Barracell” hasta conseguir la dosificación exacta de la cantidad de espuma.
3. Se debe realizar un diseño específico para cada proyecto, según el aditivo a usar y el material.

4. La factibilidad de uso de esta nueva tecnología, deja la puerta abierta para el estudio de los aditivos para alcanzar mayores resistencias.
5. El análisis de beneficio- costo del material para el uso en obra debe tomar en cuenta todos los parámetros necesarios. Es decir, el ahorro en tiempo, maquinaria, la disminución del peso del material. Los rellenos fluidos no deben ser evaluados simplemente por comparación de costo, ya que esto no da valor a todos los beneficios del material ya en obra.
6. No se debe castigar al relleno fluido solo por el costo, sino se debe tomar en cuenta los múltiples beneficios que este presenta de forma global dentro de un proyecto.
7. El análisis expuesto permite una visión amplia de beneficios y costos de los dos tipos de tecnología. Para poder aplicar una de estas mezclas en un proyecto real, se debe hacer una evaluación más a fondo de todos los beneficios del relleno fluido ante el relleno compactado y viceversa.

## Bibliografía

ACI Concrete Knowledge Center. “Technical Questions.” 14 de febrero del 2006.05 de Mayo del 2010. <<http://www.concrete.org/FAQ/afmviewfaq.asp?faqid=5>>

Arquistory. “Meteorización”. 28 de Julio del 2010. <<http://www.arqhys.com/arquitectura/meteorizacion.html>>

ASTM Book of Standars, Volimes 04.09 and 04.02, American Society for testing and Materials, West Conshohocken, PA.

ASTM D 4832 “Standard Test Method for Preparation and Testing of Controlled Low Strength Material (CLSM) Test Cylinders”.

CEMEX Puerto Rico, “Todo lo que busca en un buen concreto”. 20 de febrero del 2010. <<http://www.cemexpuertorico.com>>

Concrete Price. “Concrete Division”. 29 de junio del 2010. <[www.cincinnatiareadymix.com/flowable %20fill2.jpg](http://www.cincinnatiareadymix.com/flowable%20fill2.jpg)>

Controlled Low-Strehgh Materials, W.S Adaska, Concrte International, April 1997, pp.4143, American Concrte Institute. Farmington Hills, MI.

Controlled Low-Strength Materials, ACI229R, American Concrte Institute, Farmington Hills, MI.

Dirección Civil de Proteccion y Energética, “ Daño en edificaciones en caso de terrenomos”, 20 febrero del 2010, <[www.proteccioncivil.org/.../gmartin/Image402.jpg](http://www.proteccioncivil.org/.../gmartin/Image402.jpg)>

Equipos para ensaye de Materiales de Construcción. “Proctor Modificado.”23 de febrero del 2010.<[www.elvec.com.mx/pages/suelos.html](http://www.elvec.com.mx/pages/suelos.html)>

Fly Ash Direct. “Services | Flowable Fill” 18 de junio del 2010. <[http://www.flyashdirect.com/img\\_flyash/img\\_flyash\\_internalpg/flowable\\_fill.jpg](http://www.flyashdirect.com/img_flyash/img_flyash_internalpg/flowable_fill.jpg)>

Fritz Pak. “Fill Flow.” Production Bolletin #1. 02 mayo del 2010.

Geotechnical Applications, “Bulkheads & Retaining Walls”, 28 de junio del 2010. <[www.permatill.com/.../Geo%20App%20Picture8.jpg](http://www.permatill.com/.../Geo%20App%20Picture8.jpg)>

Información técnica de la National Ready Mixed Concrete Association. “CIP 17 Rellenos Fluidos”. 04 enero del 2010. <[www.nrmca.org/aboutconcrete](http://www.nrmca.org/aboutconcrete)>

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.Revista Construcción y Tecnología. Abril 2000. “Relleno fluido un material para obras de Infraestructura”. 20 de febrero del 2010. <[www.imcyc.com.mx/.../2000/abril2000/relleno.jpg](http://www.imcyc.com.mx/.../2000/abril2000/relleno.jpg)>

Introducción a la Mecánica de los Suelos y Cimentación. George B. Sowers y George F. Sowers.

Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. Karl Terzagui y Ralph B. Peck.

Mecánica de Suelos. T. William Lambe y Robert V. Whitman.

Mecánica de Suelos. Tomo I. Fundamentos en la Mecánica de Suelos. Juárez Badillo y Rico Rodríguez.

Mecánica de Suelos.“Determinación del Límite Líquido.” 22 de febrero del 2010.<[www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/liquidoM4\\_archivos/image004.gif](http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/liquidoM4_archivos/image004.gif)>

Poliestireno de Sn Luis. “ Productos”. 20 de febrero del 2010. <[www.poliestirenodesanluis.com/images/fotos06.jpg](http://www.poliestirenodesanluis.com/images/fotos06.jpg)>

Recommended Guide Specification for CLSM (Flowable Fill) NRMCA Publication 2FFGS, National Ready MiXED Concrte Association, Silver Spring, MD.

Simas. “Archivos Fotográficos Colector la Joya”. 20 de febrero de 2010. <[www.simastorreon.gob.mx/?P=archivojoya](http://www.simastorreon.gob.mx/?P=archivojoya)>

T. William Lambe. Robert V. Whitman. Mecánica de suelos. Editora Limusa. México. 1997. ISBN 968-18-1894-6

Tecnología del Hormigón, “ Asentamiento del Cono”, 05 de febrero del 2010, <[www.ucn.cl /FacultadesInstitutos/laboratorio/conoT7](http://www.ucn.cl /FacultadesInstitutos/laboratorio/conoT7)>

Tenax. “Caminos, Pavimentos y No Pavimentados”. 20 de febrero del 2010. <[www.tenax.net/geosinteticos/estabilizacion-de-terrenos/geomallas-para-caminos-pavimentados.htm](http://www.tenax.net/geosinteticos/estabilizacion-de-terrenos/geomallas-para-caminos-pavimentados.htm)>

Tenax. “El concreto ideal para cada Necesidad”. 20 de febrero del 2010. <[www.cemexpanama.com/images/co/img\\_fig\\_2.gif](http://www.cemexpanama.com/images/co/img_fig_2.gif)>

Terraplenes. “Uso de Geotextiles en Terraplenes”. 28 Junio del 2010 <[www.cnrt.gov.ar/viayobra/NOTGVO\(V\)%20001%20Fi.](http://www.cnrt.gov.ar/viayobra/NOTGVO(V)%20001%20Fi.)>

Tschebotarioff, Gregory P. “ Mecánica del Suelo: Cimientos y Estructura de Tierra.”, Editoria Aguilar, Cuarta Edición, 1967, Madrid.

Universidad Católica del Norte, Departamento de Construcción Civil. Mecánica de Suelos.  
9 de febrero del 2010. <[www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio](http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio)>

## **Anexos**

5.1.3	Fluidez y Trabajabilidad:.....	132
5.1.4	Porosidad y Permeabilidad .....	134
5.1.5	Colocación .....	135
5.1.6	Fraguado.....	135
5.1.7	Resistencia.....	135
5.1.8	Densidad.....	137
5.1.9	Costo.....	138
5.1.10	Otras .....	139
5.2	Recomendaciones .....	139
Bibliografía .....		141
Anexos .....		143

## **Introducción**

El primer estudio de rellenos fluidos fue dado a conocer en el año 1964. Este fue efectuado por el “U.S. Bureau of Reclamation”. Al término de este análisis se comprobó que los rellenos fluidos eran muy versátiles; por esta razón, en varias partes del mundo, se han comenzado a utilizar como sustituto de los rellenos de suelo comunes (suelo compactado). Países como Estados Unidos, México y Canadá han visto a ésta como una alternativa fácil y rápida de aplicar en cualquier tipo de problema que se refiera a rellenos.

En el Ecuador solo se utilizan rellenos de suelo compactado. En cuanto a esta técnica, se denota que su implementación toma demasiado tiempo, requiere gran cantidad de mano de obra, maquinaria pesada y la obtención de numerosas muestras de campo. Otro punto desfavorable es que este tipo de técnicas restringen al ingeniero, porque en varios casos el peso propio del relleno representa una gran carga muerta, lo que da lugar a diseños de mayor tamaño y por ende de mayor costo.

Al comienzo del estudio de rellenos fluidos se tomaron en cuenta las variables que podían afectar los resultados finales. Una de ellas fue el tipo de suelo, por este motivo se utilizó cenizas volcánicas de una sola zona, las cuales no tienen una clasificación específica y no son completamente homogénea. Se tomó este material, dado que se encuentra en varias zonas en la ciudad de Quito.

Por otro lado, la esencia de un relleno fluido es el aditivo químico que se utiliza, el mismo que permite dar la fluidez e incorpora aire.

Al término de la investigación, se va a tratar de dar a conocer un nuevo método de relleno, tomando en cuenta que tan aplicable y beneficioso puede ser en nuestro país. También se medirá la relación beneficio – costo de dicha técnica ante los rellenos de suelo tradicionales.

## **CAPÍTULO: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **Alcance y Objetivos**

#### **Alcance**

El Proyecto está enfocado en dar a conocer una nueva técnica de rellenos de suelo en el país, esperando que ésta beneficie a todos aquellos que la puedan aplicar. Además se determinarán las ventajas y desventajas de los rellenos fluidos en relación con los rellenos de suelo tradicionales.

Al contrastar ambos métodos y diferenciar todas sus características y beneficios, todo ingeniero civil puede tomar como alternativa el implementar el método de relleno fluido en proyectos civiles o simplemente descartarlo.

El estudio está fundamentado en pruebas de laboratorio basadas en una investigación. Dicha investigación está justificada por medio de estudios realizados y analizados con las normas ASTM Y AASTHO.

Para los dos métodos, se va a utilizar un solo tipo de material, el mismo que fue sacado del “Nuevo Aeropuerto de Quito”.

Con el estudio se pretende mostrar un análisis detallado de la resistencia de ambos rellenos y la utilidad de uno versus el otro. También se hará un breve análisis de precios unitarios, para comprobar si los beneficios se equilibran con el costo en ambos métodos.

De todo esto se obtendrá como resultado el análisis de un nuevo método de relleno, el mismo que al final del proyecto mostrará sus ventajas y desventajas.

## Objetivos

- Utilizar un tipo uniforme de material, proveniente de la misma zona de préstamo, con el propósito de comparar los dos métodos mencionados bajo las mismas condiciones.
- Someter el material a ensayos de control como gravedad específica, granulometría y límites de Atterberg (líquido y plástico) ASTM D4318-05.
- Aplicar los procedimientos establecidos en la norma, para el ensayo de energía de compactación modificado, con un peso específico ( $\gamma$ ) y humedad óptima ( $\omega$ ) del suelo para los rellenos.
- Aplicar los procedimientos establecidos en la norma para rellenos fluidos, utilizando diferentes dosificaciones.
- Utilizar ensayos de resistencia del mismo tipo para las dos tecnologías: compresión simple para la línea base (compactación de suelo) y la muestra con el agente químico (relleno fluido).
- Comparar cambios cuantitativos de resistencia y densidad de los dos materiales.
- Determinar cuáles son las ventajas y desventajas de los dos métodos de rellenos.
- Realizar un análisis económico e ingenieril de los resultados.

- Cuantificar el costo – beneficio de las dos tecnologías.
- Comparar el costo- beneficio de las dos tecnologías.
- Analizar la factibilidad del proyecto con la tecnología de rellenos fluidos en el Ecuador.

## **1.1 Descripción de la tecnología actual**

El Ecuador es uno de los muchos países que utilizan como tecnología de relleno la compactación. Método que permite que el suelo alcance una resistencia.

### **1.1.1 Compactación del suelo:**

Se define como el proceso de aplicación de energía de manera artificial para una muestra de suelo. Esto se realiza con el fin de incrementar la densidad (peso seco unitario), reducir el volumen de vacíos y eliminar el aire contenido en la muestra de suelo. Con esto se logra que el material compactado obtenga una resistencia mucho más alta que en estado natural y a su vez se disminuye la capacidad de deformación. El grado de compactación viene medido en términos de su peso específico seco. (Braja M. Das, pág. 52)

### **1.1.2 Teoría de Compactación**

El hombre ha visto necesario que el suelo sea una masa fuerte capaz de resistir grandes cargas. Por eso los constructores buscaron métodos para lograr esto, tales como aprisionar la tierra con madera, adquirir resistencias mayores con maquinaria pesada (rodillos) e incluso rellenar con materiales diferentes como hormigón.

En una construcción, si el suelo solamente es descargado, no adquiere resistencia y por ende la infraestructura construida sobre éste es susceptible a colapso.

**R. R. Proctor** es quien exhibió un método de compactación efectiva y segura. Dicho método muestra una relación entre la eficacia de la energía gastada versus el tipo de partículas que forman el suelo, sin embargo todo esto depende de la manera cómo se aplica la energía de compactación. (Tschebotarioff, pág. 89)

### **1.1.3 Factores que afectan la compactación**

El contenido de agua del suelo es de gran influencia en la compactación, pero también es importante conocer el tipo de suelo y el esfuerzo de compactación (energía por volumen unitario).

Es necesario conocer la granulometría (forma de los granos de suelo), la densidad de sólidos del suelo, la cantidad y tipos de minerales arcillosos. Todo esto afecta al peso específico seco y la cantidad de agua óptima para una mejor compactación.

El contenido de agua en una muestra de suelo afecta directamente a la tensión capilar. Una muestra con contenidos de agua bajos, no permite una compactación densa. Esto se debe a que la tensión capilar en los poros del suelo inhibe la tendencia de las partículas a moverse y por esta razón no se logra compactar. He aquí, la importancia de realizar pruebas de energía de compactación, para lograr obtener una humedad óptima y densidad seca máxima, asegurando con esto una resistencia adecuada en el suelo. (Braja M. Das, pág. 57)

#### **1.1.4 Objetivos de la Compactación**

El objetivo principal de la compactación es alcanzar la resistencia necesaria para soportar el peso propio del suelo y el de la estructura que se va a construir sobre éste. Esto se logra porque el suelo pierde todo espacio vacío, llegando a ser una masa sólida firme.

En construcciones civiles los asentamientos y deformaciones por efectos de las cargas aplicadas deben ser mínimos. No es permitido que el suelo tenga asentamientos excesivos y peor aún diferenciales, ya que esto daría lugar a que la estructura se deforme produciendo agrietamiento o derrumbamiento. (Tschebotarioff, pág. 94)

#### **1.1.5 Compactación en laboratorio**

Con el paso de los años se han desarrollado varios métodos para determinar el peso específico seco y la humedad óptima del suelo en laboratorio , estos ensayos pueden ser: energía de compactación estándar y modificada , método giratorio y Harvard miniatura. El método a utilizar en nuestro análisis es el de energía de compactación modificada.

R. R. Proctor fue quien se dio cuenta que la resistencia de un suelo en una vía debe ser el doble de  $2\text{kg/cm}^2$ . Después de esto generó un molde y un martillo compactador, que dé cómo resultado ese valor. Con este estudio, R. R. Proctor presenta su ensayo de laboratorio de energía de compactación estándar. En la época de la Segunda Guerra Mundial surgió el

ensayo de energía de compactación modificado. Esto se debe a que la resistencia necesaria del suelo para esta época era mayor a la establecida en un inicio. La variación entre ambos métodos es el tamaño del molde compactador y el peso del martillo (Energía de Compactación).

El ensayo a utilizar en el presente trabajo es el de **“Energía de compactación Modificada” (ASTM D-1557, AASHTO-180): Compactación del suelo mediante impacto de caída libre.**

La energía que el martillo aplica al suelo es de  $2700 \text{ KN/m/m}^3$ . Al terminar esta prueba se determina la humedad óptima del suelo y su máxima densidad. Esto indica que el suelo tendrá la resistencia adecuada.

#### **1.1.6 Proceso de la Compactación de suelos**

La compactación manual es un proceso que toma demasiado tiempo en una obra civil, dado que el método empleado no se puede llevar a cabo con rapidez. Esto se da porque, en primera instancia, se determina si el material que se tiene en la obra sirve o es necesario acarrear nuevo material. Después, se debe conocer la cantidad de agua para llegar a la humedad óptima y su densidad máxima, realizando el ensayo de energía de compactación. Al tener conocimiento de todo esto, se deben realizar pruebas del tamaño de capa de compactación. Esto se debe a que en todo suelo los granos poseen diferente estructura

(cristales amorfos). Al poseer una estructura diferente, las partículas de suelo se reacomodan en el instante de ser compactadas, permitiendo tamaños de capa diferentes dependiendo del tipo de suelo. Finalmente, compactar un área muy grande en capas de pocos centímetros de espesor es un proceso arduo. Un retraso adicional se genera, por la toma de densidades en campo, método que permite conocer si la compactación fue bien hecha.

En el caso de que la compactación no llegue a cumplir con los requisitos iniciales, el suelo debe ser removido. Al suelo removido se lo vuelve a tratar y compactar. Este proceso se lleva a cabo el número de veces necesarias hasta que las exigencias iniciales cumplan con las finales.

En obras civiles pequeñas, donde se compacta el suelo para rellenar zanjas, cubrir tuberías, rellenos no muy profundos, etc., la obra se retrasa por este proceso. En ciertos casos, donde el espacio a ser compactado es reducido, es muy difícil ingresar con el sapo compactador. Esto no permite que la compactación realizada sea de buena calidad. Esto da como resultado un suelo poco resistente y susceptible a colapsos en el futuro. Esto sucede muy a menudo, porque nadie controla el proceso y la resistencia final.

En caso de obras civiles grandes, como es el “Nuevo Aeropuerto de Quito”, los rellenos alcanzaron alturas de hasta 8m. La magnitud en volumen de suelo que debía ser humedecido fue enorme. Pensando en este hecho, se crearon piscinas para lograr agilitar el

proceso de humedecimiento del suelo (alcanzar la humedad óptima). Este proceso fue realizado porque se conoce que la cantidad de agua juega un papel muy importante en la compactación (El agua que fluye entre las partículas permite que la compactación sea más sencilla). El suelo con la humedad óptima fue colocado en sitio y las compactadoras mecánicas lo amasaron hasta llegar al grado necesario de compactación. Al ser una obra tan importante, el sistema de control fue muy estricto. La densidad de campo y densímetro nuclear, permitieron controlar el porcentaje de compactación. Completar el proceso tomó meses.

En muchos casos los rellenos de suelo compactados conllevan a grandes problemas. Por esta razón, se ha pensado estudiar un nuevo método de rellenos. Este método puede llegar a agilizar el proceso de compactación, consiguiendo una mejor calidad, menor tiempo, un precio conveniente y mayor rendimiento.

En cuanto a la permeabilidad del suelo luego de ser compactado, es muy poco. La estructura del suelo pierde todo espacio vacío por tanto se vuelve poco permeable.

## 1.2 Descripción de la terminología propuesta

### 1.2.1 Definición

Los rellenos fluidos (Flowable Fills) o Materiales de baja resistencia controlada (CLSM) son un material utilizado en varias partes del mundo. La ACI 229R-99, presentan las normas en las cuales debe fundamentar cualquier análisis sobre estos materiales. (ACI 229R-99 pág.1)

Los rellenos fluidos son la mezcla de suelo, agua, cemento y aditivo espumante. Este material puede llegar a una resistencia a la compresión máxima de 85 kg/cm<sup>2</sup>. Cabe recalcar que no es un hormigón y tampoco puede remplazarlo (ACI 116R).

Este tipo de relleno se auto compacta bajo su propio peso, no se sedimenta, es de fácil nivelación, mínima retracción de fraguado, tiene una densidad controlada (con lo cual se puede disminuir su peso propio) y al ser fluido puede llegar a áreas de difícil acceso.

Otra de sus múltiples ventajas es que no necesita ser vibrado, su colocación es muy sencilla y presenta asentamientos mínimos. Además, se ahorra en mano de obra, equipos y sobre todo en tiempo. Por estas razones, los rellenos fluidos son muy utilizados hoy en día, ya que se ha visto en ellos gran versatilidad en comparación con los rellenos de suelo compactado.

Una propiedad muy importante de los rellenos fluidos, es que pueden ser variables tanto en resistencia, consistencia y trabajabilidad. Todas estas propiedades pueden ser modificadas dependiendo la dosificación de sus componentes. (CIP 17 Rellenos Fluidos)



(“Todo lo que busca en un buen concreto”)

**Figura 1:** Rellenos Fluidos

### 1.2.2 Materiales

Los rellenos fluidos, como primer objetivo, buscan ayudar y simplificar la ingeniería, por esa razón los materiales que se utilizan es su preparación son los siguientes:

#### ➤ **Cemento**

El cemento que se utiliza es el Portland Tipo I o II (Norma: ASTM C 150 o AASHTO M-85), de “Cementos Selva Alegre”. La norma nos indica que también se puede utilizar variantes (Norma: ASTM C-595), siempre y cuando se haya realizado pruebas con ese tipo

de cemento y los resultados obtenidos pasen todas las especificaciones de la norma. (ACI 229R-RR pág. 5)

➤ **Suelo**

El agregado que se debe utilizar es una arena con gran cantidad de finos. Existe la posibilidad de mezclar arena natural con arena artificial para mejorar las propiedades cementicias. No debe ser un material clasificado. Es preferible que sea poco plástico, en caso de no serlo, se debe tomar medidas ante la retracción de fraguado porque se verá afectada. (ACI 229R-99, Pág. 5)

➤ **Agua**

Permite que todos los materiales se vuelvan uno solo. La cantidad de ésta no está predeterminada y varía según las necesidades: se debe ir experimentando con diferentes porcentajes hasta llegar a la relación que sea más conveniente y que proporcione las características deseadas. (ACI 229R-99, Pág. 5)

➤ **Aditivo Químico**

Básicamente es un producto inclusor de aire, que permite generar espacios vacíos, dar una consistencia más fluida y mejorar el desempeño. El aditivo no puede incluir más de un 6% de vacíos, ya que esto daría lugar a que el material se segregue. Solo en caso de tener un material que permita una perfecta cohesión (muchos finos), se puede generar un 15% a 20% de espacios vacíos. (ACI 229R-99, Pág. 5)

Para las presentes pruebas se van a utilizar cuatro tipos de aditivos: tres inclusores de aire (uno de forma física, dos de forma química) y un reductor de agua.

Como se manifiesta en la norma ACI 229R-99, la cantidad de aditivo viene dada según las recomendaciones del fabricante y el tipo de mezcla que se desee utilizar. Cabe recalcar que los aditivos usados cumplen con las especificaciones de la norma C 260-00 o C 260-01 y C 233-00.

Los generadores de vacíos están hechos a base de sulfato de aluminio. Este compuesto, al estar presente en la mezcla, reacciona con el cemento en presencia de agua. El sulfato de aluminio reacciona con el tetra silicato de calcio generando dióxido de carbono. Este queda dentro de la muestra en forma de burbujas (espacios vacíos).

“**Espumer**”, producto fabricado por Adimix, es el inclusor de aire. Este compuesto es un líquido de color azul, no tóxico, con densidad baja igual a la del agua ( $\rho=1 \text{ g/cm}^3$ ). Su uso más común es en morteros celulares, morteros livianos, hormigón poroso.

“**Fill Flow**” es un aditivo químico en polvo a base surfactantes, que permiten la inclusión de burbujas de aire al reaccionar con el cemento. Esto se debe a su alta concentración de minerales. Este producto no tiene cloruros de calcio u otros compuestos que puedan corroer al relleno. También actúa como un superplastificante que ayuda a reducir la cantidad de agua y por ende mejora la resistencia final de rellenos. (Fill Flow, Production Bolletin #1)

Por otro lado se utilizó inclusores de aire por medio físico. Se denomina inclusor de aire físico a aquellos aditivos que generan espuma por medio de un compresor de aire. Dicha espuma es muy estable, así que se adhiere a la mezcla del suelo, cemento y agua. Un

producto de este tipo es “**Barracell**”, producido por Basf. El cual permite generar espuma, dando como resultado una mezcla homogénea y fluida con reducción de agua.

La resistencia de la mezcla suelo-cemento se ve modificada por la cantidad de agua que se incluye, por eso es importante el uso de un súper- plastificante. “**Megamix 350**”, es un aditivo reductor de agua a base de poly-carboxil-naftaleno, totalmente libre de cloros. Su función es permitir tener una muestra más fluida con poco contenido de agua. Ayuda a dispersar las partículas y rompe los grumos del cemento. Su densidad es de  $\rho=1.19 \text{ g/cm}^3$ .

En rellenos fluidos se remplazan la energía de compactación por aditivos químicos, lo que permiten que el material sea fluido y obtenga resistencia.

### **1.2.3 Aplicaciones de los rellenos fluidos**

Sus principales usos radican en rellenos estructurales y rellenos de excavaciones, suplantando a los rellenos de suelo compactado. Esto se debe a que el relleno fluido no necesita compactarse y puede ser elaborado con considerable fluidez para llegar a zonas de difícil acceso. (ACI 229R-99, Pág. 2)

- **Rellenos estructurales**

Dependiendo de su composición puede tener resistencias muy altas, permitiendo ser usados como bases de cimientos, sub-bases de pisos, bases para pavimentos, excavaciones de pilotes, etc. (ACI 229R-99, Pág. 3-4)

- **Rellenos Simple (Backfills)**

Estos pueden ser rellenos de pequeñas excavaciones, huecos, trincheras, estribos de puentes, recubrimientos de conductos, muros de contención u otros lugares donde se realiza compactación manual, la misma que asegura una resistencia de carga adecuada. (ACI 229R-99, Pág. 2-3)



(Flyashdirect)

**Figura 2:** Relleno no estructural

En algunas países ya se ha normado que las excavaciones de zanjas, deben ser rellenadas únicamente de con rellenos fluidos. Esto permite tener un mayor control de la calidad de relleno final. También, es ocasiones el espacio a compactar es muy estrecho, por ende no se puede introducir la maquina compactadora.



(Concrete Division)

**Figura 3:** Relleno en Zanjas

- **Otros Usos**

También se han empleado estos rellenos en pozos, alcantarillas de túneles, cimientos y estructuras subterráneas, control de erosión, aislamiento térmico, terraplenes, estribos de puentes, rellenos de muros y estabilidad de taludes, etc. ((ACI 229R-99, Pág. 3-5)

➤ **Taludes:** En muchas ocasiones éstos son problemáticos, más aún cuando el suelo es inestable y se erosiona con facilidad. Los rellenos fluidos se han visto como técnica para la

estabilidad de éstos. La figura 3 muestra el proceso constructivo de un talud revestido con rellenos fluidos.



**Talud en estado natural**



**Construcción del Encofrado**



**Colocación del Material**



**Talud Estabilizado**

**Figura 4:** Relleno Fluidos en Taludes

- **Relleno de Muros:** Con la teoría de Rankine, se determinó que la fuerza del empuje activo del suelo sobre la estructura genera un aumento en el dimensionamiento del muro.

Este hecho permite que el costo del muro aumente. Los rellenos fluidos por la incorporación de vacíos en su estructura permiten disminuir el peso del relleno. Por lo tanto, existe una disminución de la fuerza activa del muro. Lo que da lugar a muros con secciones menores que las de suelo compactado.

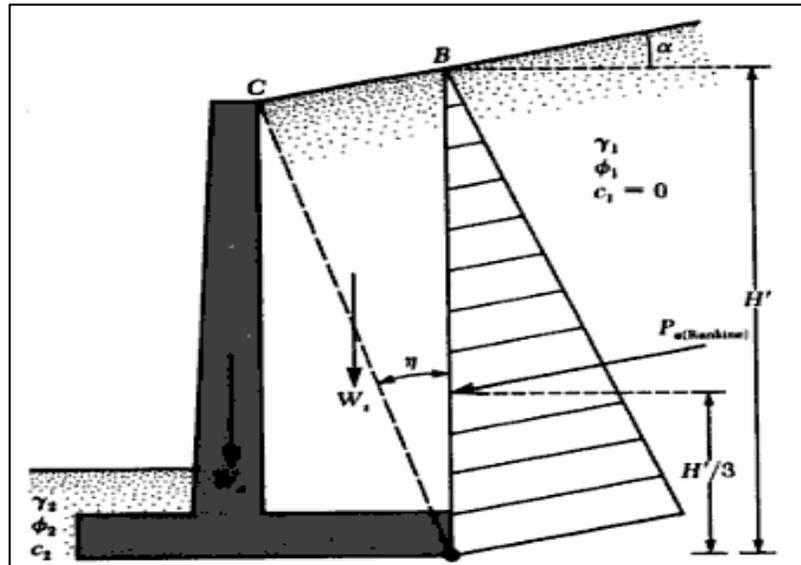


Figura 5: Teoría de Rankine en Muros  
(Braja M. Pág 448)

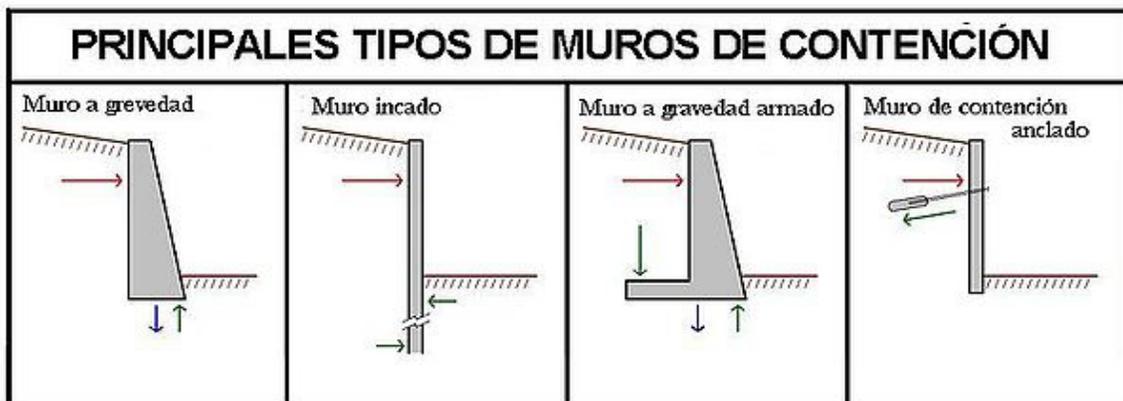
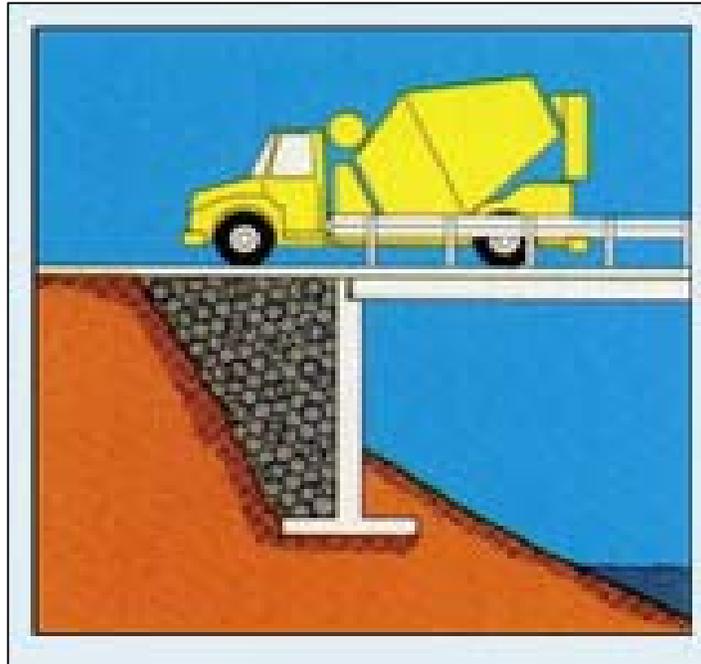


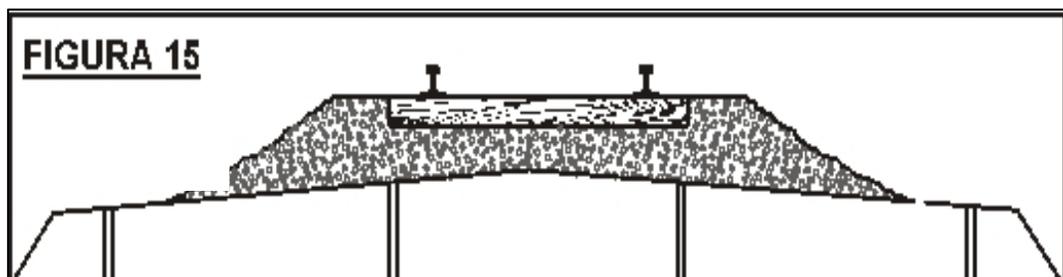
Figura 6: Tipos de muros y Fuerza Activa del suelo  
(Mecánica de suelos, Pág 367)

- **Estribos de puentes:** al igual que en la teoría de muros, el peso del relleno disminuye permitiendo construir estructuras con menores dimensiones.



**Figura 7: Teoría de Rankine en Muros (Geotechnical Applications)**

- **Terraplenes:** en caso de uso de rellenos fluidos en terraplenes la disminución del peso es alrededor del 20%.



**Figura 8: Carga sobre Terraplenes (Terraplenes)**

#### 1.2.4 Ventajas

Como ya se ha mencionado, los rellenos fluidos tienen múltiples ventajas, pero entre ellas se destacan:

- Su alta trabajabilidad, que permite colocarlo en zonas estrechas y de poco accesibles.
- No requiere vibración, ni compactación.
- Se vacía en un punto determinado y se distribuye con muy poco personal.
- Disminuye costos de mano de obra.
- Es de fácil remoción o re-excavación.
- Reduce el volumen de excavación.
- Es más resistente y durable que los rellenos de suelo compactado.
- No presenta cambios volumétricos.
- No necesita ser colocado en capas.
- La lluvia, en general, no impide su colocación.
- Garantiza un relleno uniforme alrededor de tuberías y líneas soterradas.
- Secado rápido, lo que da lugar a una espera de utilización corta.
- No se erosiona con facilidad ante climas inclementes.

(ACI 229R, pág. 3)

### 1.2.5 Propiedades del material antes del fraguado

#### ➤ **Fluidez**

Esta propiedad es la que diferencia a los rellenos fluidos de los relleno de suelo compactado y permite que al momento de la colocación del relleno este fluya llenando espacios vacíos, se auto-nivele y se auto-compacte por su peso propio. El material no necesita de la ayuda de maquinaria convencional de compactación. Esto da lugar a que el relleno no requiera vibración ni compactación. La fluidez puede variar con la dosificación de los materiales según las especificaciones que se desee obtener. (ACI 229R pág., 7)

El ensayo propuesto para determinar la fluidez es:

- Ensayo de flujo modificado con cilindro de extremo abierto de 7,62 x 15,24cm. (ASTM C 6103)

#### ➤ **Segregación**

Cuando la mezcla es demasiado fluida, puede ocurrir que los materiales se separen. Por esta razón se recomienda controlar rigurosamente la adición de agua. Para obtener un relleno muy fluido el material utilizado debe contener grandes cantidades de finos, lo que permite alta cohesión y por ende no existe segregación. De ser posible, el material con finos debe ser ensayado en laboratorio antes de su utilización en el relleno. (ACI 229R pág., 8)

### ➤ **Contracción**

Es uno de los mayores inconvenientes en el proceso de endurecimiento de la mezcla. La eliminación de agua y aire retenidos en sus poros permite que la mezcla se reduzca en volumen. El agua que se encuentra en demasía debe ser empleada ya sea para la fluidez de la muestra, para endurecerla o hidratarla. En caso de no ser así, la muestra elimina el agua, la cual es absorbida por el suelo que se encuentra alrededor o se evapora en la superficie del relleno.

La contracción está directamente relacionada con la cantidad de agua, así que los suelos que no poseen este líquido en grandes cantidades no experimentan cambios en su altura. Los valores típicos de contracción para probetas de muestra con contenidos altos de agua son de 3.1mm hasta 6.35mm por cada 30cm de profundidad. (“RELLENO FLUIDO”, pág. 2)

### ➤ **Tiempo de fraguado**

El tiempo de fraguado es el tiempo requerido para que la muestra pase de un estado plástico a un estado endurecido, obteniendo la resistencia adecuada en obra. La mezcla elimina el agua en exceso, permitiendo la formación de una masa sólida, ya que las partículas se alinean y se ponen en contacto íntimo. Los factores que afectan el tiempo de fraguado son:

- Tipo y cantidad de cemento.
- Permeabilidad y grado de saturación del suelo que se encuentra alrededor de relleno fluido.
- La fluidez del relleno fluido.
- La dosificación del relleno fluido.
- Temperatura del ambiente y de la mezcla.

- Humedad.
- Espesor del relleno.

El tiempo de fraguado estará comprendido entre 3 a 5 horas bajo condiciones normales de clima. (“RELLENO FLUIDO”, pág. 3)

### 1.2.6 Propiedades del Material Endurecido

Las propiedades del material están relacionadas directamente con la dosificación. La cantidad de cada uno de los materiales permite variar las propiedades que se deseen obtener. Estas propiedades son:

#### ➤ Resistencia

Se refiere a la capacidad de soporte de cargas de un relleno fluido. Un suelo sometido a compresión simple bien compactado alcanza una resistencia entre 3,5 a 12 kg/cm<sup>2</sup>. Un relleno fluido con dosificaciones adecuadas alcanza una resistencia de hasta 85 kg/cm<sup>2</sup>. (ACI 229R pág., 7)

La resistencia del relleno fluido está dada según la utilidad que se le va dar al relleno (Norma, ASTM C-139) :

- Zanjas: 5 kg/cm<sup>2</sup>
- Bases de andenes: entre 10 y 20 kg/cm<sup>2</sup>
- Bases de pavimentos: entre 21 y 85 kg/cm<sup>2</sup>

(ACI 229R pág., 8)

➤ **Resistencia a la Meteorización<sup>1</sup> e Intemperización**

Es muy importante hacer un estudio de resistencia según ciclos de humedecimiento y secado; ya que, resistencia del suelo a cambios de temperatura varía. Se puede ver afectada notablemente si no se estudia su comportamiento.

➤ **Densidad**

Este tipo de relleno, al poseer un aditivo incorporador de aire, permite que su densidad baje. Esta propiedad puede varía en tanto cambie la relación agua – cemento- aditivo. La magnitud de la densidad en sitio se encuentra entre 1842 a 2322 kg/m<sup>3</sup>. La densidad seca es de 1440 a 1600 kg/m<sup>3</sup>. (ACI 229R pág., 7)

➤ **Permeabilidad**

Esta característica no es similar a la de los rellenos de suelo compactados. El material es mucho más permeable. La porosidad que adquiere el material por acción del espumante permite la el paso de agua a través de él. Los valores típicos se encuentran en un rango de 10<sup>-4</sup> a 10<sup>-5</sup> cm/seg. La permeabilidad varía de acuerdo a la cantidad del material cementante, estos valores pueden llegar a ser menores de 10<sup>-7</sup> cm/seg. Valores que se obtienen según la porosidad del material. (ACI 229R pág., 8)

➤ **Retracción de fraguado**

---

<sup>1</sup>, La meteorización o intemperización es la alteración de las rocas a causa de modificaciones mineralógicas o químicas, inducidas por agentes superficiales”.

La resistencia del relleno fluido no se ve afectada por la retracción, ya que esta es mínima. Los valores de retracción lineal fluctúan entre 0.022 a 0.05 por ciento de toda la masa. Esto se debe a que el aditivo químico es el que permite la fluidez, con lo que se reduce el contenido de agua. Con una muestra con poco contenido de agua, la retracción es mínima. (ACI 229R pág., 8)

➤ **Excavación o socavación**

Los rellenos fluidos, después del endurecimiento, no pueden dejar de ser excavables. Puesto que en muchas obras en etapas posteriores a la colocación del material puede ser necesaria su remoción. Materiales con resistencia de 0.3 MPa pueden ser removidos de forma manual, pero materiales con resistencia superior necesitan de una maquinaria especial como una retroexcavadora. No existe una norma que manifiesta el valor de socavación necesaria para un relleno fluido, esto varía según el material y su resistencia. (ACI 229R pág. 8)

➤ **Asentamiento**

Está relacionado directamente con la cantidad de agua, si ésta es elevada el asentamiento puede ser de alrededor de unos 20cm. Si el relleno fluido tiene gran inclusión de aire, contiene muy poca agua así que no presenta asentamiento alguno. (CIP 17 Rellenos Fluidos, pág., 2)

➤ **Transporte**

Los rellenos fluidos pueden ser preparados en el lugar de obra o en un mixer. Si éste es preparado en obra, los materiales se mezclan en el interior de la concreteira y luego se los

coloca como relleno. Si la cantidad de mezcla es muy grande se la prepara en una planta, la misma que transporta el relleno en un mixer. El mixer debe agitar la mezcla constantemente durante todo el transporte y el tiempo de espera de descarga. Con esto se logra que el material siempre se encuentre en suspensión y no existe una posible segregación. (ACI 229R pág., 11)

### ➤ **Colocación**

Los rellenos fluidos se colocan directamente en el lugar determinado por medio de bandas transportadoras, rampas, baldes, palas o bombas. Esto depende de la accesibilidad del lugar. Una de las cosas que se deben tomar en cuenta, es el que el instrumento de descarga cumpla con las normas especificadas. Con esto se logra que el mismo instrumento segregue al material.

Dada la fluidez del material, éste puede recorrer grandes espacios, llega a lugares de difícil acceso y una de las cosas más importantes es que se auto nivela. Por otro lado, no es necesario limpiar la base donde se coloca el relleno, ya que el material se introduce directamente en las cavidades y envuelve las impurezas.

Par rellenar zanjas o espacios pequeños, se lo hace de forma continua. Si la construcción se la está llevando a cabo por etapas o uno de los extremos de la misma es abierto, el relleno puede ser retenido, con formaletas, sacos de arena o barreras de arena hasta que el relleno este completamente duro.

En caso de rellenos sobre tuberías y muros se debe colocar el material en capas, esperando que cada una de ellas endurezca antes de colocar la siguiente. Esto se da porque el relleno no es auto portante. Si cada una de las capas se endurece antes de colocarse la siguiente, no se tiene problemas de generar sobrecarga en las capas inferiores.

El relleno fluido en áreas confinadas puede ser colocado directamente sobre agua, sin tener problemas de segregación del material, ya que permite que el agua a flore a la superficie para ser removida. (ACI 229R, pág. 11) - (“RELLENO FLUIDO”, pág. 4)

### **1.2.7 Control de Calidad**

Permite determinar si el material que se está usando brinda todas las propiedades que se necesita.

#### ➤ **Consistencia y Masa unitaria**

Estas dos propiedades son determinantes. Dependen de la experiencia de la persona que realizó la mezcla, la aplicación que se le va a dar al relleno, la materia prima que se va a utilizar y calidad del relleno que se necesita. Los rellenos pueden ir desde muy fluidos con resistencias muy bajas hasta rellenos casi plásticos con mejor resistencia. (ACI 229R, pág. 11)

#### ➤ **Consistencia**

Permite conocer que tan fluido es nuestro material. (Ensayo de Fluidez)

#### ➤ **Resistencia**

Permite conocer si el relleno tiene la capacidad de carga que se esperaba. Existen varios ensayos, pero el más común es el de compresión no confinada (ensayo de compresión simple),

pero también se puede usar otro tipo de ensayos como el penetrómetro o el ensayo de placa cargada. (“RELLENO FLUIDO”, pág. 5-6)

**Nota:**

Es necesario recalcar que el relleno fluido es un tipo de Suelo Cemento que no necesita ser compactado.

## **CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS**

### **Introducción**

En el siguiente capítulo se define teóricamente como se realizan los ensayos de laboratorio y también se especifica el material que se va a utilizar.

Todos los ensayos de laboratorio están basados bajo normas. Las normas que se van a utilizar son las de la ACI (American Concrete Institute), ASTM (American Society for Testing and Materials) o AASHTO (American Association of State Highway & Transportation Officials). Lo que da lugar a la fiabilidad de los estudios que se van a realizar para los dos diferentes métodos de rellenos.

### **2.1 Selección del material**

El suelo empleado para los dos procesos de rellenos es el mismo. Los ensayos solo fueron realizados con un tipo de material.

La selección del material es una de las cosas más importantes porque permite variar las propiedades físicas del relleno. Las propiedades a modificar son la fluidez (Rellenos Fluido) y la resistencia a la compresión (en Rellenos Granulares y Fluidos).

Como se empleó el mismo suelo para las dos diferentes técnicas el enfoque del trabajo será en las normas de selección del material establecidas para rellenos fluidos, ya que este material debe cumplir normas más estrictas que los Rellenos de suelo compactado.

El suelo seleccionado es una arena muy fina, la misma que se obtuvo del terreno donde se construye el Nuevo Aeropuerto de Quito ( NQI-A Tababela, Profundidad 1.50m).

## **2.2 Descripción de Normas y Ensayos**

### **2.2.1 Descripción del material**

La norma ASTM C 33 presenta las especificaciones técnicas que debe poseer el material para ser utilizado como agregado en rellenos fluidos. La descripción del suelo es una arena muy fina con poco contenido de grava. Para arenas naturales, como mínimo deben permitir que un 10% (en peso) de la muestra pase el tamiz No. 200 y no debe tener agregados de tamaño mayor a (3/4) in. En caso de ser arenas de canteras, el agregado de tamaño nominal máximo puede ser (3/8) in. (ACI R99-99, pág. 6)

La norma también indica que en varios casos se puede utilizar materiales no estandarizados (que no cumplan rígidamente con las especificación). Esto puede resultar económico y es aplicable al caso de estudio. De esta manera, se considera posible el uso de un material no clasificado, pero que cumpla con todos los requerimientos de la obra. (ACI R99-99, pág. 7)

#### **2.2.1.1 Granulometría**

El ensayo granulométrico para la selección de este material fue el mismo que se utiliza para determinar las características de cualquier otro material.

Las pruebas de selección fueron realizadas a cuatro diferentes tipos de suelo. Las muestras fueron tomadas de forma alterada, es decir, el suelo fue removido con la ayuda de una pala, puesto en costales y trasladado hasta el laboratorio.

➤ **Análisis Granulométrico- Método Mecánico.**

En primer lugar se determinó el contenido de humedad (Norma ASTM D2216-71) y Gravedad específica (Norma ASTM D854-54).

La **Humedad** es un valor que sirve para el cálculo de la granulometría y provee un dato referencial para conocer las condiciones en que se encuentra la muestra de suelo en sitio.

La **Gravedad Específica** no es un valor referencial para la clasificación de los minerales dentro del suelos. Si los valores de Gravedad Especifica están en un rango normal (2.3 a 2.7) indican suelos provenientes de sílice (que es lo que se necesita). Si el valor de Gravedad Especifica es mucho mayor (2.75 -3.00), la muestra puede tener contenidos de minerales de hierro (hecho que convendría). (Bowles, pág. 62-65)

**Granulometría** de suelo, Norma AASTHO T87-70 (Preparación de la muestra); ATSM D421-58 Y D422-63 (Ensayo de la muestra).

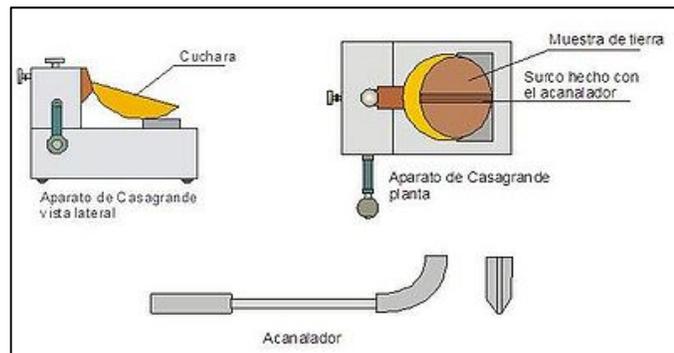
Las cuatro muestras seleccionadas presentaban grandes contenidos de finos; ninguna posee tamaños de agregado mayores a lo especificado o que queden retenidos en el tamiz No. 4. La granulometría fue realizada por lavado.

### 2.2.1.2 Propiedad índice del material.

#### ➤ Límite líquido

Normas AASTHO T89-69, ASTM 423-66

“Se define como **límite líquido** al contenido de humedad por debajo del cual la muestra se comporta como una material plástico”. (Bowles, Pág. 15-25)



**Figura 8 : Aparato de Casagrande**

#### ➤ Límite plástico

Normas, AASTHO T90-70, ASTM D424-59.

“Se denomina **Límite Plástico** al contenido de humedad por debajo del cual el material se comporta como material no plástico.” (Bowles, pág. 16)



**Figura 9 : Aparato para límite plástico**

Para las muestras que se utilizaron en todo el análisis no fue posible realizar estos ensayos, porque el material era no plástico.

### **2.2.1.3 Descripción exacta del tipo de material**

Los ensayos antes mencionados fueron aplicados a las cuatro muestras. Los resultados obtenidos de los análisis proporcionaron datos para la elección del material a usar en el resto de las pruebas.

Los cuatro diferentes suelos ensayados se obtuvieron del terreno donde se construye el nuevo aeropuerto. Todas las muestras son de la misma zona, pero de localidades y profundidades diferentes.

Las pruebas proporcionaron detalles de la granulometría, propiedades índice, humedad y gravedad específica. Las muestras fueron no plásticas, así que fue imposible hacer límite líquido y plástico.

A continuación se muestran las gráficas de las granulometrías de todos los suelos y en detalle los datos del suelo a utilizar en el resto de la investigación. Los demás datos y cálculos se encuentran en el **Anexo 1**.

**Muestra 1:** Muestra que va a ser utilizada durante toda la investigación

---

**Análisis del tipo de suelo**

---

**Muestra**

NQI-A Tababela 19-01-10

Profundidad 1.50m

**Peso Tarro** 11.2 gr.

**Peso suelo + Tarro** 453.4 gr.

**Peso Suelo Húmedo:** 442.2 gr.

**Peso Usado en la serie fina:** 442.2 gr.

---

**Humedad Natural**

---

Capsula N°	Peso Cápsula	Peso Cápsula	Peso Cápsula	%Humedad
	<b>Suelo Húmedo gr.</b>	<b>Suelo Seco gr.</b>		
B3	67.4	65.8	16.7	3.25
B4	63.9	62.5	16.1	3.01

**% de humedad** 3.138 %

**Peso seco** 428.32 gr.

---



---

**Análisis Granulométrico**

---



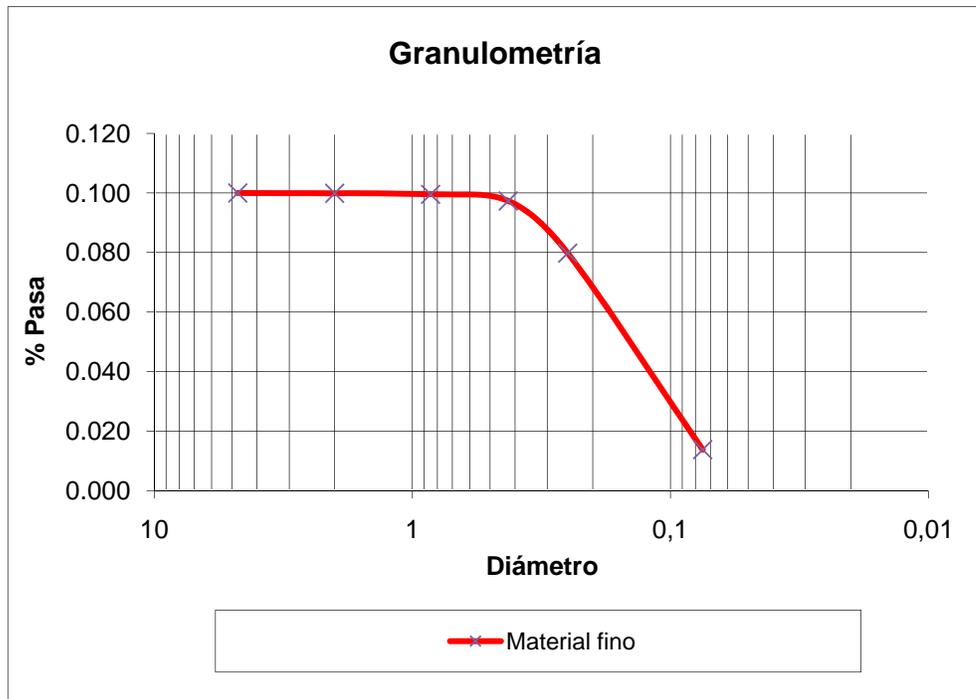
---

<b>Diámetros mm</b>	<b>Tamiz</b>	<b>Peso Retenido</b>	<b>% Ret.</b>	<b>%Pasa</b>
		gr.		
<b>SERIE GRUESA</b>				
76.2	<b>3</b>	0	0	100
50.8	<b>2</b>	0	0	100
38.1	<b>1-(1/2)</b>	0	0	100
25.4	<b>1</b>	0	0.000	100.000
19.05	<b>(3/4)</b>	0	0.000	100.000
9.525	<b>(3/8)</b>	0	0.000	100.000
4.75	<b>Nº4</b>	0	0.000	100.000
	<b>pasa Nº4</b>	0	0.000	100.000
<b>SERIE FINA</b>				
2	<b>10</b>	0.44	0.103	99.897
0.85	<b>20</b>	1.50	0.350	99.547
0.425	<b>40</b>	9.90	2.311	97.338
0.25	<b>60</b>	76.70	17.907	79.782
0.075	<b>200</b>	292.80	68.359	13.734
	<b>pasa 200</b>	381.34	89.031	

---

**Curva Granulométrica**


---



	<b>Mm</b>		
<b>D10</b>	0.07	<b>Cu</b>	2.82
<b>D30</b>	0.12	<b>Cc</b>	1.01
<b>D60</b>	0.20		

**Nota:** La muestra es nada plástica, los límites no se pueden hacer

---

**Gravedad Específica**


---

Peso del tarro	90.26 Gr
Peso del suelo secado al horno	125.6 gr

Peso del Picnómetro + Agua destilada a 20 C	162 Gr
Peso del suelo seco	35.34 Gr
Peso del picnómetro +Suelo Seco	183.74 Gr

**Gravedad Especifica (GS)** 2.60 gr

**Muestra 2**

---

**Análisis del tipo de suelo**

---



---

**Muestra**

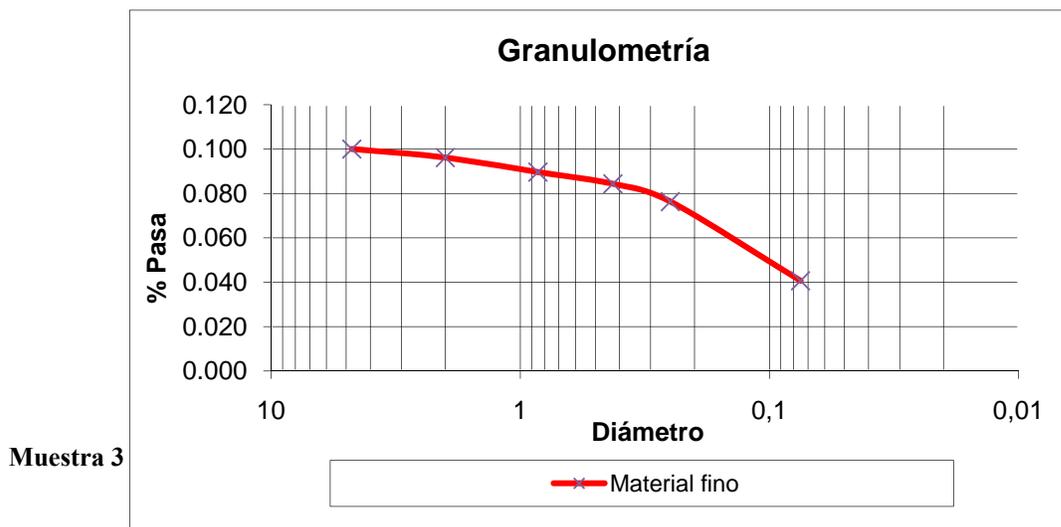
NQI-A Tababela - Laguna de depósito 19-01-10

Profundidad 12m

---

**Curva Granulométrica**

---




---

**Análisis del tipo de suelo**

---

**Muestra**

NQI-A Tababela - Stock 19-01-10

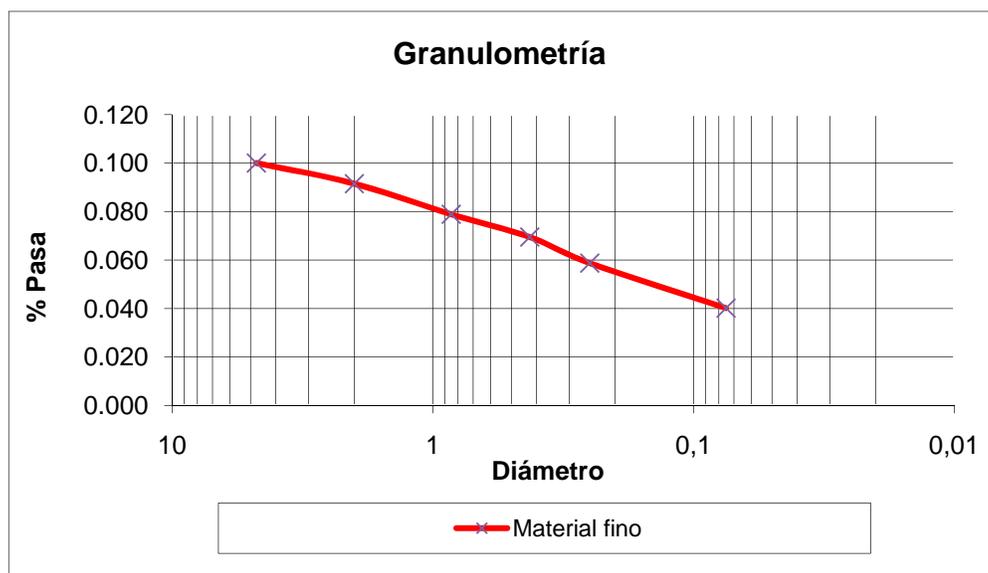
Hangares GR7

Profundidad 7.5 m

---

**Curva Granulométrica**

---

**Muestra 4**

---

**Análisis del tipo de suelo**

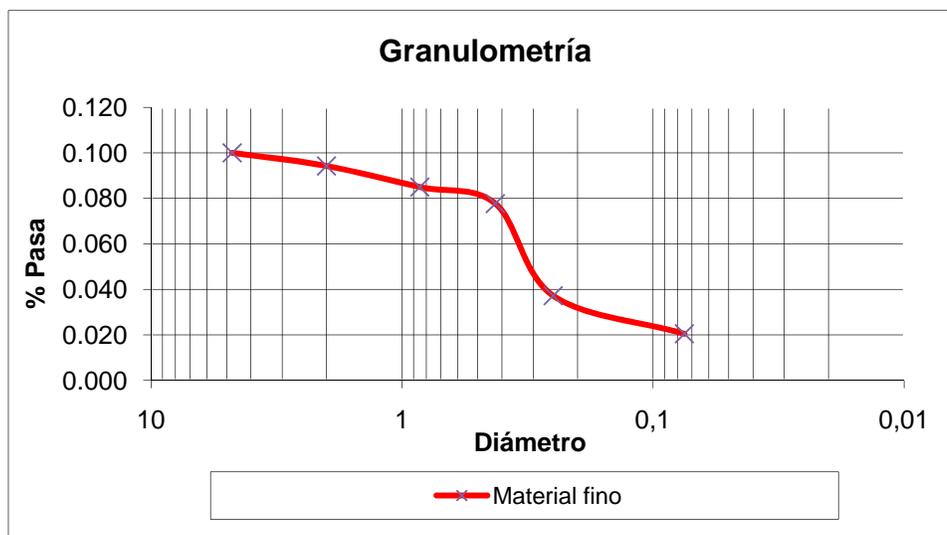
---

**Muestra**

NQI-A Tababela – Área de Corte GC3- Vía perimetral-Laguna

19-01-10

Profundidad 12m

**Curva Granulométrica**

Las curvas granulométricas de todas las muestras son similares, pero la muestra 1 fue la que menos contenido de finos poseía, sin embargo se encuentra en el rango recomendable de la norma (ASTM C 33). No se quiso trabajar con una muestra con mucho contenido de finos, ya que está necesita una proporción mayor de agua y podría ser perjudicial para los ensayos de compactación de rellenos de suelo compactado.

Para permitir un lenguaje común en el campo de la ingeniería, los suelos han sido clasificados en grupos y subgrupos. La clasificación se ha basado en el tamaño de los granos y

de sus propiedades índices. Los Sistemas de Clasificación son el AASTHO (usado por ingenieros viales) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS (usados por los geotécnicos).

Por tanto, al conocer la granulometría y propiedades índice de la muestra, el resultado del tipo de suelo según la AASTHO es una Arena Fina, nada plástica, un suelo tipo **A-3**. (Braja M, pág. 36)

En la clasificación de la ASTM, es un suelo SM, una arena limo-arcillosa nada plástica. (Braja M, pág. 42)

## **2.3 Muestras**

### **2.3.1 Línea base**

Como línea base se llamó al proceso de análisis de rellenos de suelo compactado. El análisis de laboratorio para este tipo de rellenos es muy sencillo. El ensayo de energía de compactación modificada, que presenta el valor de la densidad – humedad, es lo que se aplicó.

- **Ensayo de “Energía de Compactación Modificado Tipo A”** (Norma AASTHO T180-70, ASTM D1557-70)

Es el ensayo que permite, conocer cuál es la humedad que debe tener el suelo para alcanzar la densidad máxima y con esto alcanzar la resistencia máxima.

**Humedad óptima** es la cantidad de agua que debe tener el suelo para llegar al valor máximo de densidad. Porcentaje que demuestra que el suelo a usarse tendrá la resistencia máxima. (Bowles, pág. 83)

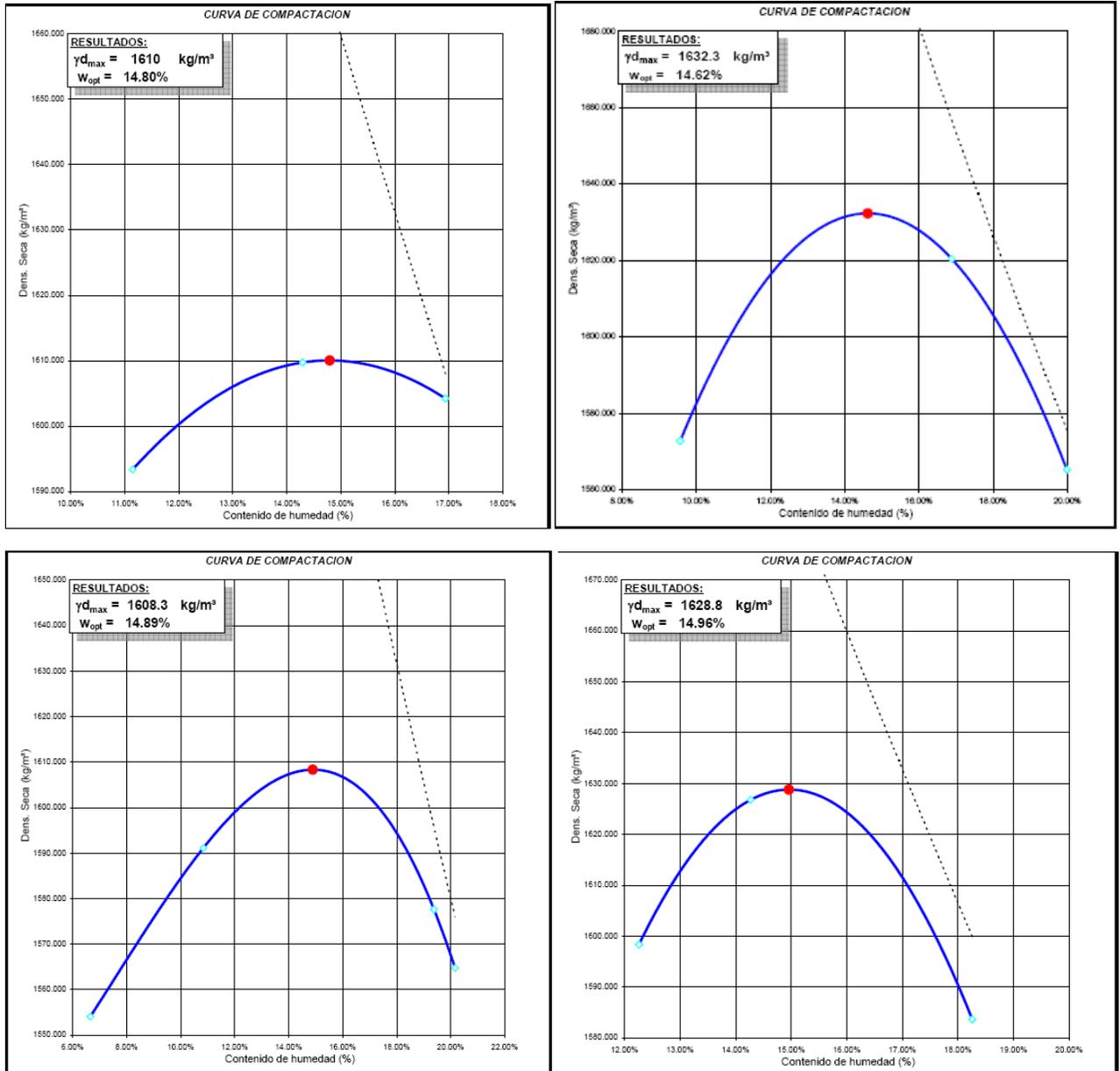
Este ensayo se lo realizó para diez muestras. De los diez ensayos realizados, solo se escogieron 6. La tabla 1 muestra los valores escogidos con los cuales se promedió y se obtuvo la densidad máxima y humedad óptima. El valor obteniendo como humedad óptima es del 15.06 % con una densidad máxima de 1.69 gr/cm<sup>3</sup>.

**Tabla 1:** Densidad Máxima y Humedad Óptima

Muestras	$\gamma_d$ (Kg/cm <sup>3</sup> )	% Humedad Óptima
1	1601.5	14.94
2	1611	15.16
3	1623.6	15.77
4	1608.3	14.89
5	1633.1	15.45
6	1697.6	14.13
	1629.18	15.06

La gráfica 1 muestra las curvas de compactación obtenidas. Todos los datos de cálculo se encuentran en el Anexos 2.

Gráfica 1: Compactación del suelo



### 2.3.2 Mezcla con Aditivo

Esta mezcla es para relleno fluido. La mezcla contiene agregado fino, cemento, aditivo espumante y agua.

#### ➤ **Dosificación:**

La dosificación es en base a la cantidad de material que se necesita para obtener 12 cilindros. Se dosifica para un volumen promedio de 20 litros, la proporción de los materiales varían según la mezcla, se consideran las recomendaciones del fabricante del aditivo (Adimix, Basf y Fritz Pack) y la norma de rellenos fluidos (ACI 229R-99, ASTM 6024).

No existe un solo tipo de dosificación, todo depende de la resistencia deseada, consistencia de la mezcla, uso final. Por todas estas razones se optó por realizar varias dosificaciones.

Al contrario de los hormigones que se dosifican en base a la relación agua- cemento, que está ligada íntimamente con la resistencia final de la mezcla, en un relleno fluido no se tiene valores exactos predeterminados. Lo que da lugar a que la dosificación de un relleno fluido, sea experimental hasta conseguir valores adecuados de resistencia, los porcentajes de adhesión de agua y cemento se basan de acuerdo a la cantidad total de arena.

La dosificación final para cada mezcla, se fundamenta en la consistencia, la misma que debe ser fluida. Por lo tanto, la fluidez para cada una de las muestra está entre 14 y 14.5 cm de asentamiento del cono abierto .



**Figura 9:** Asentamiento con Cono Abierto

En cuanto al porcentaje de cemento, estos son 4%, 6% y 8% respectivamente en relación al peso de la arena. Según el tipo de aditivo se obtiene tres diferentes tipos de dosificaciones, dando como resultado un total de 15 dosificaciones.

➤ **Tipos de Mezcla:**

**Dosificación 1:** mezcla con “Espumer” (Adimix), es un aditivo líquido, que permite la incorporación de aire de forma química. La mezcla es muy homogénea y de fácil trabajabilidad.



**Figura 10:** Mezcla con aditivo Espumer

**Dosificación 2:** el Súper-Plastificante “Megamix” se utiliza para realizar esta dosificación. Se utilizó este aditivo para comprobar la teoría de fluidez dada por el espumante. La primera mezcla con este aditivo resultó poco apropiada, el agua aflora a la superficie y la arena se segrega. No existe una buena consistencia de mezcla, por esa razón la prueba únicamente se la realizó al 4% de cemento.



**Figura 11:** Mezcla con aditivo Megamix

**Dosificación 3:** “Espumer” y “Megamix”. La mixtura de los dos aditivos favorece a una mejor fluidez y a una reducción de agua. Lo que dio como resultado una mezcla muy homogénea con gran trabajabilidad.

**Dosificación 4:** posee el aditivo “Barracell” (BASF). Este aditivo permite incluir burbujas de aire de forma física, a través de incorporación de espuma. La misma que da una consistencia fluida y esponjosa a la mezcla.

La generación de espuma es una técnica que varía en cuanto a la concentración de solución (aditivo-agua) para su producción. Variar las concentraciones hasta obtener la adecuada es un trabajo que no se puede dejar de hacer, ya que la consistencia de la espuma y la cantidad de la misma es el éxito de la mezcla final. La concentración de la solución es de 50 partes de agua por cada parte de aditivo espumante. (ASTM C796, pág. 387). Esto genera una espuma estable, que aumenta su volumen en 14 veces su tamaño original.

**Dosificación 5:** aditivo en polvo “Fill Flow” viene en una funda biodegradable. Genera la incorporación de aire como un agente químico al igual que ayuda en la reducción de agua en la mezcla.

Las cantidades exactas que se emplearon para cada muestra se encuentran en el Anexo 3.

#### ➤ **Mezclado**

Mezclar los materiales para relleno fluidos es sencillo. Puede ser llevado a cabo en una mezcladora (en obra) o en un Mixer. Para este caso, la máquina que se utilizó, es una mezcladora de laboratorio con capacidad de hasta 5 galones, la misma que gira a 50 rpm.

Se puede acotar, que “El Taller Mecánico de la Universidad San Francisco de Quito”, participó estrechamente en la construcción de la maquina concretera. La misma que cumple con las normas ASTM y fue creada en base a especificaciones de máquinas comerciales. (ASTM C796-97, pág. 386)

### ➤ Generador de Espuma

Es un conducto largo de PVC ( $\Phi$  1/2”), que tiene en su interior una malla de dimensiones de 2x1 mm. Ingresa al conducto la solución (aditivo- agua) a una presión de 2-3 kg/cm<sup>2</sup> y en el interior del caño existe una conexión a un compresor. El compresor genera una presión entre 50 a 70 kg/cm<sup>2</sup>, que pasa dentro del conducto. La inclusión del aire dentro del caño manda la solución directo hacia la malla, permitiendo generar espuma estable<sup>2</sup>. (ASTM C796-97, pág. 387)



**Figura 12:** Generador de espuma.

---

<sup>2</sup> “Espuma Estable”, espuma que contenga pequeñas y compactas burbujas de aire, que no se disuelvan con rapidez.

➤ **Orden de la mezcla:**

La mezcla debe ir en el siguiente orden.

- Primero, se mezcla la arena con el cemento en una bandeja plana.



**Figura 13:** Mezcla Arena- Cemento

- Añadir entre el 40% y 50% del agua de amasado y las  $\frac{3}{4}$  partes de la arena con el cemento, se deja mezclar entre 5 a 7 minutos.
- Agregar el aditivo, es decir el generador de espuma ya sea química o físicamente. Se deja mezclar todos los materiales por unos minutos, a una velocidad constante hasta producir la mayor cantidad de espuma. (ASTM C796, pág. 387)
- Al tener un contenido adecuado de espuma se agrega el resto del agregado fino con cemento. Se mezcla todo nuevamente por 5 minutos.
- A toda esta mezcla se agrega la cantidad de agua que resta. Se debe dejar la muestra por lo menos de 2 a 3 minutos dentro de la mezcladora o mixer, para que se combinen perfectamente todos los materiales. (ACI R229-99, pág., 9-10)
- Se realiza la prueba de fluidez del material.



**Figura 14:** Mezcla Homogénea

➤ **Fluidez:**

Es una parte muy importante en la teoría de Rellenos Fluidos, con este parámetro podemos conocer cuál es la consistencia del relleno, si es una pasta plástica o un líquido viscoso.

Para determinar la fluidez del rellenos se usó el ensayo de **“Cilindro de cono abierto.”** (ASTM C 6103, (Standard Test Method for Flow Consistency of Controlled Low Strength Material)

Este ensayo se lo realiza a los hormigones en su estado fresco, para medir su consistencia ("fluidez"). El ensayo se basa en rellenar un cilindro hueco, de 3 in x 6 in, el mismo que va sobre una superficie plana, se retira el cilindro y se mide el nuevo diámetro de la muestra. Según el nuevo diámetro se puede determinar qué tan fluida se encuentra la pasta. (ASTM C 6103)

No se tiene una medida estandarizada que nos indique la fluidez exacta, pero existe una recomendación. Ésta manifiesta que el mínimo crecimiento entre los dos diámetros debe ser de

200 mm (2cm) para que sea posible bombear el relleno. (Technical Questions - ACI Concrete Knowledge Center.)

También, existe un parámetro de revenimiento que está dada en mm o cm y se ha propuesto que se divida en:

- **Baja fluidez:** debajo de 150 mm (6in)
- **Fluidez normal:** entre 150 y 200 mm (6 a 8 in.)
- **Alta fluidez:** más de 200 mm (8 in.)

(ACI 229R pág. 7)

Basándonos en esta medida se va a realizar una medición comparativa entre las muestras.



**Figura 15:** Fluidez de la mezcla

Para este caso en particular se determinó que una fluidez de 14 a 14.5 cm es la adecuada, esta relación se mantuvo para todas las dosificaciones.

### ➤ **Vertido**

Las muestras de rellenos fluidos fueron vertidas en moldes de tubo de PVC al volteo. (ASTM D 4832, pág. 2). Los cilindros de PVC tienen las mismas dimensiones que los cilindros del ensayo de “Energía de compactación modificada”. Con eso se pretende minimizar las posibilidades de error al comparar los dos métodos. Si, las muestras (compactación y rellenos fluidos) tienen similares dimensiones, los factores de error de comparación disminuyen.

Las muestras tienen un diámetro de 4 in (10.16cm), y su altura no es el doble del diámetro, la altura del cilindro es de 12 cm. Esto se lo puede hacer según la Norma ASTM C42, que nos indica factores de corrección de cilindros que no son 2 a 1. El factor de corrección, para este caso, se obtuvo por interpolación y es de 0.92.

El vertido dentro del molde debe ser inmediatamente después de mezclar todos los materiales. Se realizó al volteo, no se varilla o coloca la muestra en capas. Esto se lleva a cabo porque se desea mantener las mismas condiciones que en obra, puesto que no se necesita vibrar el material (es auto-compactante). (ASTM D 4832, pág. 2)

### ➤ **Curado**

La norma ASTM D 4832 para rellenos fluidos, manifiesta que el curado de los cilindros debe ser el mismo que para cilindros de hormigón, ya sea en baños de agua, cámara de curado. En este caso los cilindros fueron curados en baños de agua, las muestras estuvieron completamente sumergidas durante 7, 14 y 28 días.



**Figura 16:** Piscinas de curado

## 2.4 Resistencia

### 2.4.1 Compresión simple

Norma, ASTM 21166-66 – AASHTO T208-70, ASTM D4832-02.

La compresión simple es una de las pruebas más sencillas y confiables de resistencia, aplicada tanto para pruebas de suelo como hormigones.

Sometemos a la muestra a carga axial hasta que falla (la muestra ya no puede soportar más carga). Se toma el dato de esfuerzo máximo, proporcionado por la máquina y con el área de la probeta se determina cuanto es su resistencia.

Para este análisis de resistencia, se van a probar los dos materiales con este ensayo.

Las muestras previo su ensayo son pesadas y medidas, para determinar el área y la densidad húmeda y seca.



**Figura 17:** Peso y Dimensiones de las muestras

➤ **Rellenos de suelo Compactado**

Se compacta el suelo y se extrae la muestra con un gato hidráulico, y se la prueba (no se permite que la humedad de compactación se pierda) para determinar la resistencia, finalmente se toma la muestra de humedad para calcular la densidad seca máxima.



**Figura 18:** Extracción de la muestra



**Figura 19:** Rotura de muestras

➤ **Rellenos Fluidos**

La resistencia se la toma a los 7, 14 y 28 días de curado el material. Para cada día de rotura de muestras, se prueban 4 especímenes. Se prueba 4 muestras, para tener el mayor número de datos posibles para disminuir la proporción de error. Los cilindros han permanecido fuera de las piscinas de curado por un lapso de 2 horas previamente a ser ensayados, esto se realiza para que se pierda la humedad excesiva. Por lo tanto, los cilindros están saturados durante su rotura. Con esto se genera las peores condiciones de prueba, para tener un margen de seguridad. Como ya se mencionó, las muestras son pesadas y medidas previo su ensayo y por ende se toma la humedad de la muestra. (ASTM D4832-02, pág. 5)



**Figura 20:** Muestras fuera de la piscina de curado



**Figura 21:** Rotura de Cilindros



**Figura 22:** Toma de humedad

## CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados de los ensayos. Al término de la rotura de todos los cilindros se logró obtener datos que demuestran que en casos donde se necesita la mayor capacidad de carga, con baja densidad es muy útil utilizar el nuevo método de relleno.

### 3.1 Resultado de las dosificaciones

La dosificación a continuación se presenta para 1 m<sup>3</sup> de muestra de relleno fluido. Los valores han sido redondeados a valores enteros superior o inferiores dependiendo el caso. Para el cálculo de las dosificaciones de 1m<sup>3</sup> se ha tomado en cuenta el rendimiento de la muestra que varía según el aditivo usado.

**Tabla 2:** Dosificación de los materiales 1 m<sup>3</sup>

Mezcla	% de Cemento	Arena (kg)	Cemento (kg)	Agua (lt)	Aditivo (lt)	Fluidez (cm)	Rendim. (%)	Re. W/A
Espumer	4%	1220.00	48.8	290	1	14.5	1.04	0.24
	6%	1220.00	73.2	300	1	14.5	1.06	0.25
	8%	1220.00	97.6	305	1	14.5	1.0	0.25

Mezcla	% de Cemento	Arena (kg)	Cemento (kg)	Agua (lt)	Aditivo (lt)		Fluidez (cm)	Rendim. (%)	Re. W/A
Espumer + Megamix	4%	1220	48.8	260	1	1	14.5	1.01	0.21
	6%	1220	73.2	260	1	1	14.5	1.01	0.21
	8%	1220	97.6	260	1	1	14	1.01	0.21
Mezcla	% de Cemento	Arena (kg)	Cemento (kg)	Agua (lt)	Aditivo (lt)		Fluidez (cm)	Rendim. (%)	Re. W/A
Barracell	4%	1220	48.8	220	1		14	1.15	0.18
	6%	1220	73.2	230	1		14	1.13	0.19
	8%	1220	97.6	240	1.2		14	1.13	0.20
Mezcla	% de Cemento	Arena (kg)	Cemento (kg)	Agua (lt)	Aditivo (lt)		Fluidez (cm)	Rendim. (%)	Re. W/A
Fill Flow	4%	1220	48.8	300	1		14	1.03	0.25
	6%	1220	73.2	300	1		14	1.06	0.25
	8%	1220	97.6	300	1		14	1.09	0.25

La tabla 2 muestra las diferentes dosificaciones de acuerdo al aditivo. El contenido tanto en arena como cemento es el mismo, la cantidad de agua es la que varía.

En cuanto al aumento de volumen, no es igual para todas las mezclas aun siendo tratadas con el mismo aditivo. Se debe aclarar que la variación del rendimiento con el mismo aditivo a diferentes porcentajes de cemento no es mucha. Esto se da, porque las dosificaciones fueron totalmente experimentales, solo se basaron en la consistencia de la mezcla (fluidez).

La tabla 3 muestra las dosificaciones de las muestras en parihuelas de arena (30x30x30 cm) y sacos de cemento. Esto se realizó para una mejor apreciación de cantidades.

**Tabla 3:** Dosificación de los materiales 1 m<sup>3</sup>

Mezcla	% de Cemento	Arena (Parihuelas)	Cemento (Sacos)	Agua (lt)	Aditivo (lt)	Fluidez (cm)	Rendim. (%)	Re. W/A
Espumer	4%	30.00	1	290	1	14.5	4.43	9.67
	6%	30.00	1 (1/2)	300	1	14.5	6.30	10.00
	8%	30.00	2	305	1	14.5	1.0	10.17
Mezcla	% de Cemento	Arena (Parihuelas)	Cemento (kg)	Agua (lt)	Aditivo (lt)	Fluidez (cm)	Rendim. (%)	Re. W/A
Espumer + Megamix	4%	30	1	260	1   1	14.5	1.44	9.33
	6%	30	1 (1/2)	260	1   1	14.5	1.09	9.33
	8%	30	2	260	1   1	14	1.37	9.33
Mezcla	% de Cemento	Arena (Parihuelas)	Cemento (kg)	Agua (lt)	Aditivo (lt)	Fluidez (cm)	Rendim. (%)	Re. W/A
Barracell	4%	27	1	220	1	14	13.28	7.33
	6%	27	1 (1/2)	230	1	14	14.55	7.67
	8%	27	2	240	1.2	14	18.94	8.00
Mezcla	% de Cemento	Arena (Parihuelas)	Cemento (kg)	Agua (lt)	Aditivo (lt)	Fluidez (cm)	Rendim. (%)	Re. W/A
Fill Flow	4%	30	1	300	1	14	13.28	10.00
	6%	30	1 (1/2)	300	1	14	14.55	10.00

	8%	30	2	300	1	14	8.84	10.00
--	----	----	---	-----	---	----	------	-------

## 3.2 Resultados de prueba de compresión simple

El suelo que se utilizó para hacer los ensayos de compactación es una arena con gran contenido de finos. Suelo que también fue empleado en la modelación de rellenos fluidos.

### 3.2.1 Resistencia Línea Base

Al término de varios pruebas de “Energía de Compactación Modificada” se obtuvo la densidad seca máxima y la humedad óptima del suelo. Con estos datos se modeló las muestras que finalmente fueron ensayadas.

Las muestras a humedad óptima y densidad seca máxima ensayadas a compresión simple, permitieron obtener un patrón de resistencia máxima del suelo compactado. Se realizaron 15 ensayos de los cuales se escogieron 12 para el cálculo final.

La tabla 4 muestra los datos obtenidos de densidad seca ( $\gamma_A$ ), y resistencia máxima (qu).

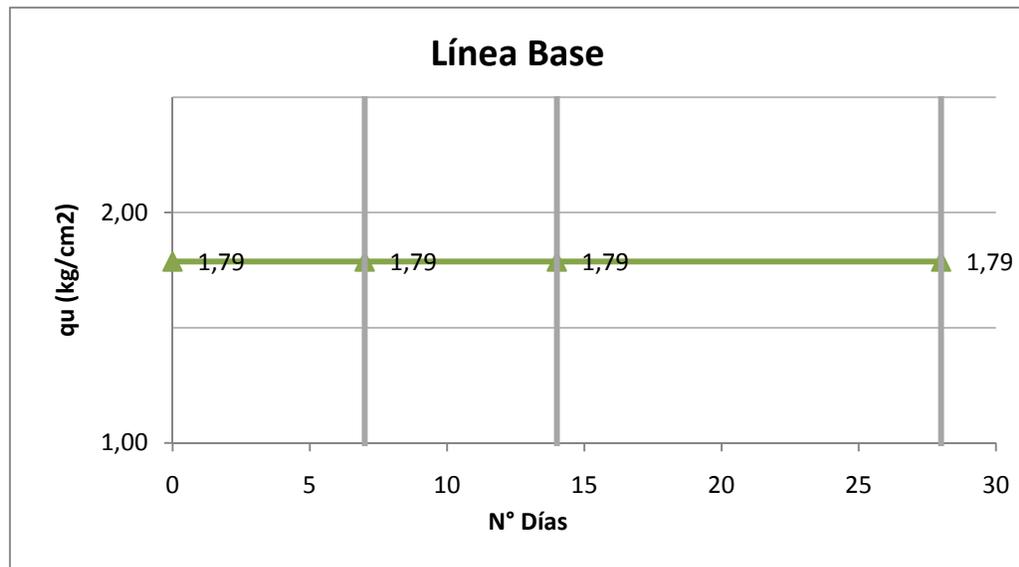
**Tabla 4:** Resumen de Datos de ensayos de compactación del suelo

Compactación			
$\gamma_A$	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_A$

(gr/cm <sup>3</sup> )			(gr/cm <sup>3</sup> )
1.52	1.78	1.79	1.51
1.52	1.71		
1.53	1.85		
1.51	1.75		
1.51	1.85		
1.50	1.86		
1.52	1.75		
1.52	1.82		
1.51	1.72		
1.51	1.86		
1.52	1.81		
1.51	1.70		

La gráfica 2 muestra la resistencia máxima obtenida con un valor de de 1.79 kg/cm<sup>2</sup> y la densidad seca de 1.51 gr/cm<sup>3</sup>.

**Gráfica 2:** Resistencia Máxima de Compactación



Los datos obtenidos no se los puede tomar como valores de resistencia máximos para cualquier tipo de suelo, porque existen suelos compactados que pueden resistir cargas mayores. Lo que vamos hacer es tomar este valor como un parámetro de referencia comparable para el resto del estudio. Ya que, lo suelos en la ciudad de Quito (arena, material usado) pueden variar en resistencia compactada, pero no de forma abrupta.

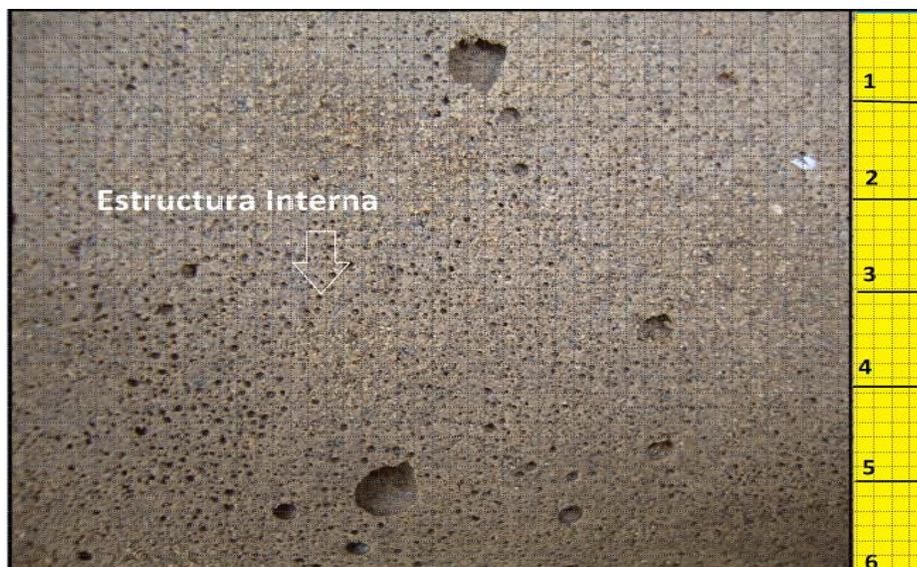
Datos de todo el ensayo en el Anexo 4.

### 3.2.2 Resistencia mezcla con aditivo

Para el análisis de las diferentes mezclas, en primera instancia se realizó una comparación de acuerdo al tipo de aditivo y diferente porcentaje de cemento. Finalmente se comparó los diferentes tipos de aditivo al mismo porcentaje de cemento.

### 3.1.1.1 Análisis de acuerdo al tipo de aditivo y diferente porcentaje de cemento:

- **Dosificación 1:** como se muestra en la Figura 17 la mezcla con “Espumer” presentó una estructura altamente porosa. La formación de burbujas de aire se pueden observar a simple vista, las mismas que permiten una gran trabajabilidad en la muestra.



**Figura 23:** Estructura interna con “Espumer” (cm)

La tabla 5 presenta un resumen de las resistencias de las muestras y densidades. En la gráfica 3 se logra apreciar el aumento de la resistencia con el paso de los días, desde el día 7 hasta el día 28 de acuerdo al porcentaje de cemento.

**Tabla 5:** Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Espumer”

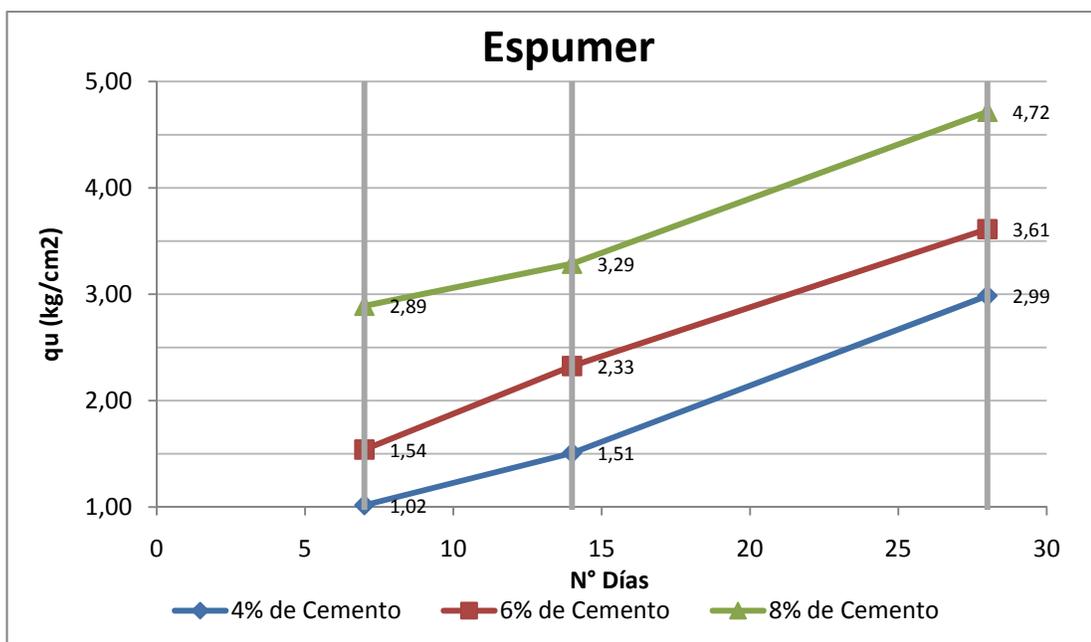
Aditivo Espumer (D. 1-2-3)					
Nº Días	$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	% Cemento	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )

7	1.17	0.88	4	1.02	1.18
7	1.18	1.08	4		
7	1.19	1.09	4		
14	1.18	1.40	4	1.51	1.18
14	1.18	1.61	4		
28	1.18	2.94	4	2.99	1.18
28	1.19	2.88	4		
28	1.18	3.14	4		
7	1.20	1.64	6	1.54	1.19
7	1.19	1.41	6		
7	1.19	1.58	6		
7	1.20	1.53	6		
14	1.20	2.47	6	2.33	1.19
14	1.19	2.25	6		
14	1.19	2.26	6		
14	1.18	2.31	6		
28	1.20	3.56	6	3.61	1.19
28	1.19	3.34	6		
28	1.19	3.90	6		
28	1.19	3.66	6		
7	1.24	3.03	8	2.89	1.24
7	1.26	3.15	8		
7	1.24	2.77	8		
7	1.24	2.62	8		
14	1.25	2.89	8	3.29	1.25
14	1.26	3.24	8		

14	1.24	3.42	8		
14	1.25	3.61	8		
28	1.25	4.49	8	4.72	1.24
28	1.24	4.81	8		
28	1.25	4.58	8		
28	1.24	4.98	8		

La resistencia máxima de la muestras dio a los 28 días de curado. La resistencia para la muestra con 4% de cemento se encuentra en 3 kg/cm<sup>2</sup>, para la muestra con 6% de cemento en 4 kg/cm<sup>2</sup> y para el 8% de cemento está en 5kg/cm<sup>2</sup>.

**Gráfica 3:** Resistencia mezcla con “Espumer”

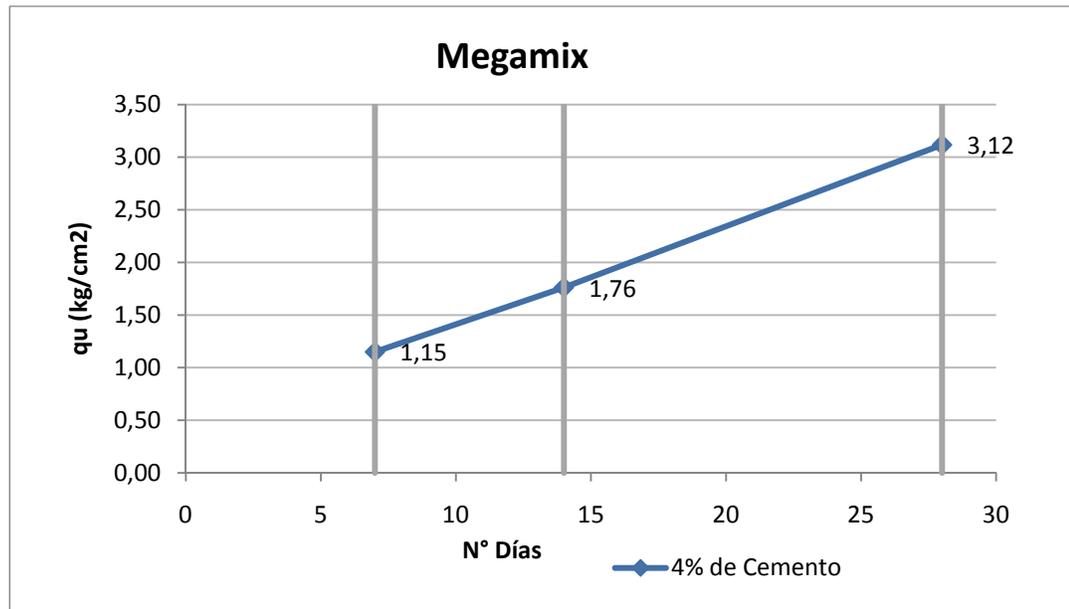


• **Dosificación 2:** las muestras con “Megamix” no presentaron la trabajabilidad necesaria en el instante de su preparación. La estructura interna no es lo suficientemente porosa. Otra de sus características es que la muestra se segrega, el agua aflora hacia la superficie y la mezcla de arena y cemento caen hacia el fondo. Esto es obvio porque el aditivo incorporado solo fue un reductor de agua (superplastificante), más no un inclusor de aire (permite la trabajabilidad). La tabla 6 presenta el resumen de la resistencia de la mezcla 2. Una de las cosas que llama la atención es que la dosificación alcanzó una resistencia final relativamente buena. El valor obtenido fue de  $3.12 \text{ kg/cm}^2$ . Aunque la muestra posee resistencia favorable, las pruebas solo se realizaron al 4% de cemento, porque lo que se busca es un mezcla de fácil trabajabilidad.

**Tabla 6:** Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Megamix”

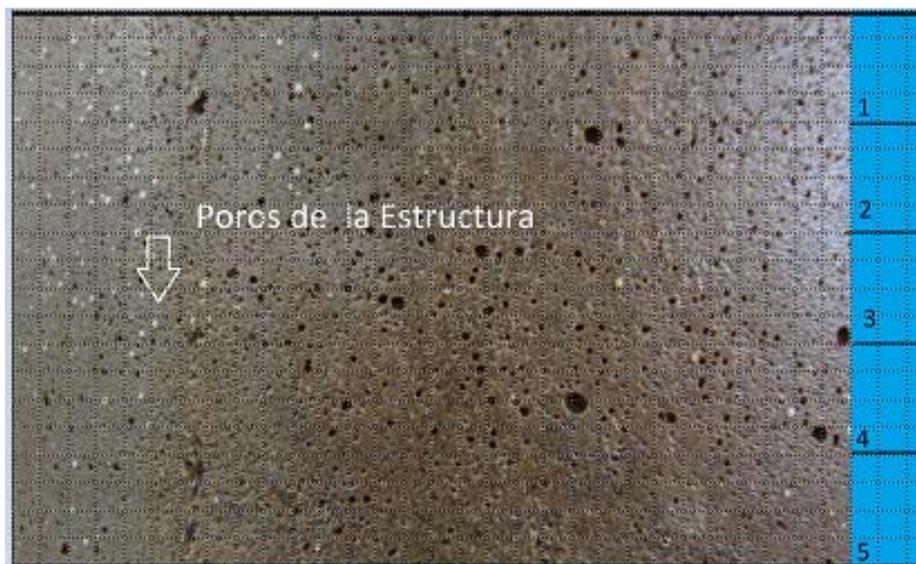
Aditivo Megamix (D. 4)					
Nº Días	$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	% Cemento	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_A$ (gr/cm <sup>3</sup> )
7	1.28	1.16	4	1.15	1.29
7	1.29	1.14	4		
7	1.29	1.14	4		
14	1.31	1.68	4	1.76	1.29
14	1.26	1.84	4		
14	1.32	1.82	4		
28	1.30	3.23	4	3.12	1.30
28	1.31	3.23	4		
28	1.31	2.99	4		
28	1.29	3.02	4		

**Gráfica 4:** Resistencia mezcla con “Megamix”



- **Dosificación 3:** esta mezcla es una de la que mejor resultado ha proporcionado. Esto da porque “Espumer” permite una gran trabajabilidad y “Megamix” el reductor de agua ayuda al aumento de la resistencia.

La Figura 18, presenta la estructura interna de la muestra. La incorporación de aire se nota a simple vista.



**Figura 24:** Estructura interna “Espumer + Megamix”

La tabla 7 es el resumen de las pruebas hechas con la dosificación 3, mientras que en la gráfica 5, se puede ver la variación de la resistencia para los diferentes porcentajes de cemento y el paso de los días. La resistencia máxima se alcanzó a los 28 día.

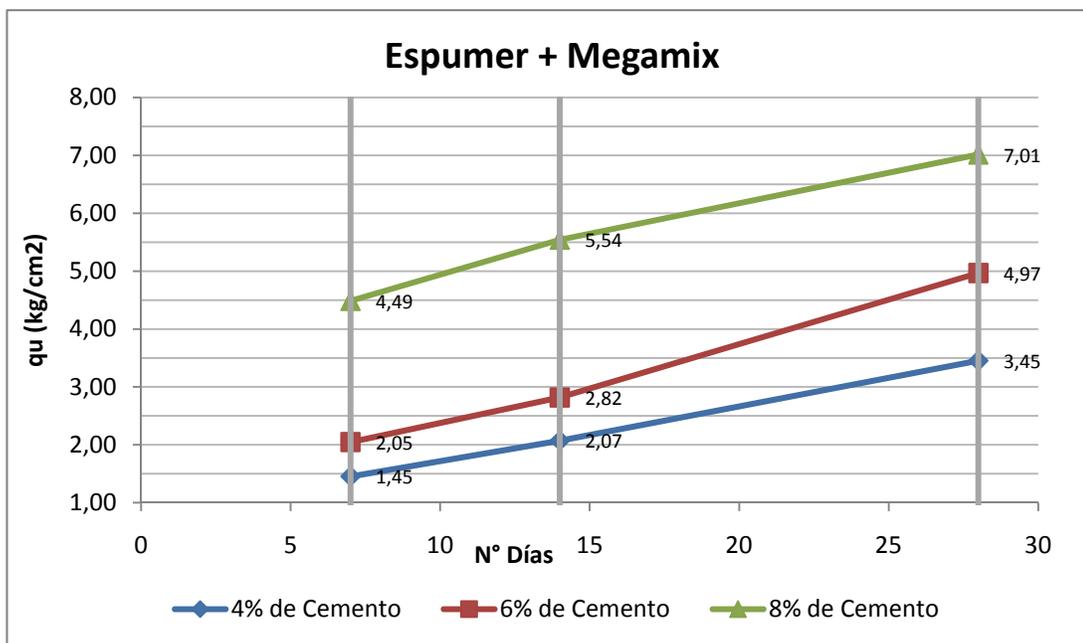
Para la muestra con 4% de cemento se consiguió una resistencia de 3.45 kg/cm<sup>2</sup>, en tanto que para un 6% de cemento de 4.97 kg/cm<sup>2</sup> y para un 8% de cemento 7.01 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 7:** Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Espumer + Megamix”

Aditivo Espumer + Megamix (D.5-6-7)					
Nº Días	Y <sub>A</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	% Cemento	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Y <sub>A</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )
7	1.15	1.45	4	1.45	1.15
7	1.16	1.60	4		
7	1.15	1.47	4		
7	1.15	1.29	4		
14	1.15	2.02	4	2.07	1.16
14	1.16	2.03	4		
14	1.15	2.11	4		
14	1.17	2.12	4		
28	1.18	3.41	4	3.45	1.17
28	1.15	3.41	4		
28	1.18	3.72	4		
28	1.17	3.28	4		
7	1.26	1.84	6	2.05	1.24
7	1.22	2.04	6		
7	1.23	2.26	6		
7	1.26	2.20	6		

14	1.23	2.88	6	2.82	1.24
14	1.25	2.70	6		
14	1.25	2.87	6		
14	1.23	2.65	6		
28	1.24	5.10	6	4.97	1.24
28	1.25	4.91	6		
28	1.22	4.97	6		
28	1.23	4.90	6		
7	1.25	4.53	8	4.49	1.25
7	1.25	4.49	8		
7	1.25	4.25	8		
7	1.25	4.67	8		
14	1.24	5.50	8	5.54	1.25
14	1.25	5.52	8		
14	1.26	5.52	8		
14	1.25	5.63	8		
28	1.24	6.88	8	7.01	1.24
28	1.26	7.18	8		
28	1.24	7.03	8		
28	1.24	6.97	8		

**Gráfica 5:** Resistencia mezcla con “Espumer + Megamix”



• **Dosificación 4:** en cuanto a la mezcla 4 con el aditivo “Barracell” se tuvo muchas complicaciones. Esto se dio porque la empresa Basf no mostró ningún interés en el estudio del producto y por lo tanto no se tenía las especificaciones técnicas de la dosificación del aditivo. Este hecho, generó un atraso en la dosificación de las muestras. Se tuvo que realizar de forma experimental las diferentes concentraciones del producto hasta obtener la que mejor se ajustó a las condiciones necesarias.

En la figura 19 se observa, que la estructura interna no es la más adecuado. La incorporación de aire no se la denota a simple vista, más bien las burbujas de aire no son estables y por eso se pierden dentro del cilindro. La mezcla crecía un 15% su tamaño, al colocarse toda la espuma, hecho generó que se pierda la resistencia. Se asume que el cemento era muy poco para la cantidad de muestra final. Otro de los problemas que presentó el material es la pérdida de humedad y saturación excesiva. Ante este hecho, las

muestras fueron tratadas de dos formas distintas. Las primeras al aire libre y las otras en piscinas de saturación. La pérdida de humedad al aire libre, generó que la muestra sea de rápida erosión y se desquebraje. La adsorción excesiva de agua en las piscinas permitió que la muestra se vuelva muy frágil. En ambos métodos no se tuvo buenos resultados.

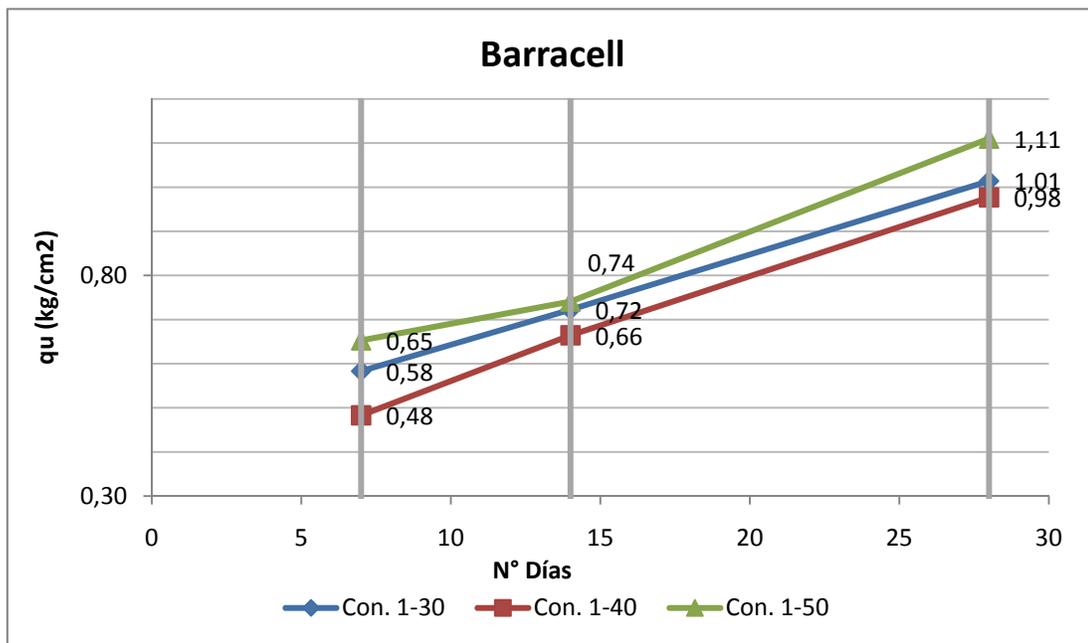


**Figura 25:** Estructura interna “Barracell”

Como ya se mencionó fue experimental la concentración a usar, por lo tanto la gráfica 6 contiene los tres tipos de concentraciones del aditivo. Estas concentraciones fueron aplicadas a una mezcla de 4% de cemento. La primera concentración usada fue 1-30 (1 parte de aditivo por 30 partes de agua), la segunda 1-40 (1 parte de aditivo por 40 partes de agua), la tercera 1-50 (1 parte de aditivo por 50 partes de agua). La que mejor se ajusta a las necesidades requeridas, tanto en trabajabilidad como en resistencia fue la solución 1-50.

La gráfica 6 presenta la variación de resistencia entre las tres, la cual no fue excesiva, pero la consistencia del material es la que marcó la diferencia. Las tres muestras eran trabajables, pero a concentraciones elevadas la mezcla era demasiado esponjosa y se formaban grumos que se rompían con facilidad. Esto se dio con la mezcla a concentración 1-30 y 1-40.

**Gráfica 6:** Resistencia con variación de concentración aditivo “Barracell”



Al haber seleccionado la concentración adecuada, se continuó con las siguientes mezclas tanto al 6% y 8% de cemento.

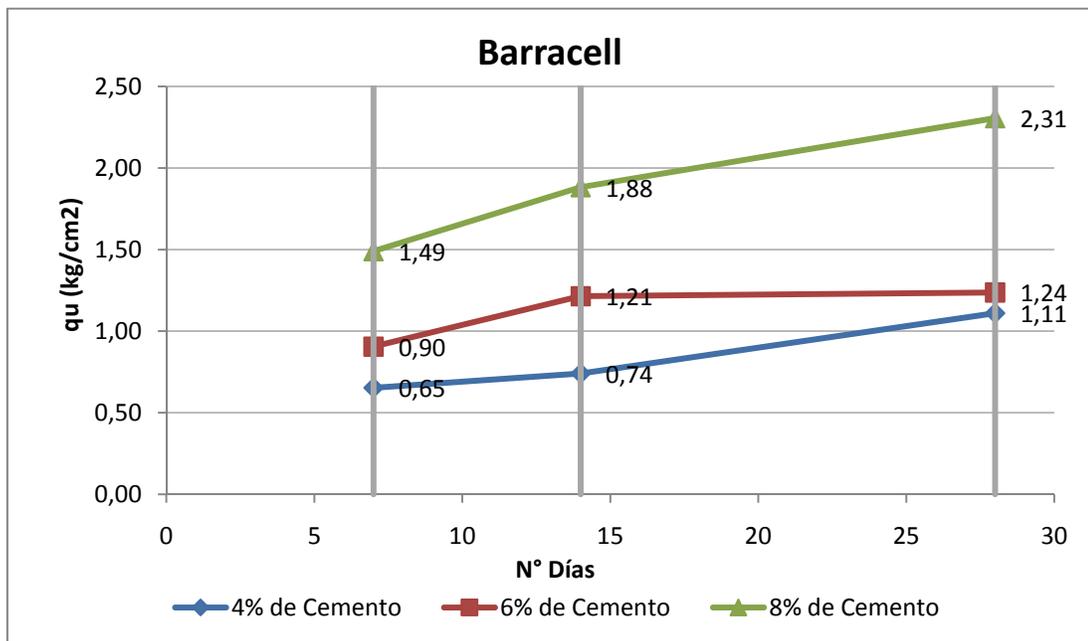
La Tabla 8 muestra los datos obtenidos, para las tres muestras con diferentes porcentajes de cemento. Mientras que en la gráfica 7 se observa la variación de la resistencia, teniendo como resultado al 4% de cemento 1.11 kg/cm<sup>2</sup>, para 6% de cemento 1.24 kg/cm<sup>2</sup> y para 8% de cemento 3.31 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 8:** Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Barracell”

<b>Aditivo Barracell Con. 1-50 (D.10-11-12)</b>					
<b>N° Días</b>	<b><math>\gamma_A</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>qu (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% Cemento</b>	<b>qu (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\gamma_A</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
7	0.91	0.65	4	0.65	0.91
7	0.90	0.55	4		
7	0.90	0.63	4		
7	0.91	0.78	4		
14	0.92	0.81	4	0.74	0.92
14	0.91	0.67	4		
28	0.94	1.08	4	1.11	0.94
28	0.93	1.10	4		
28	0.93	1.15	4		
7	0.97	0.73	6	0.90	0.97
7	0.98	1.07	6		
7	0.97	0.91	6		
7	0.96	0.91	6		
14	0.96	1.33	6	1.21	0.97
14	0.96	1.22	6		
14	0.98	1.09	6		
14	0.99	1.20	6		
28	0.98	1.33	6	1.24	0.99
28	0.98	1.20	6		
28	1.00	1.22	6		
28	0.99	1.20	6		
7	0.99	1.28	8	1.49	0.97
7	0.97	1.40	8		

7	0.96	1.60	8		
7	0.96	1.67	8		
14	0.96	1.77	8	1.88	0.99
14	0.97	1.86	8		
14	1.01	1.87	8		
14	1.02	2.03	8		
28	1.02	2.26	8	2.31	1.00
28	0.97	2.37	8		
28	0.99	2.34	8		
28	1.02	2.26	8		

**Gráfica 7:** Resistencia mezcla con “Barracell”



- **Dosificación 5:** el aditivo “Fill Flow” es un aditivo en polvo proveniente de los Estados Unidos. Este aditivo permitió alcanzar una asombrosa manejabilidad en el material, gran fluidez y lo más importante una alta resistencia.

La estructura interna, era porosa como lo muestra la figura 20. Una estructura perfecta. El tamaño de las burbujas internas permite que sea liviana y a vez resistente.



**Figura 26:** Estructura interna “Fill Flow”

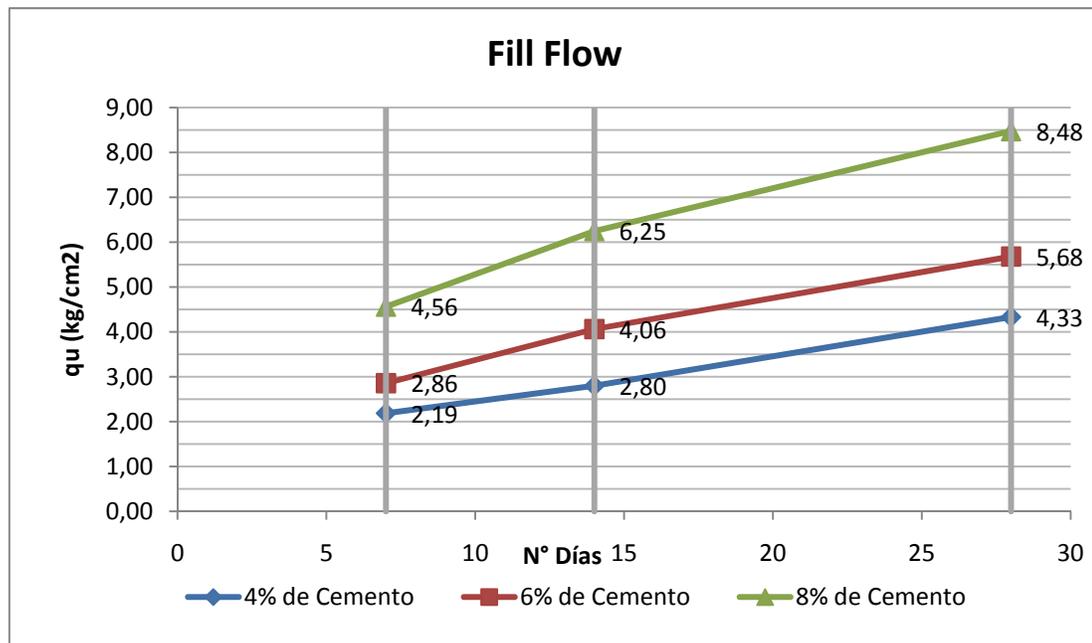
La tabla 9 proporciona el resumen de las diferentes resistencias del material. En la gráfica 8, se aprecia la variación de la resistencia en cuanto al porcentaje de cemento. Obteniendo como resultado final al 4% de cemento  $4.33 \text{ kg/cm}^2$ , para el 6% de cemento  $5.68 \text{ kg/cm}^2$  y al 8% de cemento  $8.5 \text{ kg/cm}^2$ .

**Tabla 9:** Resumen de Resistencias y Densidad Seca “Fill Flow”

<b>Aditivo Fill-Flow (D.13-14-15)</b>					
<b>N° Días</b>	<b><math>\gamma_A</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>qu (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% Cemento</b>	<b>qu (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\gamma_A</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
7	1.18	2.15	4	2.19	1.18
7	1.19	2.22	4		
7	1.18	2.10	4		
7	1.19	2.28	4		
14	1.19	2.73	4	2.80	1.19
14	1.19	2.80	4		
14	1.18	2.76	4		
14	1.20	2.91	4		
28	1.19	4.26	4	4.33	1.19
28	1.18	4.40	4		
28	1.19	4.40	4		
28	1.20	4.26	4		
7	1.19	2.84	6	2.86	1.20
7	1.20	2.96	6		
7	1.20	2.74	6		
7	1.20	2.89	6		
14	1.19	4.10	6	4.06	1.19
14	1.20	4.12	6		
14	1.20	3.92	6		
14	1.19	4.10	6		
28	1.20	5.69	6	5.68	1.20

28	1.20	5.50	6		
28	1.19	5.69	6		
28	1.20	5.82	6		
7	1.27	4.67	8	4.56	1.26
7	1.26	4.51	8		
7	1.26	4.56	8		
7	1.26	4.52	8		
14	1.26	6.26	8	6.25	1.25
14	1.25	6.27	8		
14	1.26	6.30	8		
14	1.23	6.15	8		
28	1.23	8.75	8	8.48	1.26
28	1.28	8.16	8		
28	1.26	8.86	8		
28	1.26	8.14	8		

**Gráfica 8:** Resistencia mezcla con “Fill Flow”



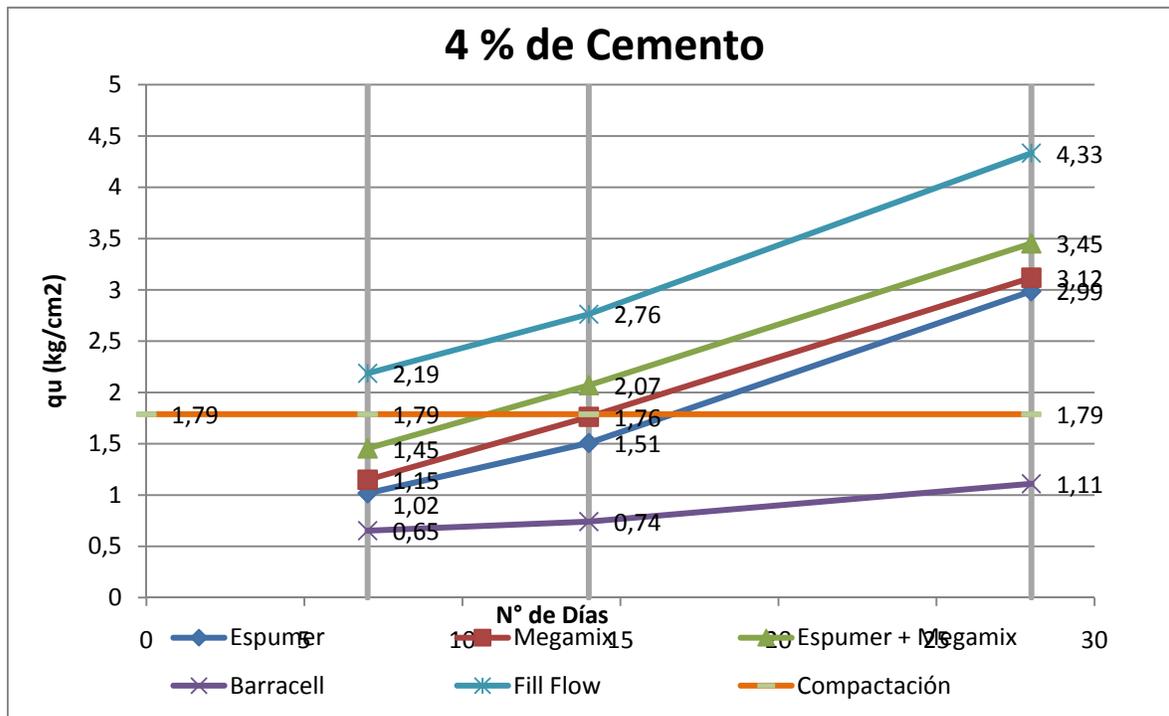
### 3.2.2.1 Comparación de las mezclas de acuerdo a su porcentaje de cemento

Al tener todos los datos de resistencia tabulados, se determinó que otra de las formas de comparación de las muestras es al mismo porcentaje de cemento y diferente aditivo. He aquí los resultados de resistencia versus los días de curado de acuerdo al porcentaje de cemento.

- **4% de cemento:** la gráfica 9 presenta la resistencia de las muestras con diferentes aditivos. El resultado obtenido para la mayor resistencia es a los 28 días de curado, con el

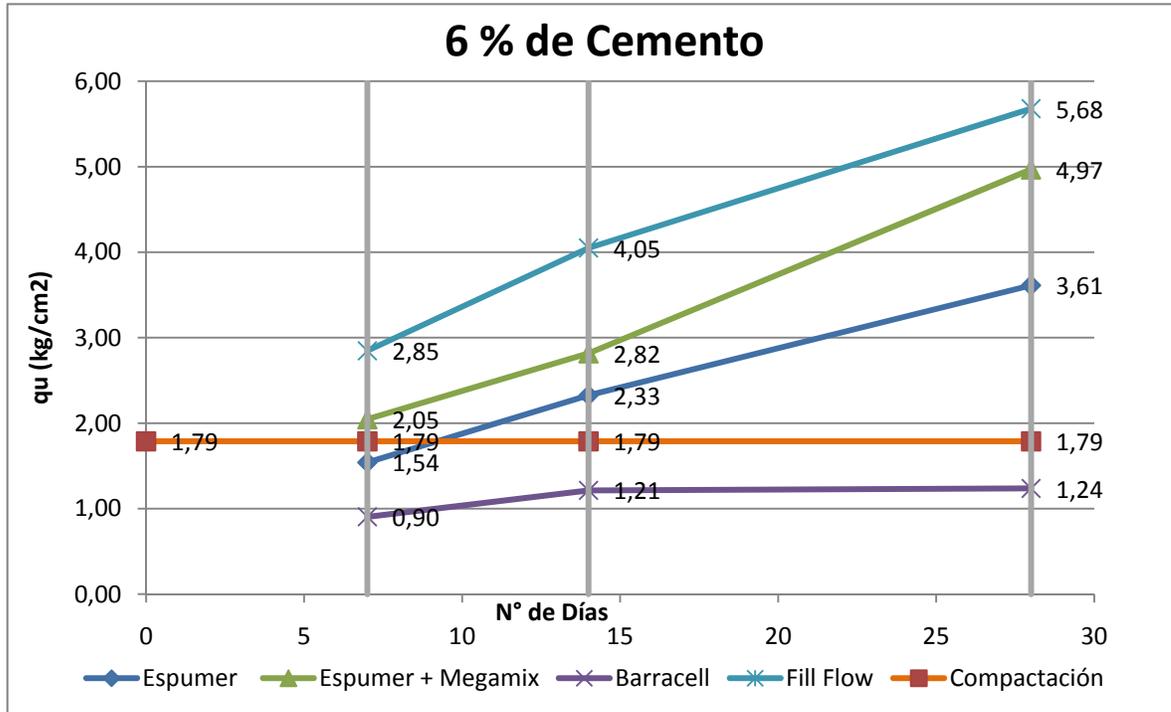
aditivo “Fill Flow” ( $4.33 \text{ kg/cm}^2$ ) y la menor resistencia es con “Barracell” dando únicamente  $1.11 \text{ kg/cm}^2$ .

**Gráfica 9:** Resistencia de mezclas al 4% de Cemento



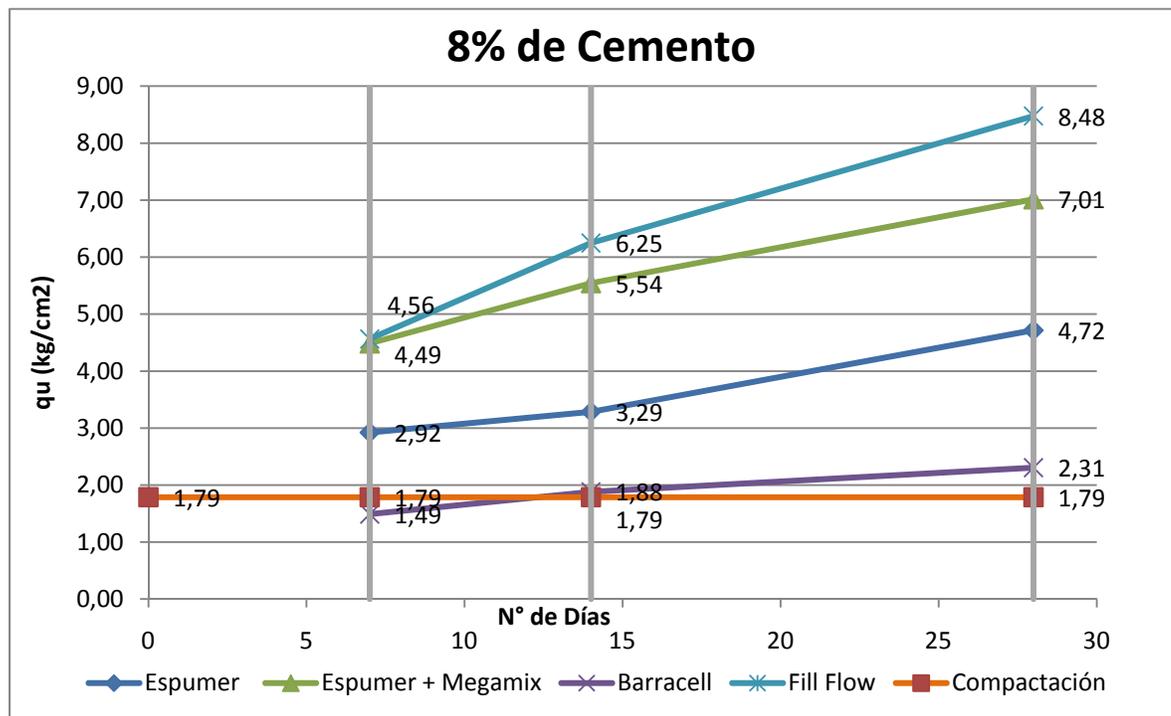
• **6 % de cemento:** al igual que en el caso anterior la menor resistencia se la alcanzó con el aditivo “Barracell”  $1.24 \text{ kg/cm}^2$  y la mayor resistencia de  $5.68 \text{ kg/cm}^2$  el aditivo “Fill Flow”, esto se lo puede apreciar en la gráfica 10.

**Gráfica 10:** Resistencia de mezclas al 6% de Cemento



- 8 % de cemento:** la gráfica 11 ejemplifica que al contrario de los dos casos anteriores, la menor resistencia fue por compactación con un valor de 1.79 kg/cm<sup>2</sup>. En este caso el aditivo “Barracell” obtuvo una mejor resistencia, pero al igual que en los casos anteriores la mayor resistencia adquirida fue con el aditivo “Fill Flow” con 8.48 kg/cm<sup>2</sup>.

**Gráfica 11:** Resistencia de mezclas al 8% de Cemento.



### 3.3 Resultados de Densidad Seca

En el análisis de laboratorio para este tipo de muestras no solo importa la resistencia a los 28 días sino también la densidad seca del material. Se toma en cuenta este parámetro (densidad seca) ya que a una menor densidad el peso por carga del material disminuye notablemente.

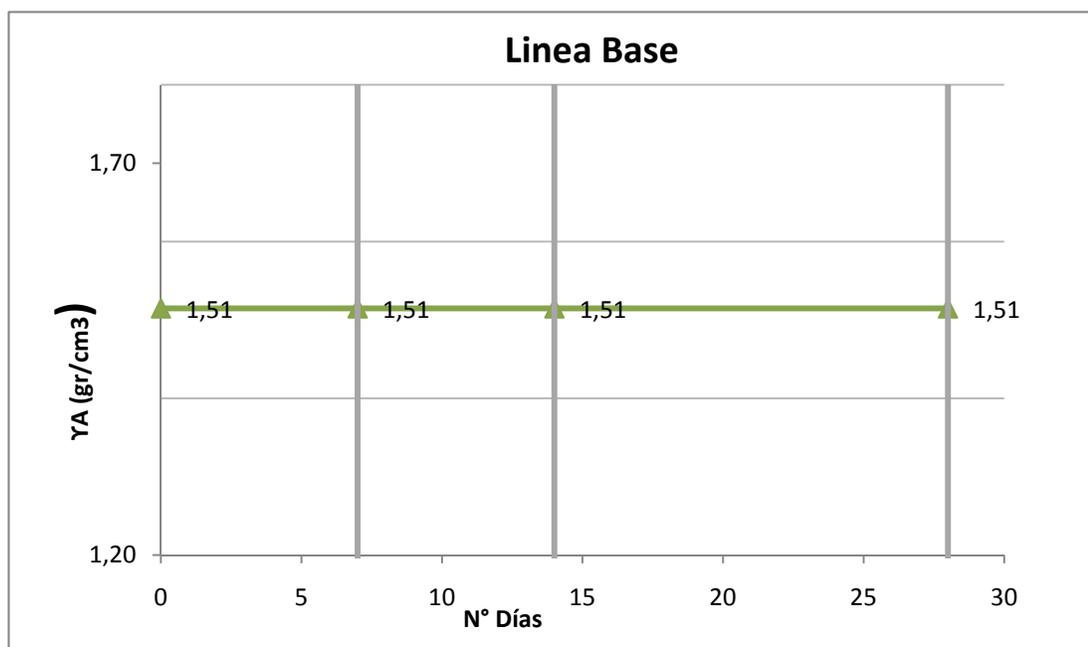
Al igual que en resistencia, en primera instancia se compara la densidad según el tipo de aditivo a diferentes porcentajes de cemento. Finalmente se comparó todos los aditivos a un mismo porcentaje de cemento. Con todo lo tabulado se genera un análisis comparativo entre las diferentes dosificaciones y la línea base.

### 3.3.1 Densidad Seca Línea base

Los suelos por lo general bien compactados presenta una densidad seca entre 1.6 a 2.2  $\text{gr}/\text{cm}^3$ . En cuanto a la línea base, los datos se tienen tabulados en la tabla 2, dándonos como resultados 1.51  $\text{gr}/\text{cm}^3$ .

La gráfica 12 muestra la densidad para de la línea base, la misma que con el paso de los días es la misma, con un valor de 1.51  $\text{gr}/\text{cm}^3$ .

**Gráfica 12:** Densidad Seca de la Línea Base.



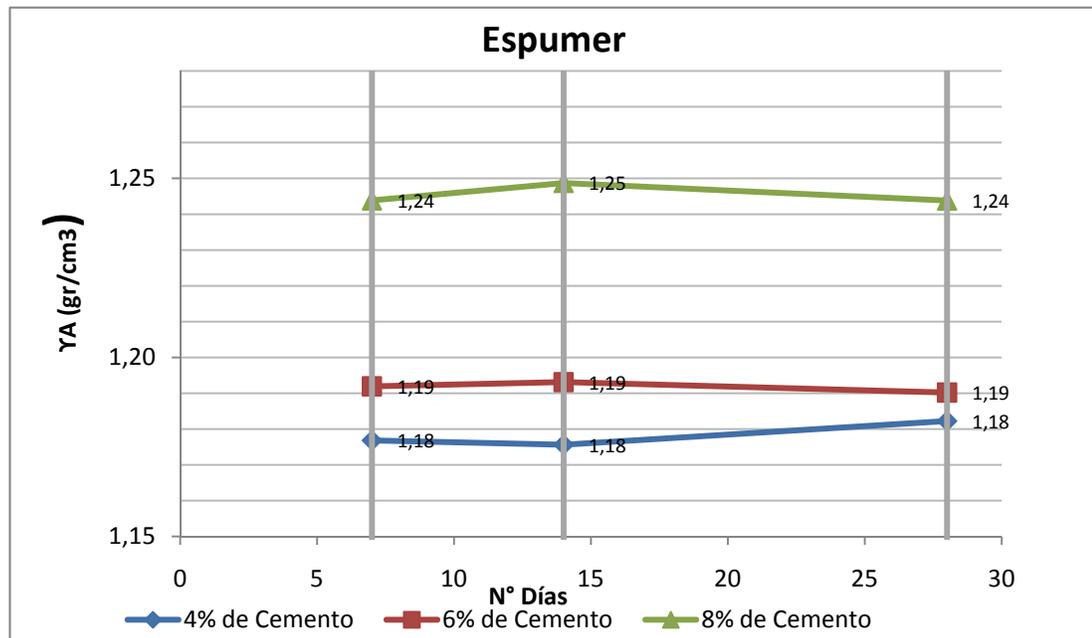
### 3.3.2 Densidad seca - mezcla con Aditivo

Al igual que en los casos anteriores la densidad seca se compra para los diferentes aditivos y el porcentaje de cemento.

### 3.3.1.1 Densidad seca según el tipo de aditivo

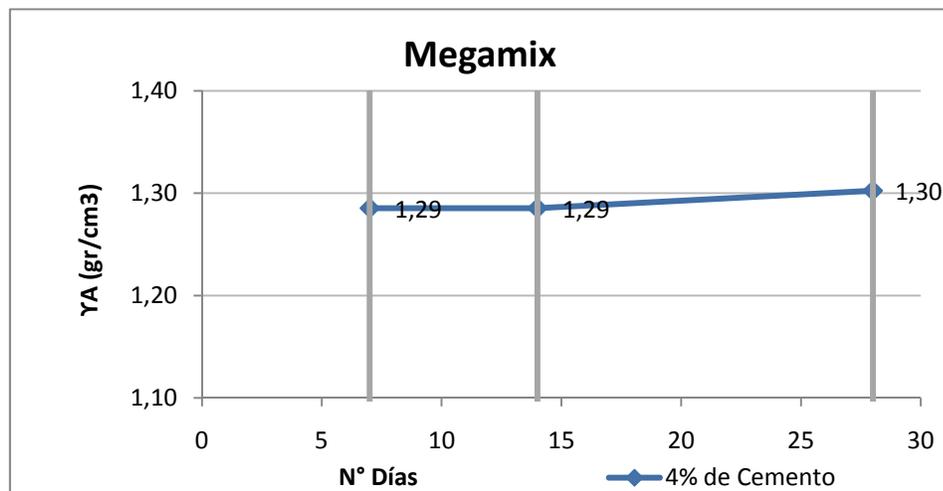
- Dosificación 1:** la tabulación de los datos de densidad para la mezcla con “Espumer” está dada en la tabla 3. El resultado obtenido a los 28 días para la dosificación al 4% de cemento es de  $1.18 \text{ gr/cm}^3$ , para el 6% de cemento de  $1.19 \text{ gr/cm}^3$  y con 8% de cemento es de  $1.24 \text{ gr/cm}^3$ . Los valores de densidad entre el 4% y 6% de cemento no varían en demasiado, tan solo  $0.01 \text{ gr/cm}^3$ , pero para el 8% de cemento ya es de orden de  $0.05 \text{ gr/cm}^3$ . Esta variación en un volumen grande genera un aumento de carga propia del relleno (peso muerto). La gráfica 13 presenta la variación de la densidad en cuanto al paso del tipo.

**Gráfica 13:** Densidad Seca de mezclas con “Espumer”



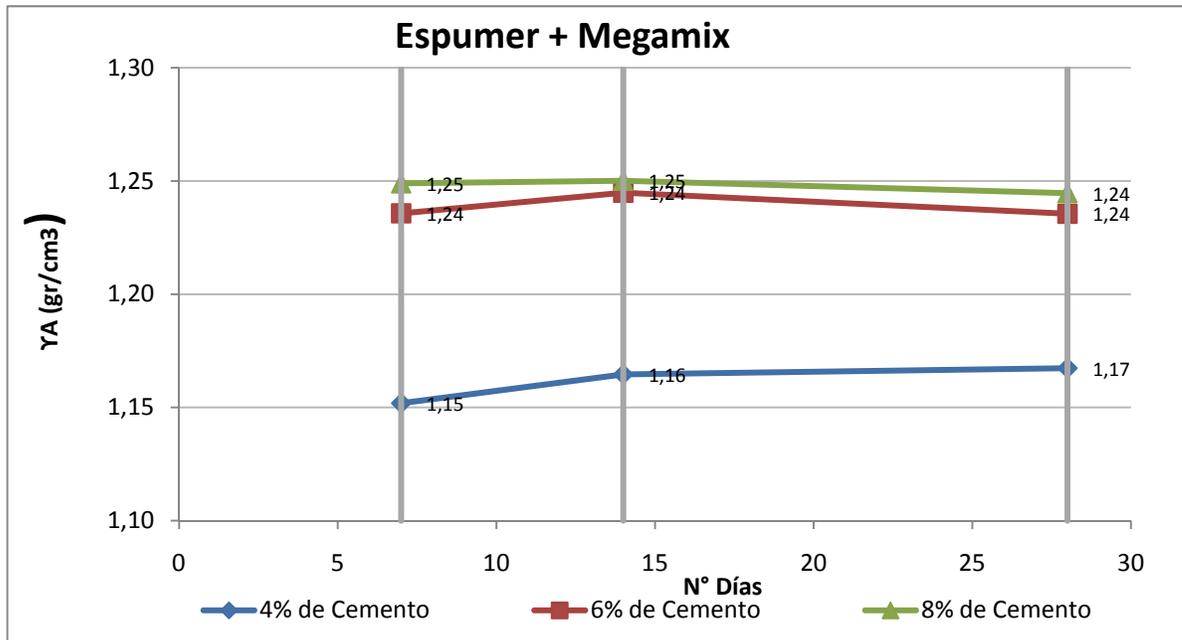
- **Dosificación 2:** la muestra con “Megamix”, por el hecho de ser una muestra con aditivo superplastificante es notable que la densidad seca aumenta. Esto se debe a que el aditivo usado solo ayuda en la reducción de agua, más no en la incorporación de espacios vacíos. La inclusión de aire es la que permite que la muestra sea menos densa. La gráfica 14 presenta una densidad de  $1.30 \text{ gr/cm}^3$  con un 4% de cemento en la muestras.

**Gráfica 14:** Densidad Seca de mezclas con “Megamix”



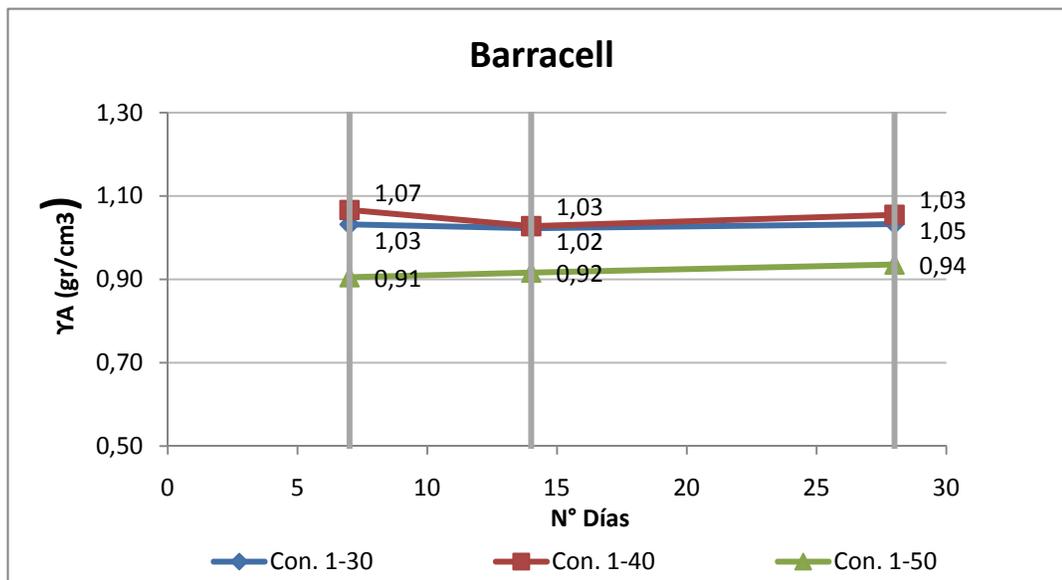
- **Dosificación 3:** la combinación de los dos aditivos, no solo presenta una resistencia buena, sino también una densidad seca relativamente baja. La densidad para la muestra de 4% de cemento es de  $1.17 \text{ gr/cm}^3$ , mientras que para las muestras de 6% y 8% de cemento son muy parecidas. Su valor es de  $1.24 \text{ gr/cm}^3$ . La tabla 4 muestra la tabulación de todos los datos, y en la gráfica 15 se representa la variabilidad antes mencionada.

**Gráfica 15:** Densidad Seca de mezclas con “Espumer + Megamix”



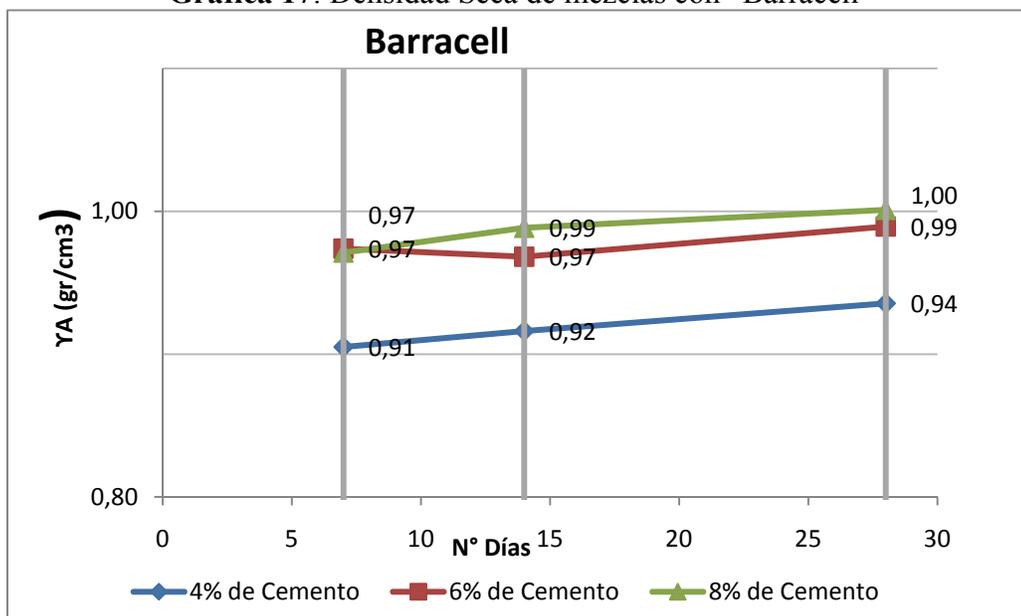
- **Dosificación 4:** El aditivo “Barracell” al ser inclusor de aire (espuma espesa) proporciona un crecimiento en la muestra. Esto permite que la muestra reduzca su densidad seca de la muestra. La gráfica 16 presenta las densidades para las diferentes concentraciones de aditivo. Es notable la disminución de la densidad con una concentración más baja, esta es otra de las razones por la cual se optó por elegir la concentración 1-50 del aditivo.

**Gráfica 16:** Densidad Seca de mezclas con “Barracell” a diferentes concentraciones.



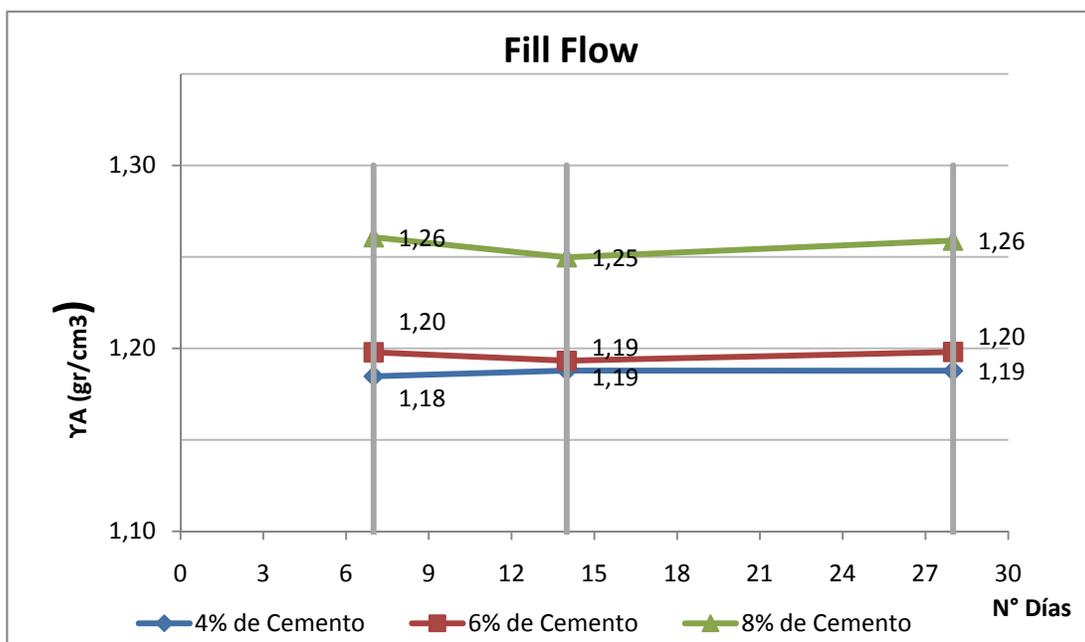
La tabla 5 contiene los valores de densidad para los diferentes porcentajes de cemento, mientras que en la gráfica 17 logramos observar que en la muestra al 4% de cemento la densidad seca es de  $0.94 \text{ gr/cm}^3$ , con 6% de cemento  $0.99 \text{ gr/cm}^3$  y al 8% de cemento  $1 \text{ gr/cm}^3$ .

**Gráfica 17:** Densidad Seca de mezclas con “Barracell”



• **Dosificación 5:** las tres mezclas con aditivo “Fill Flow” presentaron densidades muy parecidas entre sí. La tabulación de los datos para este aditivo se encuentra en la tabla 6. La gráfica 18 muestra los valores máximos de densidad a los 28 días. Dando como resultado para la muestra de 4% de cemento un valor de  $1.19 \text{ gr/cm}^3$ , para el 6% de cemento de  $1.20 \text{ gr/cm}^3$ , y para el 8% de cemento de  $1.26 \text{ gr/cm}^3$ .

**Gráfica 18:** Densidad Seca de mezclas con “Fill Flow”

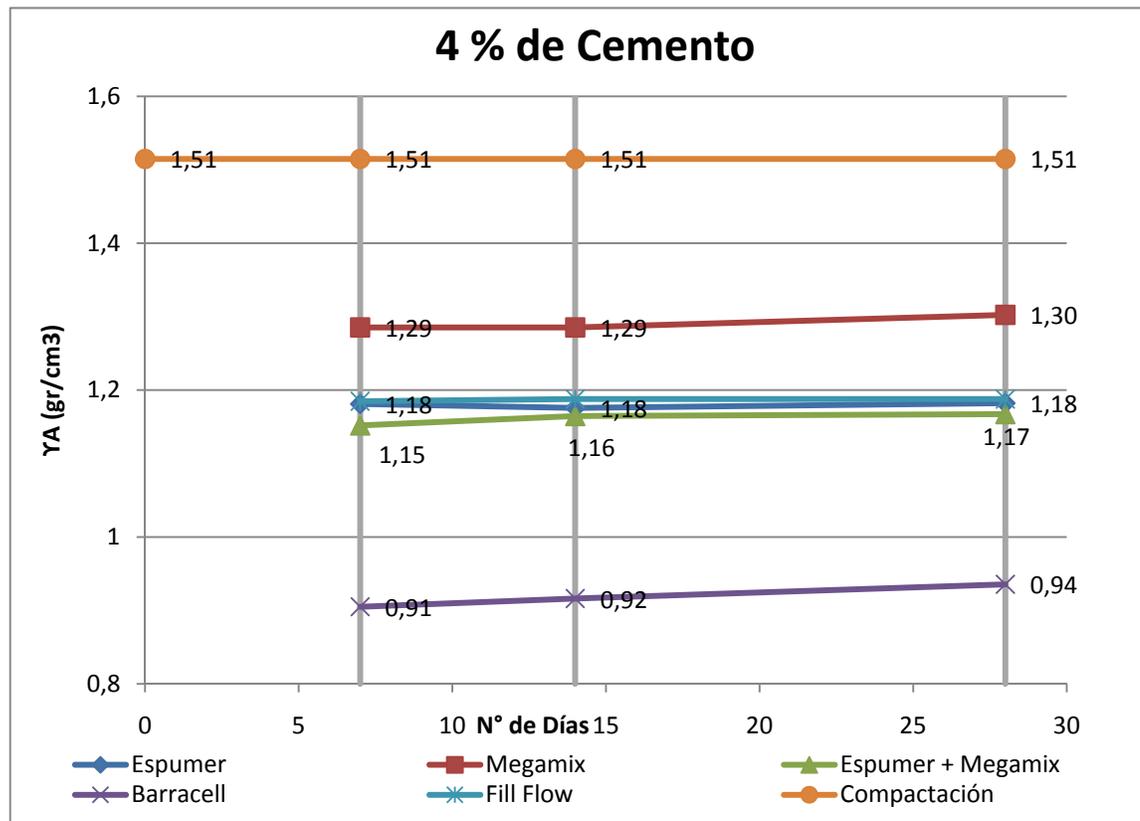


### 3.3.1.2 Densidad seca según el Porcentaje de Cemento

Es notable que la densidad seca de las muestras a diferentes porcentajes de cemento y con el mismo aditivo no varían mucho entre sí. Lo que se hace a continuación es el análisis de la densidad más baja al mismo porcentaje de cemento con diferentes aditivos, también se compara con la densidad máxima seca obtenida por compactación.

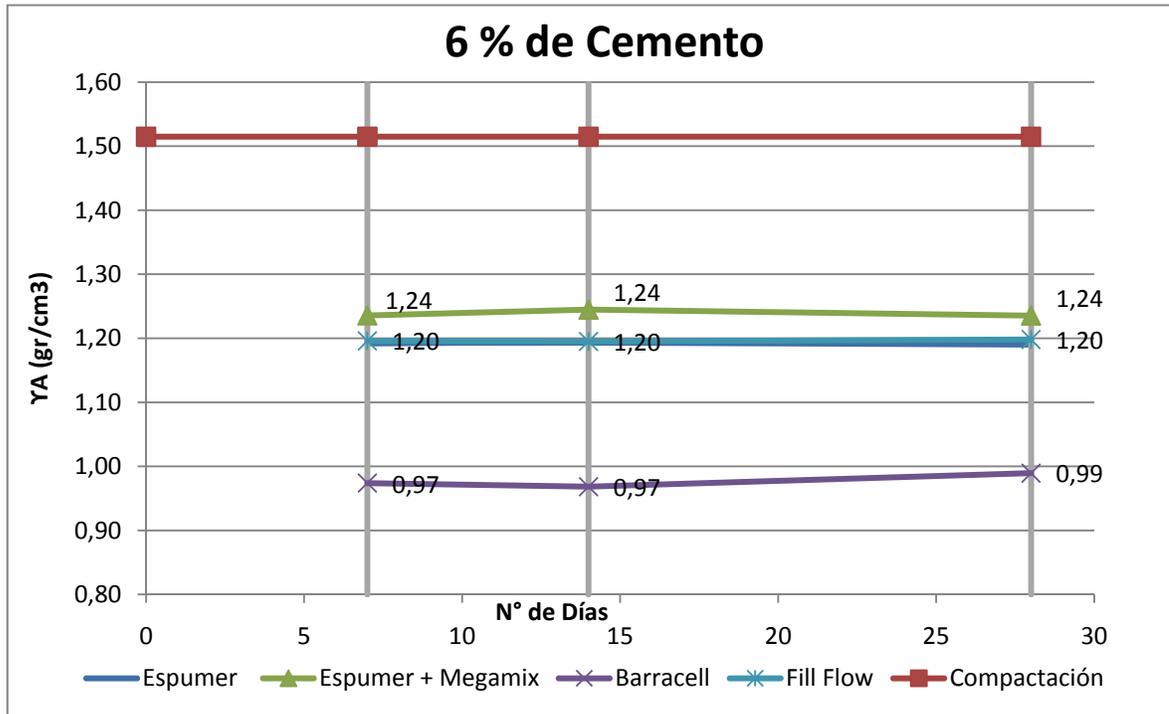
- **4% de Cemento:** en la gráfica 19 se observa a simple vista la muestra con menor densidad es con el aditivo “Barracell” con un valor de  $0.94 \text{ gr/cm}^3$ . En cuanto a aditivos se trata, la muestra con una densidad alta es con “Megamix” de  $1.30 \text{ gr/cm}^3$ , pero nada se compara con el valor de  $1.51 \text{ gr/cm}^3$  obtenido compactando el suelo.

**Gráfica 19:** Densidad Seca de mezclas con “4% de Cemento”



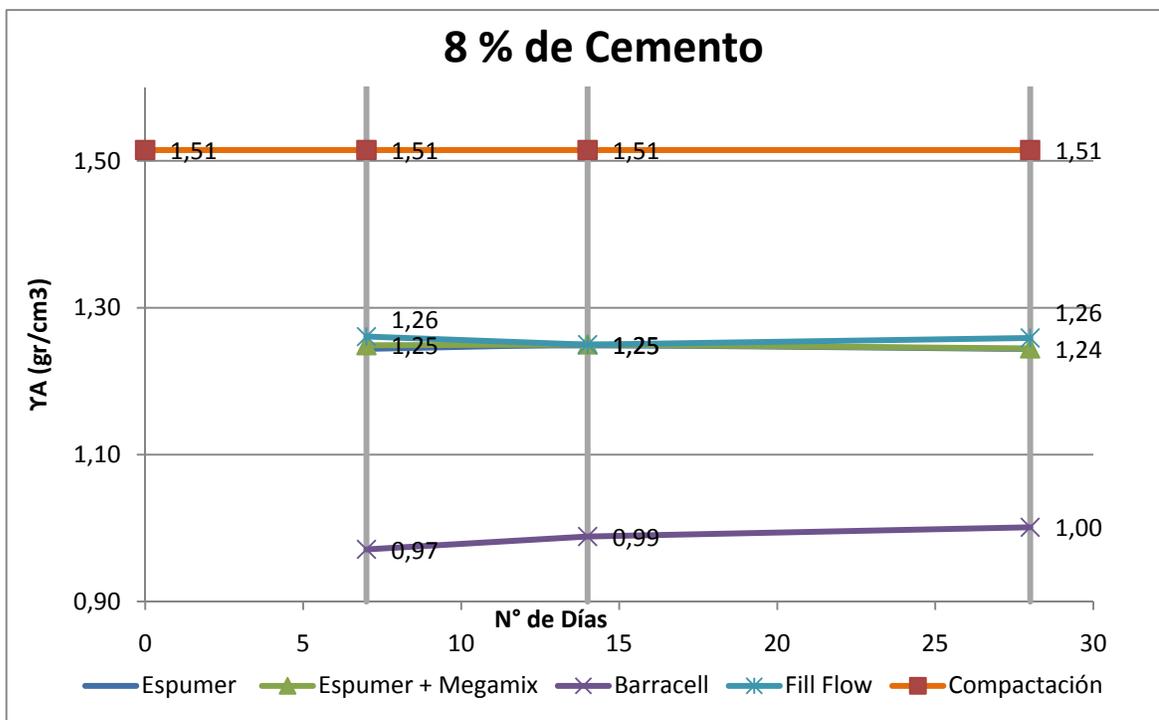
- **6 % de Cemento:** En la gráfica 20 se observa que al igual que al 4% de cemento la mayor densidad obtenida fue por compactación, la menor con “Barracell” con un valor de  $0.99 \text{ gr/cm}^3$ . La mayor densidad con muestra con aditivo fue con Espumer + Megamix de  $1.24 \text{ gr/cm}^3$ .

**Gráfica 20:** Densidad Seca de mezclas con “6% de Cemento”



- 8 % de Cemento:** la densidad entre los diferentes aditivos no es variable. Estas se encuentra en un rango de 1.24 a 1.26  $\text{gr}/\text{cm}^3$ . Solo “Barracell” presenta gran diferencia. Para este caso con 8% de cemento la menor densidad es de 1  $\text{gr}/\text{cm}^3$  con “Barracell”, la muestra con aditivo que tiene la mayor densidad es con “Fill Flow” de 1.26  $\text{gr}/\text{cm}^3$ . Aun con este valor, nada iguala a la compactación de suelo con un valor de 1.52  $\text{gr}/\text{cm}^3$ . La gráfica 21 a continuación demuestra lo mencionado.

**Gráfica 21:** Densidad Seca de mezclas con “8% de Cemento”



Los datos obtenidos en laboratorio se encuentran en el Anexo 4.

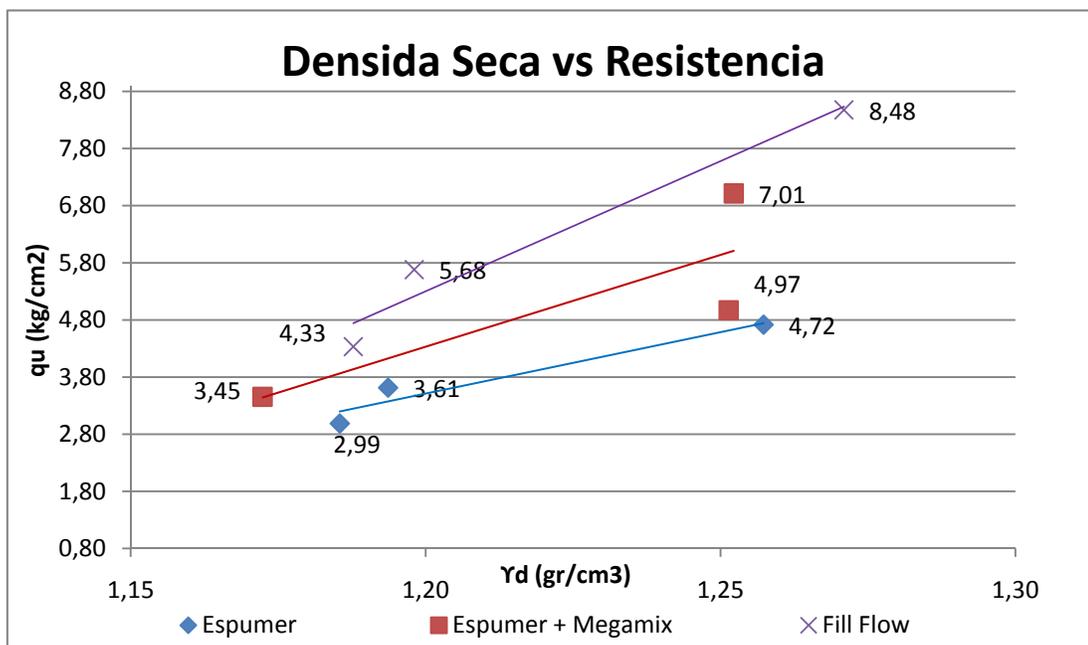
### 3.4 Análisis Resistencia Máxima – Densidad Seca.

Al haber evaluado la resistencia y la densidad de cada una de las muestras de manera aislada se escogieron las mejores muestras. Siendo escogidas las muestra con los aditivos, “Espumer”, “Espumer + Megamix” y “Fill Flow”.

A continuación se presenta el análisis basado en porcentaje de cemento, según su resistencia máxima versus su densidad seca.

La gráfica 22 muestra, que la muestra con “Fill Flow” alcanzo un 21% más de resistencia y una densidad mayor de 1.6% que la muestra con “Espumer + Megamix”. Se debe recalcar que la resistencia inicial de la mezcla con ”Fill Flow” es mucho mayor comparada con la muestra de “Espumer”. Además, se ve a simple vista que la muestra con “Barracell” posee una densidad baja, pero a vez su resistencia es menor comparada con las otras muestras. La muestra con “Espumer” se encuentra en un punto medio, tanto en densidad como resistencia.

**Gráfica 22:** Resistencia vs. Densidad Seca



### 3.5 Retracción de Fraguado

Durante todo el tiempo de ensayos de probetas, se tuvo muy en cuenta la retracción de fraguado de las mismas. Las probetas no presentaron nunca un cambio de tamaño (12cm).

Durante la rotura de las mismas se verificó, con la ayuda de un calibrador, que la altura inicial no cambie en ningún instante.



**Figura 27:** “Probeta antes de ser ensayada

## 3.6 Conclusiones

### 3.6.1 Mezcla

1. Se utilizaron cinco diferentes tipos de aditivos para las dosificación, de los cuales solo cuatro dieron una mezcla trabajables y homogéneas. Esto se debe a que la muestra con superplastificante solo permitió una reducción de agua con materiales segregados que nunca fue homogénea.
2. En un inicio se asumió que las muestras tendrían un aumento en volumen al incorpora el aditivo espumante. Lo que se corroboró al final de los ensayos.
3. El aditivo “Barracell” mostró el mayor (20%) aumentó de volumen. Para el resto de aditivos existió aumento, pero no fue muy significativo.

### 3.6.2 Fluidez:

1. Este parámetro es el que marca la diferencia entre un relleno de suelo compactado y un relleno fluido. Esta característica se logró conseguir para todas las mezclas.
2. Todas las muestras fueron de consistencia y trabajabilidad favorable, ya que se realizó los ensayos bajo un mismo parámetro de fluidez. Todas las mezclas tenían la misma fluidez o al menos parecida.
3. Bajo el parámetro de fluidez no se puede elegir a una de las muestras como la mejor. Todos estuvieron bajo el mismo parámetro de fluidez.
4. El parámetro que rige es la resistencia máxima, densidad mínima y el mejor costo. Todo esto depende de las condiciones en donde se vaya a usar el material.

### 3.6.3 Resistencia y Densidad:

1. La resistencia máxima con los ensayos a compresión, se alcanzó con el aditivo “Fill Flow” a los 28 días de curado, con un 8% de cemento. El valor fue de  $8.48 \text{ kg/cm}^3$ . Si este valor se compara con la resistencia de la muestra compactada, el relleno fluido es 4.5 veces mayor.
2. La variación de resistencia entre las muestras con “Espumer”, “Fill Flow” y “Espumer + Megamix”
3. La muestra con “Barracell” posee la menor densidad y la menor resistencia. Esto se debe a que la dosificación no fue la más óptima, por la falta de colaboración del fabricante. Se asume que lo que afectó a la muestra no fue la concentración de la espuma, sino la cantidad de espuma que se colocó en la mezcla

4. Si se toma como patrón de análisis la densidad, no se puede determinar cuál de las muestras es la mejor, ya que la variación entre densidades es casi nula entre las muestras. Dependiendo el uso del relleno, se puede elegir de acuerdo a la resistencia necesaria y la densidad óptima.
5. Sea el caso de disminuir peso del relleno, es obvio que cualquiera de las dosificación hechas es mejor que el relleno de suelo compactado. Esto se debe ya que un relleno fluido con resistencia máxima, alcanza una densidad seca de  $1.26 \text{ gr/cm}^3$ , mientras que un relleno de suelo compactado de  $1.52 \text{ gr/cm}^3$ .

#### **3.6.4 Otras:**

1. Antes de seleccionar la muestra más apta, es necesario conocer el precio final de la mezcla y los requerimientos del proyecto en donde se quiere aplicar la técnica.
2. Se comprobó que el material es auto-compactante, auto- nivelante y no requiere vibración.
3. No existió retracción de fraguado en ninguna de las muestras.
4. La muestra con “Brracell” fue muy fácil de ser erosionada y absorbe gran humedad. Esto permite que su capacidad de carga disminuya.
5. Las muestras tanto con “Espumer”, “Fill Flow” y “ Espumer + Megamix” tiene una consistencia antes y después de secar muy parecidas.
6. En un relleno fluido la energía de compactación se ve sustituida por el aditivo usado.

## **CAPITULO 4: ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

### **Introducción**

Este capítulo se basa en el análisis de los precios unitarios de materiales, mano de obra y maquinaria para las dos tipos de relleno. La suma de los tres rubros es el resultado del costo total, el mismo que es comparado con el beneficio. Comparar la implementación de una nueva tecnología con relación a su costo es lo que marca la factibilidad de usar este método. En caso del que el costo supere el beneficio, es mejor no implementar rellenos fluidos y es preferible mantener la tecnología usada hasta la actualidad.

### **4.1 Análisis de precios**

El análisis de costo para los dos métodos está basado en un análisis de precios unitarios por un metro cubico de relleno de suelo compactado y relleno fluido. Los datos se han obtenido por un análisis simplificado propio, tomando en cuenta el rendimiento y algunos costos de la revista de la “Cámara de la Construcción”. Se debe recalcar, que el costo por mano de obra es tomado según la paga de ley (seguro social, décimo tercero y décimo cuarto suelo, vacaciones, etc)

#### **4.1.1 Compactación de suelo**

En compactación tradicional se han analizado el caso de relleno de suelo compactado con maquina (sapo compactador) y material de reposición.

La tabla 10 presenta la descripción de los rubros que se deben tomar en cuenta para el costo final del relleno compactado.

**Tabla 10:** Costo Relleno Compactado

<b>RUBRO:</b>		RELLENO COMPACTADO CON MAQUINA Y MATERIAL DE RESPOSICIÓN		<b>UNIDAD</b>	
				<b>m<sup>3</sup></b>	
<b>(M) EQUIPOS</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO /UNIT</b>	
Herramientas manuales (5% M.O.)	0	0	0	0.34	
Compactador mecánico	1	3.75	0.5	1.88	
				<b>PARCIAL (M)</b>	<b>2.22</b>
<b>(N) MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO-HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO/UNIT</b>	
Peón CAT I	1	3.42	1.00	3.42	
Operador de Equipo liviano	1	3.42	1.00	3.42	
				<b>PARCIAL (N)</b>	<b>6.85</b>
<b>(O) MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>	
Material de Mejoramiento	m <sup>3</sup>	1.3	5.833	7.58	
Agua	Lt	30	0.001	0.03	

<b>PARCIAL (O)</b>				<b>7.61</b>
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO UNIT.</b>
-	0	0	0	0
<b>PARCIAL (P)</b>				<b>0</b>

**TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)** 16.68

**TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)** 2.67

**PRECIO CALCULAD EN DOLARES** 19.35

El costo final es de 19.35 centavos.

#### 4.1.2 Rellenos Fluidos

El análisis para rellenos fluidos se ha hecho de acuerdo al aditivo y porcentaje de cemento.

- **Dosificación 1:** relleno fluido con Espumer

**Tabla 11:** Costo Relleno Fluido- “Espumer”

<b>RUBRO:</b>	Rellenos Fluidos – Espumer			<b>UNIDAD</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>(M) EQUIPOS</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO /UNIT</b>	
Concreteira	1	6.25	8.00	0.78	

Herramientas manuales (5% M.O.)		0	0	0	0.11
<b>PARCIAL (M)</b>					<b>0.90</b>
<b>(N) MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO-HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO/UNIT</b>
Peón		2	3.42	3.00	2.28
<b>PARCIAL (N)</b>					<b>2.28</b>
<b>(O) MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
<b>4% de Cemento</b>	Arena	m <sup>3</sup>	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	50	0.14	6.88
	Agua	lt	290	0.001	0.29
	Aditivo	lt	1	2.32	2.32
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>14.23</b>
<b>6% de Cemento</b>	Arena	m <sup>3</sup>	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	73	0.14	10.07
	Agua	lt	300	0.001	0.3
	Aditivo	lt	1	2.32	2.32
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>17.44</b>
<b>8% de Cemento</b>	Arena	m <sup>3</sup>	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	100	0.14	13.76
	Agua	lt	305	0.001	0.31
	Aditivo	lt	1	2.32	2.32
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>21.13</b>

4%	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	17.413
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)	2.786
	PRECIO CALCULAD EN DOLARES	20.20

6%	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	20.615
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)	3.298
	PRECIO CALCULAD EN DOLARES	23.91

8%	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	24.308
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)	3.889
	PRECIO CALCULAD EN DOLARES	28.20

El precio final para la mezcla con 4% de cemento es 20.20, para un 6% de c es de 23.91, para 8% es de 28.20.

• **Dosificación 2:** Mezcla con Espumer + Megamix

**Tabla 12:** Costo Relleno Fluido- “Espumer + Megamix”

<b>RUBRO:</b> Rellenos Fluidos - Espumer + Megamix			<b>UNIDAD</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>(M) EQUIPOS</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO /UNIT</b>
Concreteira	1	6.25	8.00	0.78
Herramientas manuales(5% M.O.)	0	0	0	0.11
<b>PARCIAL (M)</b>				<b>0.78</b>

<b>(N) MANO DE OBRA</b>						
<b>DESCRIPCION</b>		<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO-HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO/UNIT</b>	
Peón		2	3.42	3.00	2.28	
<b>PARCIAL (N)</b>					<b>2.28</b>	
<b>(O) MATERIALES</b>						
<b>DESCRIPCION</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>	
<b>4% de Cemento</b>	Arena	m <sup>3</sup>	0.81	5.83	4.74	
	Cemento	kg	49	0.14	6.71	
	Agua	lt	260	0.001	0.26	
	Aditivo	Espum.	lt	1	2.32	2.32
		Megam.	lt	1	1.23	1.23
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>15.27</b>	
<b>6% de Cemento</b>	Arena	m <sup>3</sup>	0.81	5.83	4.74	
	Cemento	kg	73	0.14	10.07	
	Agua	lt	260	0.001	0.26	
	Aditivo	Espum.	lt	1	2.32	2.32
		Megam.	lt	1	1.23	1.23
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>18.63</b>	
<b>8% de Cemento</b>	Arena	m <sup>3</sup>	0.81	5.83	4.74	
	Cemento	kg	98	0.14	13.43	
	Agua	lt	260	0.001	0.26	
	Aditivo	Espum.	lt	1	2.32	2.32
		Megam.	lt	1	1.23	1.23
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>21.98</b>	

4%	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	18.33
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)	2.93
	PRECIO CALCULAD EN DOLARES	21.27

6%	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	21.69
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)	3.47
	PRECIO CALCULAD EN DOLARES	25.16

8%	TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	25.05
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)	4.01
	PRECIO CALCULAD EN DOLARES	29.06

Para esta dosificación el costo final para 4% de cemento es de 21.27, para 6% de 25.16 y 8% de 29.06.

- **Dosificación 3:** mezcla con aditivo Barracell

**Tabla 13:** Costo Relleno Fluido- “Barracell”

RUBRO:		Rellenos Fluidos - Espumer		UNIDAD	m <sup>3</sup>
<b>(M) EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO HORA	REND. ( m <sup>3</sup> /hr)	COSTO /UNIT	
Concretera	1	6.25	8.00	0.78	
Herramientas manuales(5% M.O.)	0	0	0		
<b>PARCIAL (M)</b>				<b>0.781</b>	

<b>(N) MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO-HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO/UNIT</b>
Peón		2	3.42	3.00	2.28
<b>PARCIAL (N)</b>					<b>2.28</b>
<b>(O) MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
<b>4% de Cemento</b>	Arena	kg	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	49	0.14	6.71
	Agua	lt	220	0.001	0.22
	Aditivo	lt	1.00	3.40	3.40
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>15.08</b>
<b>6% de Cemento</b>	Arena	kg	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	73	0.14	10.07
	Agua	lt	240	0.001	0.24
	Aditivo	lt	1.00	3.40	3.40
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>18.46</b>
<b>8% de Cemento</b>	Arena	kg	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	98	0.14	13.43
	Agua	lt	240	0.001	0.24
	Aditivo	lt	1.20	3.4	4.08
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>22.49</b>

<b>4%</b>	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	18.14
	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)</b>	2.90

	<b>PRECIO CALCULAD EN DOLARES</b>	<b>21.05</b>
<b>6%</b>	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	21.52
	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)</b>	3.44
	<b>PRECIO CALCULAD EN DOLARES</b>	<b>24.96</b>
<b>8%</b>	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	25.56
	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)</b>	4.09
	<b>PRECIO CALCULAD EN DOLARES</b>	<b>29.65</b>

Costo final para 4% de cemento 21.05, para 6% 24.96 y para 8% de cemento 29.65.

- **Dosificación 4:** muestra con aditivo Fill Flow.

**Tabla 14:** Costo Relleno Fluido- “Espumer

<b>RUBRO:</b>	Rellenos Fluidos - Fill Flow			<b>UNIDAD</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
<b>(M) EQUIPOS</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO /UNIT</b>	
Concretetera	1	6.25	8.00	0.78	
Herramientas manuales(5% M.O.)	0	0	0	0.11	
<b>PARCIAL (M)</b>				<b>0.781</b>	
<b>(N) MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO-HORA</b>	<b>REND. ( m<sup>3</sup>/hr)</b>	<b>COSTO/UNIT</b>	

Peón		2	3.42	3.00	2.28
<b>PARCIAL (N)</b>					<b>2.28</b>
<b>(O) MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>		<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>
<b>4% de Cemento</b>	Arena	kg	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	49	0.138	6.71
	Agua	lt	300	0.001	0.3
	Aditivo	lb	1.00	4.5	4.5
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>16.26</b>
<b>6% de Cemento</b>	Arena	kg	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	73	0.14	10.07
	Agua	lt	300	0.001	0.30
	Aditivo	lb	1.00	4.50	4.50
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>19.62</b>
<b>8% de Cemento</b>	Arena	kg	0.81	5.83	4.74
	Cemento	kg	98	0.14	13.43
	Agua	lt	300	0.001	0.30
	Aditivo	lb	1.00	4.50	4.50
<b>PARCIAL (O)</b>					<b>22.97</b>

<b>4%</b>	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	19.32
	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)</b>	3.09
	<b>PRECIO CALCULAD EN DOLARES</b>	<b>22.42</b>

<b>6%</b>	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	22.68
-----------	--	-------

	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)</b>	3.63	
	<b>PRECIO CALCULAD EN DOLARES</b>		<b>26.31</b>
<b>8%</b>	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	26.04	
	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (16%)</b>	4.17	
	<b>PRECIO CALCULAD EN DOLARES</b>		<b>30.20</b>

El costo para el 4% de cemento es de 22.24, para 6% de cemento de 26.31 y para 8% de 30.20.

En el Anexo 5 se presenta el desglose del cálculo de precios unitarios.

Al conocer cada uno de los precios unitarios de las mezclas, se puede observar que la variabilidad de los precios radica en el contenido de cemento y el costo del aditivo. A continuación se hace un análisis para determinar cuál de las dosificaciones es la más rentable según su resistencia y densidad. La tabla 15 es un resumen del costo, la resistencia y densidad de las mezclas.

**Tabla 15:** Resumen de Costos

<b>Aditivo</b>	<b>% Cemento</b>	<b>qu (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Y<sub>A</sub> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Precio \$</b>
<b>Espumer</b>	4	2.99	1.19	20.20
	6	3.61	1.19	23.91
	8	4.72	1.26	28.20
<b>Espumer + Megamix</b>	4	3.45	1.17	21.27
	6	4.97	1.25	25.16
	8	7.01	1.25	29.06

<b>Barracell</b>	4	1.11	0.94	21.05
	6	1.24	0.99	24.96
	8	2.31	1.01	29.65
<b>Fill Flow</b>	4	4.33	1.19	22.42
	6	5.68	1.20	26.31
	8	8.48	1.27	30.20
<b>Compactación</b>	-	1.79	1.51	19.35

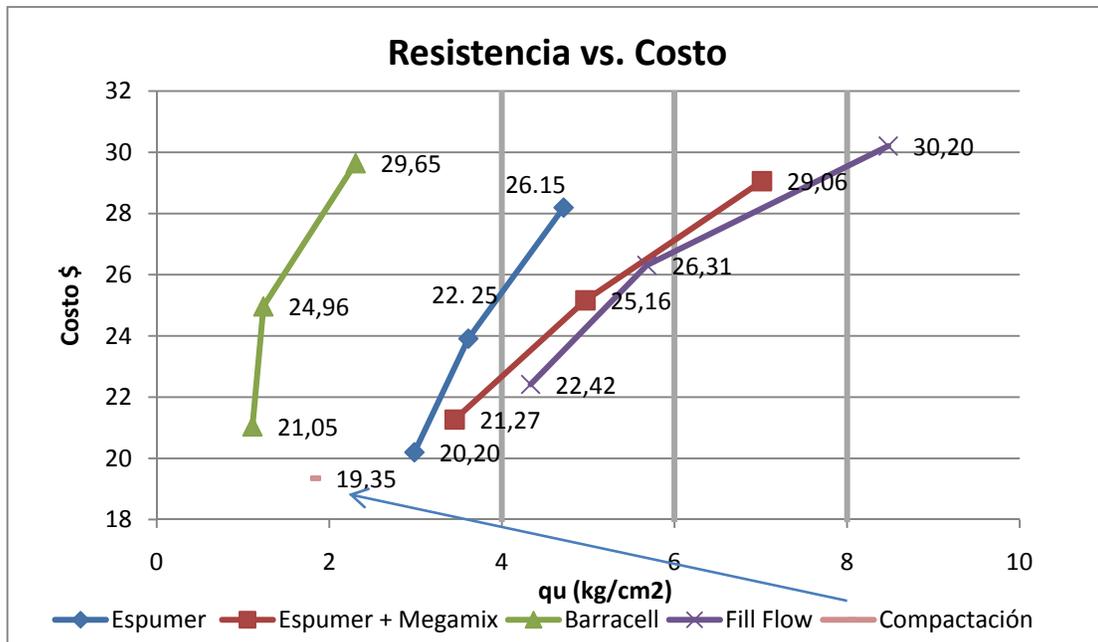
Dependiendo del tipo de proyecto lo que se busca es una resistencia y densidad adecuado para el relleno a utilizar. Estas variables deben satisfacer todas las condiciones pertinentes con un costo adecuado. Para una mejor apreciación, en primer lugar el análisis que se hace es de resistencia versus costo y densidad versus costo de forma aislada. Como segundo análisis se integran las tres variables (costo, resistencia y densidad).

La gráfica 22 muestra la relación de costo versus la resistencia máxima ( $q_u$ ). Es claro que su relación es creciente, a mayor resistencia mayor es el costo. Esto se debe, porque la resistencia es directamente proporcional al contenido de cemento y al aditivo usado.

La mayor resistencia alcanzada es con “Fill Flow”, pero su costo también es mayor. La muestra con “Barracell”, definitivamente no es rentable si se busca un relleno con resistencia baja. Con valores de resistencia entre 6 a 8  $\text{kg/cm}^2$ , la mejor alternativa es usar “Espumer + Megamix.

Un relleno fluido siempre será la mejor opción si se desea alcanzar una resistencia mayor a 3  $\text{kg/cm}^2$ . El costo del relleno fluido comparado con compactación tradicional es mayor, pero no de forma abismal. El aumento de precio que se paga es por la facilidad, comodidad y rapidez de aplicación.

Gráfica 23: Resistencia versus Costo

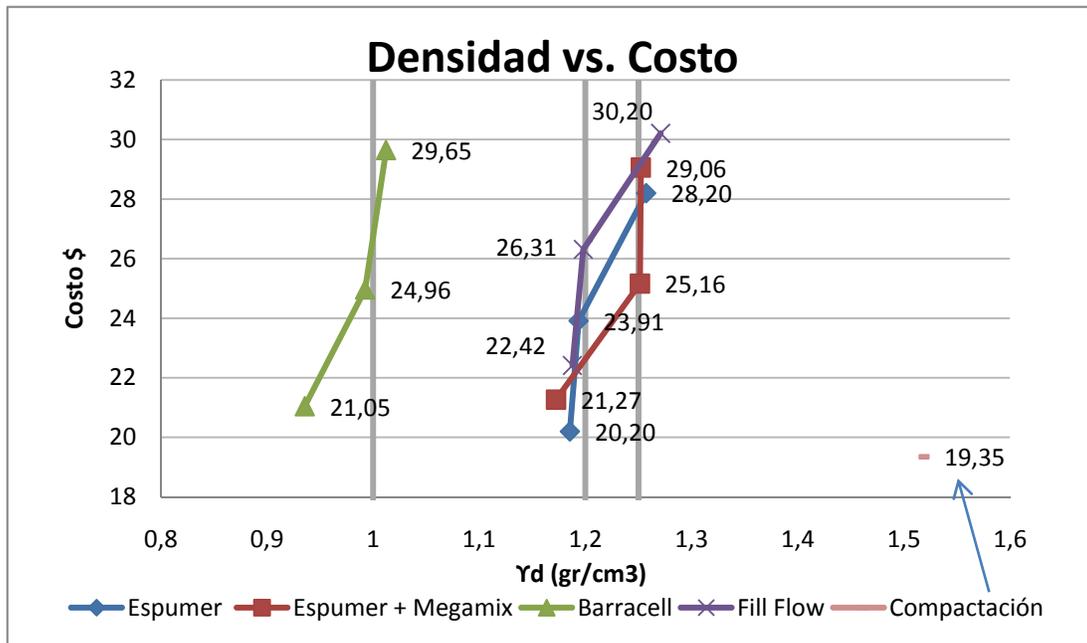


La densidad es una variable que es inversamente proporcional al costo, esto es entendible. Porque un relleno con menor peso debe costar más. La gráfica 23 muestra que una densidad baja implica un mayor costo. La muestra con “Barracell” es una buena opción para un relleno con densidad baja, pero si se desea un costo menor con un incremento de densidad es mejor usar otro aditivo, este puede ser “Espumer” o “Espumer + Megamix”.

Como ya se mencionó, la densidad alcanzada con un relleno de suelo compactado es un 25% mayor que con rellenos fluidos. El precio es un 5% menor. Este aumento de densidad implica un aumento de carga de peso propio del relleno. Este hecho genera un factor que debe ser tomado en cuenta en el análisis del beneficio versus el costo. El aumentar un 25% más en peso puede crear un aumento en el costo del refuerzo de la

estructura donde va a ser utilizado el relleno compactado. Siendo así una mejor opción usar un relleno fluido. Todo depende de las condiciones finales del uso del relleno.

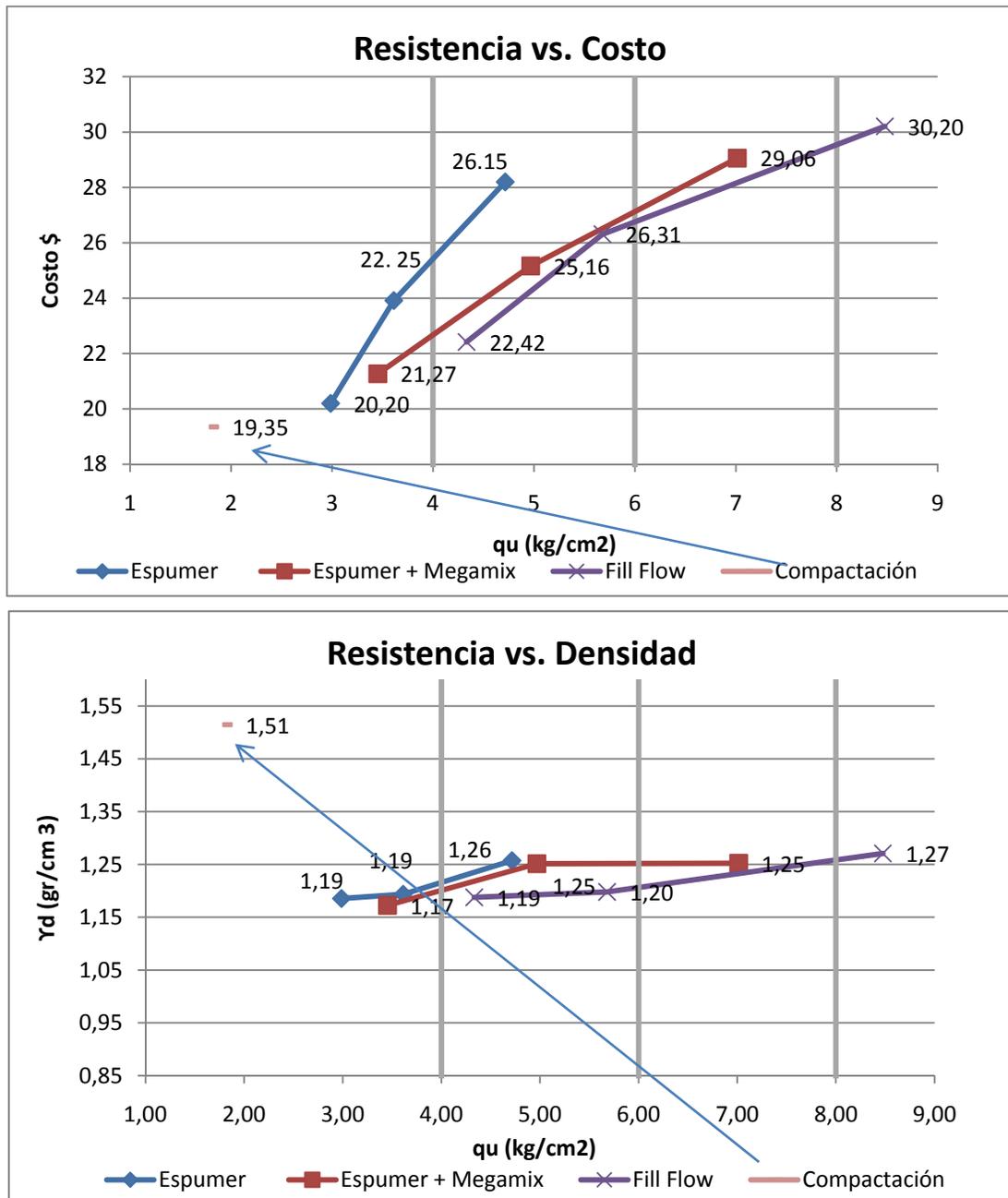
**Gráfica 24:** Densidad versus Costo



El análisis hecho no permite visualizar la relación de las tres variables en un mismo contexto. La gráfica 24 relaciona las variables.

La figura contiene dos gráficas, la primera resistencia versus costo y la segunda resistencia versus densidad. Se nota claramente que la resistencia es la variable independiente en este caso. El parámetro que se desea que cumpla un relleno es, una resistencia adecuada, la menor densidad y el mejor costo. Todo depende del tipo de proyecto y las condiciones a aplicar.

Gráfica 25: Interacción Costo, Resistencia y Densidad.



Es claro que para una resistencia alta, con densidad baja un relleno compactado no es muy beneficioso. En cuanto al costo, la compactación presenta un mejor precio, pero el

beneficio alcanzado disminuye. Así que, para dar determinar cuál de los dos métodos es el mejor todo depende del uso que se le vaya a dar al relleno.

## 4.2 Matrices de evaluación

Las matrices permiten asignar un valor a cada una de las características evaluadas dentro de la mezcla. Lo que da lugar a visualizar de forma numérica, cuales con las características que sobresalen entre la comparación de las muestras. El valor máximo de evaluación en este caso es 1 (siendo el mejor). La muestra que obtenga un valor cercano o igual a 1, al final de su evolución, es la mejor alternativa para ser usada.

Las características evaluadas son las de mayor relevancia como densidad, resistencia, fluidez, retracción de fraguado, tiempo de colocación y el precio. Se dice que son relevantes, porque un material debe cumplir con ellas de manera primordial para que sea utilizado en obra.

Cada uno de los parámetros analizados tiene como valor máximo 1 (máximo valor), este valor se lo asigna, según la característica evaluada, a la muestra que presente la mejor propiedad dentro de todas las muestras a analizar. Los valores que se encuentran por debajo de 1 se los representa como el valor porcentual del cumplimiento máximo. Es decir, si la mezcla 2 obtuvo la menor densidad su valor en la escala es 1; mientras que la muestra 3 tiene como valor 0.50. Esto significa que la mezcla 3 es solo el 50% igual de efectiva que la muestra 2 para el parámetro analizado.

Se marcó con color rojo los valores totales que alcanzan un 0.8 o más, porque este valor indica que la muestra cumple con las necesidades con mayoría de las características

evaluadas. El color morado representa valores que deben ser analizados para su uso. El color azul remarca los valores máximos de las características de las muestras ya elegidas para el análisis. El verde por el contrario resalta los peores valores obtenidos dentro de las muestra. Valores que deben ser evaluados a fondo si se desea utilizar ese producto.

A continuación se presentan 3 diferentes matrices, cada una con un parámetro de resistencia máxima y porcentaje de cemento.

#### 4.2.1 Matriz de evaluación al 4% de cemento:

**Matriz 1:** Muestras al 4% de cemento

4% de Cemento- Resistencia máxima de 4.3 kg/cm <sup>2</sup>				
Mezclas con Aditivos				Compactación
Características de la mezcla	Espumer	Espumer + Magamix	Fill flow	
Densidad	0.79	0.80	0.79	0.62
Resistencia	0.69	0.80	1	0.41
Fluidez	1	1	1	0
Retracción de Fraguado	1	1	1	1
Trabajabilidad	1	1	1	0.2
Tiempo de colocación	1	1	1	0.33
Excavabilidad	0.37	0.32	0.26	0.62
Costo	0.96	0.91	0.86	1.00
<b>Total</b>	<b>0.85</b>	<b>0.85</b>	<b>0.86</b>	<b>0.52</b>

Resistencia  
Baja

Valores a  
Analizar

Revisar según  
el uso

La matriz 1, denota como mejores mezclas las hechas con “Espumer + Megamix” y “Fill Flow”. Las dos tienen un valor total elevado de 0.85 y 0.86 respectivamente. Al término de la evaluación no se debe elegir a simple vista que la muestra con “Fill Flow” es la mejor porque alcanzó un valor total mayor. Lo que permite la matriz es disminuir las alternativas de elección. Al tener las dos, vemos que la muestra con “Espumer + Megamix” alcanza valores desde 0.8 hasta 1 en su valoración de características, dando como resultado la mejor opción para una resistencia máxima de  $4\text{kg/cm}^2$ .

#### 4.2.2 Matriz de evaluación al 6% de cemento:

Matriz 2: Muestras al 6% de cemento

6% de Cemento- Resistencia máxima de $5.68\text{kg/cm}^2$				
Mezclas con Aditivos				Compactación
Características de la mezcla	Espumer	Espumer + Magamix	Fill flow	
Densidad	0.83	0.79	0.83	0.66
Resistencia	0.64	0.87	1.00	0.31
Fluidez	1	1	1	0
Retracción de Fraguado	1	1	1	1
Trabajabilidad	1	1	1	0.2
Tiempo de colocación	1	1	1	0.33
Excavabilidad	0.34	0.25	0.22	0.62
Costo	0.81	0.77	0.74	1.00
<b>Total</b>	<b>0.83</b>	<b>0.84</b>	<b>0.85</b>	<b>0.52</b>

Resistencia Baja

Valores a Analizar

Revisar según el uso

La matriz 2, al igual que la anterior, da como resultado que las muestras con “Espumer + Megamix” y “Fill Flow” son las mejores. Los valores totales son similares entre ambos de 0.92 y 0.93. En cuanto a la evolución de sus características de forma aislada “Fill + Flow” resulta más convenientes, pero centrándonos en el valor de costo la muestra con “Espumer+ Megamix” es más rentable. En este caso todo depende de las características del proyecto. Es claro que para resistencias mayores a  $3\text{kg/cm}^2$ , la compactación no es muy adecuada. La evaluación de sus características de manera aislada permite corroborar lo dicho.

#### 4.2.3 Matriz de evaluación al 8% de cemento:

**Matriz 3:** Muestras al 8% de cemento

<b>8% de Cemento- Resistencia máxima de <math>8.48\text{ kg/cm}^2</math></b>				
<b>Mezclas con Aditivos</b>				<b>Compactación</b>
<b>Características de la mezcla</b>	<b>Espumer</b>	<b>Espumer + Magamix</b>	<b>Fill flow</b>	
<b>Densidad</b>	0.81	0.81	0.80	0.67
<b>Resistencia</b>	0.56	0.83	1.00	0.21
<b>Fluidez</b>	1	1	1	0
<b>Retracción de Fraguado</b>	1	1	1	1
<b>Trabajabilidad</b>	1	1	1	0.2
<b>Tiempo de colocación</b>	1	1	1	0.33
<b>Excavabilidad</b>	0.49	0.33	0.27	1.29

Resistencia  
Baja

<b>Costo</b>	0.69	0.67	0.64	1.00
<b>Total</b>	0.82	0.83	0.84	0.59

AL parecer para cualquier tipo de resistencia vamos a tener como mejores opciones las muestra con “Espumer + Megamix” y “Fill Flow” . La matriz 3 corrobora la afirmación. Los valores totales son de 0.90 y 0.91 respectivamente. La evaluación asilada de cada una de las características permite observar que las dos muestras se encuentran con valores característicos muy equiparables. La muestra con “Fill + Flow” resulta más convenientes en cuanto a resistencia, pero su variación con “Espumer+ Megamix” no es mucha, todo dependerá de la resistencia del proyecto efectuarse. Lo que se debe analizar en este caso es que el costo del material ( marcado en color naranja) no es completamente rentable. Así que, la elección final la tendrá la persona que decida que es más conveniente para el proyecto, el costo o los beneficios totales obtenidos.

En la matriz de evaluación no se tomó en cuenta la mezcla con aditivo “Barracell”, ya que no se obtuvo los resultados esperados, por la falta de conocimiento de la dosificación del mismo.

### 4.3 Conclusiones:

### **4.3.1 Análisis**

1. El estudio de factibilidad presentado en este capítulo se realizó por medio de un análisis sencillo de precios unitarios. Éste tomó en cuenta el costo de materiales, mano de obra y maquinaria para  $1\text{m}^3$  de relleno de suelo compactado y relleno fluido.
2. Los precios de mano de obra se obtuvieron según el requisito de pago del estado. Es decir, tomando en cuenta el precio real de un trabajador para una empresa. La misma que costea pago del IEES, décimo tercero y cuarto sueldo, vacaciones y otro tipo de prestaciones.
3. El costo obtenido para cada una de las muestras (tanto con aditivo y suelo compactado) se graficó versus la resistencia y densidad en gráficas independientes para cada uno.
4. Las matrices de evaluación toman en cuenta varios parámetros para el análisis de las muestras. No estaría bien efectuado un análisis solo de costo, resistencia y densidad. Porque los rellenos fluidos presentan otras características que lo hacen más beneficioso que los rellenos compactados.

### **4.3.2 Costo- Resistencia**

1. Las gráficas de resistencia versus costo permiten establecer que la resistencia es directamente proporcional al costo.
2. En caso que se desee un relleno fluido con mayor resistencia su costo también aumenta.

3. Para una resistencia de  $4 \text{ kg/cm}^2$ , es recomendable usar la mezcla con “Espumer + Megamix”. Ésta no solo tiene gran capacidad de carga, buena densidad, fluidez y trabajabilidad si no también su precio no mucho más costoso que un relleno de suelo compactado.
4. En cuanto a una resistencia de  $6 \text{ kg/cm}^2$ , la muestra con “Fill Flow” es una de las mejor alternativas, pero su costo es problemático. Así que, si es por reducir un poco de resistencia y costo la mezcla con “Espumer + Megamix” es una buena alternativa.
5. Una resistencia de  $8 \text{ kg/cm}^2$  solo se la logra con “Fill Flow” y “Espumer + Megamix”, pero su costo es excesivo. Con este tipo de problemas el encargado del proyecto es el que debe decidir que es más conveniente, material resistente con grandes beneficios o un material menos costoso pero con características no muy adecuadas.
6. Es claro que para resistencias mayores a  $3 \text{ kg/cm}^2$  la compactación de suelo es poco conveniente si se desea una mezcla con densidad adecuada, trabajabilidad, poca erosión etc. Lo que si resulta conveniente es su costo.
7. En el análisis de factibilidad, la resistencia es la variable independiente. Por esa razón en la gráfica 24 se tiene dos gráficas. En las cuales tanto el costo como la densidad dependen de la resistencia. Para la elección de un relleno se determina la mínima resistencia que se desee, la densidad y finalmente el costo.

### **4.3.3 Costo- Densidad**

1. La variación de la densidad es diferente que la de la resistencia, una mezcla con densidad baja su costo es mayor. Esto se debe a que se obtiene un relleno menos pesado.
2. Si lo que se desea es un relleno con poco peso. Lo más acertado es escoger una mezcla con aditivo que es un 20% mas densa que con suelo compactado. No se equipara el 15%

más que cuesta un relleno fluido sobre uno de suelo compactado, si compramos la disminución de costo final en un proyecto, por la disminución del peso del relleno.

#### **4.3.4 Otros**

1. El análisis expuesto permite una visión amplia de beneficios y costos de los dos tipos de tecnología. Para poder aplicar una de estas mezclas en un proyecto real, se debe hacer una evaluación más a fondo de todos los beneficios del relleno fluido ante el relleno compactado y viceversa.
2. El aumento del costo de un relleno fluido con un relleno de suelo compactado, se equipara con la disminución de tiempo, la resistencia final obtenida, la facilidad de su colocación, la auto-nivelación, auto- compactación, el producto puede rellenar lugar de difícil acceso, la seguridad de la resistencia final.

## **CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Este capítulo recoge la información más relevante de todo el análisis expuesto. Tratando que la información expuesta sea asimilada de forma sencilla y compacta, para que se pueda aprovechar todo el estudio de mejor manera.

### **5.1 Conclusiones**

#### **5.1.1 Mezcla**

1. Se utilizaron cuatro diferentes tipos de aditivos y tres porcentajes de cemento (4%, 6% y 8%), dando un total de 15 dosificación.
2. La cantidad de suelo y cemento fue la misma para todas las mezclas, lo que varió fue el contenido de agua.
3. Una de las características del aditivo espumante es que permite el aumento de volumen de la mezcla. El aditivo “Barracell” mostró el mayor porcentaje (20%) en aumento de volumen. Con el resto de aditivos existió aumento, pero no fue muy significativo.

#### **5.1.2 Análisis de precios**

1. El estudio de factibilidad presentado en el capítulo 4, como ya se mencionó se hizo por medio de un análisis de precios unitarios. Éste tomó en cuenta el costo de materiales, mano de obra y maquinaria para  $1\text{m}^3$  de relleno de suelo compactado y relleno fluido.

2. Los precios de mano de obra se obtuvieron según el requisito de pago del estado. Es decir, tomando en cuenta el precio real de un trabajador para una empresa. La misma que costea pago del IEES, décimo tercero y cuarto sueldo, vacaciones y otro tipo de prestaciones.
3. El costo obtenido para cada una de las muestras (tanto con aditivo y suelo compactado) se graficó versus la resistencia y densidad en gráficas independientes para cada uno.
4. Las matrices de evaluación toman en cuenta varios parámetros para el análisis de las muestras. No estaría bien efectuado un análisis solo de costo, resistencia y densidad. Porque los rellenos fluidos presentan otras características que lo hacen más beneficioso que los rellenos compactados.

### 5.1.3 Fluidez y Trabajabilidad:

1. Todas las muestras se realizaron bajo un mismo parámetro de fluidez. Se hizo lo posible en mantener en promedio el revenimiento de la muestra, que fue de 14 a 14.5 cm. Todas las mezclas tenían las misma fluidez o al menos parecida.



**Figura 28:** Fluidez de la muestra

2. La incorporación de aditivos generó mezclas trabajables y homogéneas. Solo la mezcla con el aditivo “Megamix” no adquirió esta consistencia. Esto se debe porque la muestra fue hecha con superplastificante. Este aditivo ocasionó una reducción de agua con materiales segregados que nunca fue homogénea.



**Figura 29:** Mezcla Fluida

(“Espumer”, “Espumer +Megamix”, “Fill Flow”, “Barracel”)



**Figura 30:** Mezcla Fluida ("Megamix")

3. Bajo el parámetro de fluidez no se puede elegir a una de las muestras como la mejor. El parámetro que rige es la resistencia máxima, bajo la mínima densidad y su costo. Todo esto depende de las condiciones en donde se vaya a usar el material.

#### **5.1.4 Porosidad y Permeabilidad**

1. A diferencia de las muestras compactadas las muestras con rellenos fluidos son mucho más porosas lo que permite que sean más permeables. El agua puede atravesar con facilidad los poros del relleno fluido.
2. La porosidad se obtiene por la adición del aditivo.

### 5.1.5 Colocación

1. Las condiciones de vertido de la muestra en los moldes se hizo al volteo. Con esto, se trató de mantener las condiciones de obra en donde no se necesita vibrar a la mezcla.
2. Al colocar la muestra al volteo y ver que no se necesitaba varillar se constató que el material es auto-nivelante.

### 5.1.6 Fraguado

1. Este parámetro se lo midió con gran cautela a los 7, 14 y 28 días.
2. Ninguna de las muestra presentaron retracción.

### 5.1.7 Resistencia

1. Como ya se mencionó la resistencia se la midió para ambos caso con el ensayo de compresión simple de cilindros.
2. Las gráficas permitieron establecer que la resistencia es directamente proporcional al costo, mientras se desee una mayor resistencia el costo aumenta.
3. La resistencia máxima con los ensayos a compresión, se alcanzó con el aditivo “Fil Flow” a los 28 días de curado, con un 8% de cemento. El valor fue de  $8.48 \text{ kg/cm}^3$ . Si este valor se compara con la resistencia de la muestra compactada, el relleno fluido es 4.5 veces mayor.

4. La variación de resistencia entre las muestras con “Espumer”, “Fill Flow” y “Espumer + Megamix”.



**Figura 31:** Rotura de cilindros

5. Las gráficas de resistencia versus costo permiten establecer que la resistencia es directamente proporcional al costo.
6. En caso que se desee un relleno fluido con mayor resistencia su costo también aumenta.
7. En cuanto a relación costo – resistencia, para una resistencia de 4 kg/cm<sup>2</sup>, es recomendable usar la mezcla con “Espumer + Megamix”. Ésta no solo tiene gran capacidad de carga, buena densidad, fluidez y trabajabilidad si no también su precio no mucho más costoso que un relleno de suelo compactado.

8. En cuanto a una resistencia de 6 kg/cm<sup>2</sup>, la muestra con “Fill Flow” es una de las mejor alternativas, pero su costo es problemático. Así que, si es por reducir un poco de resistencia y costo la mezcla con “Espumer + Megamix” es una buena alternativa.
9. Una resistencia de 8 kg/cm<sup>2</sup> solo se la logra con “Fill Flow” y “Espumer + Megamix”, pero su costo es excesivo. Con este tipo de problemas el encargado del proyecto es el que debe decidir que es más conveniente, material resistente con grandes beneficios o un material menos costoso pero con características no muy adecuadas.
10. Es claro que para resistencias mayores a 3 kg/cm<sup>2</sup> la compactación de suelo es poco conveniente si se desea una mezcla con densidad adecuada, trabajabilidad, poca erosión etc. Lo que si resulta conveniente es su costo.
11. En el análisis de factibilidad, la resistencia es la variable independiente. Por esa razón en la gráfica 24 se tiene dos gráficas. En las cuales tanto el costo como la densidad dependen de la resistencia. Para la elección de un relleno se determina la mínima resistencia deseada en conjunto con la densidad y finalmente el costo.

#### **5.1.8 Densidad**

1. Si se toma como patrón de análisis la densidad, no se puede determinar cuál de las muestras es la mejor, ya que la variación entre densidades es casi nula entre las muestras.
2. Sea el caso de disminuir peso muerto del relleno, es obvio que cualquiera de las de dosificación hechas con aditivo es mejor que el relleno compactad. Ya que un relleno fluido con resistencia máxima alcanza una densidad seca de 1.26 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que un relleno de suelo compactado de 1.52 gr/cm<sup>3</sup>.

3. En cuanto al coto- densidad. La variación de la densidad es diferente que la de la resistencia, una mezcla con densidad baja su costo es mayor. Esto se debe a que se obtiene un relleno menos pesado.
4. Si lo que se desea es un relleno con poco peso. Lo más acertado es escoger una mezcla con aditivo que es un 20% mas densa que con suelo compactado. No se equipara el 15% más que cuesta un relleno fluido sobre uno de suelo compactado, si compramos la disminución de costo final en un proyecto, por la disminución del peso del relleno.
5. La muestra con “Barracell” posee la menor densidad. Pero por la falta de ayuda de la empresa Basf se consiguió un material de densidad baja, pero muy erosionable y absorbe la humedad lo que permite que se disminuya su capacidad de carga y puede fallar.

#### **5.1.9 Costo**

1. El aditivo “Fill Flow” es uno de los más costosos, porque se lo debe importar dese Estados Unidos, pero los resultados obtenidos con el mismo son de la mejor calidad.
2. Los aditivos de Adimix, como son “Megamix “ y “Espumer”. Presentaron resultados favorables y además su producción es nacional. Por esta razón su costo es menor. Es una de las mejores alternativas para poder ser usado.
3. Finalmente en el costeo todo depende del tipo de proyecto que se tenga. Porque este marcará la factibilidad de utilizar un nuevo método con grandes beneficios y un precio un poco más elevado.
4. No se debe tomar en cuenta solamente el precio sino la cantidad de beneficios que se obtiene al final, ya que en precio inicial puede variar, pero la reducción de costos al final de la obra es lo que marcará la diferencia.

### **5.1.10 Otras**

1. La energía de compactación del relleno compactado es sustituida por el aditivo químico en rellenos fluidos.
2. Se comprobó que el material es auto-compactante, auto- nivelante y no requiere vibración.
3. Ninguna de las muestras presenta retracción al fraguado, porque la cantidad de cemento es pequeña comparada con su volumen.
4. Antes de seleccionar la muestra más apta, es necesario conocer el precio final de la mezcla y los requerimientos del proyecto en donde se quiere aplicar la técnica.
5. En el análisis de factibilidad la resistencia es la variable independiente, por esa razón en la gráfica 24 se tiene dos gráficas. En las cuales tanto el costo como la densidad dependen de la resistencia.

### **5.2 Recomendaciones**

1. No debe existir preocupación ante la retracción de fraguado, solo en caso de usar un material plástico. La retracción dependerá de la plasticidad del material usado.
2. Es adecuado seguir elaborando pruebas con el aditivo “Barracell” hasta conseguir la dosificación exacta de la cantidad de espuma.
3. Se debe realizar un diseño específico para cada proyecto, según el aditivo a usar y el material.
4. La factibilidad de uso de esta nueva tecnología, deja la puerta abierta para el estudio de los aditivos para alcanzar mayores resistencias.

5. El análisis de beneficio- costo del material para el uso en obra debe tomar en cuenta todos los parámetros necesarios. Es decir, el ahorro en tiempo, maquinaria, la disminución del peso del material. Los rellenos fluidos no deben ser evaluados simplemente por comparación de costo, ya que esto no da valor a todos los beneficios del material ya en obra.
6. No se debe castigar al relleno fluido solo por el costo, sino se debe tomar en cuenta los múltiples beneficios que este presenta de forma global dentro de un proyecto.
7. El análisis expuesto permite una visión amplia de beneficios y costos de los dos tipos de tecnología. Para poder aplicar una de estas mezclas en un proyecto real, se debe hacer una evaluación más a fondo de todos los beneficios del relleno fluido ante el relleno compactado y viceversa.

## Bibliografía

ACI Concrete Knowledge Center. “Technical Questions.” 14 de febrero del 2006.05 de Mayo del 2010. <<http://www.concrete.org/FAQ/afmviewfaq.asp?faqid=5>>

Arquistory. “Meteorización”. 28 de Julio del 2010. <<http://www.arqhys.com/arquitectura/meteorizacion.html>>

ASTM Book of Standars, Volimes 04.09 and 04.02, American Society for testing and Materials, West Conshohocken, PA.

ASTM D 4832 “Standard Test Method for Preparation and Testing of Controlled Low Strength Material (CLSM) Test Cylinders”.

CEMEX Puerto Rico, “Todo lo que busca en un buen concreto”. 20 de febrero del 2010. <<http://www.cemexpuertorico.com>>

Concrete Price. “Concrete Division”. 29 de junio del 2010. <[www.cincinnatiareadymix.com/flowable %20fill2.jpg](http://www.cincinnatiareadymix.com/flowable%20fill2.jpg)>

Controlled Low-Strehgh Materials, W.S Adaska, Concrte International, April 1997, pp.4143, American Concrte Institute. Farmington Hills, MI.

Controlled Low-Strength Materials, ACI229R, American Concrte Institute, Farmington Hills, MI.

Dirección Civil de Proteccion y Energética, “ Daño en edificaciones en caso de terremoms”, 20 febrero del 2010, <[www.proteccioncivil.org/.../gmartin/Image402.jpg](http://www.proteccioncivil.org/.../gmartin/Image402.jpg)>

Equipos para ensaye de Materiales de Construcción. “Proctor Modificado.”23 de febrero del 2010.<[www.elvec.com.mx/pages/suelos.html](http://www.elvec.com.mx/pages/suelos.html)>

Fly Ash Direct. “Services | Flowable Fill” 18 de junio del 2010. <[http://www.flyashdirect.com/img\\_flyash/img\\_flyash\\_internalpg/flowable\\_fill.jpg](http://www.flyashdirect.com/img_flyash/img_flyash_internalpg/flowable_fill.jpg)>

Fritz Pak. “Fill Flow.” Production Bolletin #1. 02 mayo del 2010.

Geotechnical Applications, “Bulkheads & Retaining Walls”, 28 de junio del 2010. <[www.permatill.com/.../Geo%20App%20Picture8.jpg](http://www.permatill.com/.../Geo%20App%20Picture8.jpg)>

Información técnica de la National Ready Mixed Concrete Association. “CIP 17 Rellenos Fluidos”. 04 enero del 2010. <[www.nrmca.org/aboutconcrete](http://www.nrmca.org/aboutconcrete)>

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.Revista Construcción y Tecnología. Abril 2000. “Relleno fluido un material para obras de Infraestructura”. 20 de febrero del 2010. <[www.imcyc.com.mx/.../2000/abril2000/relleno.jpg](http://www.imcyc.com.mx/.../2000/abril2000/relleno.jpg)>

Introducción a la Mecánica de los Suelos y Cimentación. George B. Sowers y George F. Sowers.

Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. Karl Terzagui y Ralph B. Peck.

Mecánica de Suelos. T. William Lambe y Robert V. Whitman.

Mecánica de Suelos. Tomo I. Fundamentos en la Mecánica de Suelos. Juárez Badillo y Rico Rodríguez.

Mecánica de Suelos.“Determinación del Límite Líquido.” 22 de febrero del 2010.<[www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/liquidoM4\\_archivos/image004.gif](http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/liquidoM4_archivos/image004.gif)>

Poliestireno de Sn Luis. “ Productos”. 20 de febrero del 2010. <[www.poliestirenodesanluis.com/images/fotos06.jpg](http://www.poliestirenodesanluis.com/images/fotos06.jpg)>

Recommended Guide Specification for CLSM (Flowable Fill) NRMCA Publication 2FFGS, National Ready MiXED Concrte Association, Silver Spring, MD.

Simas. “Archivos Fotográficos Colector la Joya”. 20 de febrero de 2010. <[www.simastorreon.gob.mx/?P=archivojoya](http://www.simastorreon.gob.mx/?P=archivojoya)>

T. William Lambe. Robert V. Whitman. Mecánica de suelos. Editora Limusa. México. 1997. ISBN 968-18-1894-6

Tecnología del Hormigón, “ Asentamiento del Cono”, 05 de febrero del 2010, <[www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/conoT7](http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/conoT7)>

Tenax. “Caminos, Pavimentos y No Pavimentados”. 20 de febrero del 2010. <[www.tenax.net/geosinteticos/estabilizacion-de-terrenos/geomallas-para-caminos-pavimentados.htm](http://www.tenax.net/geosinteticos/estabilizacion-de-terrenos/geomallas-para-caminos-pavimentados.htm)>

Tenax. “El concreto ideal para cada Necesidad”. 20 de febrero del 2010. <[www.cemexpanama.com/images/co/img\\_fig\\_2.gif](http://www.cemexpanama.com/images/co/img_fig_2.gif)>

Terraplenes. “Uso de Geotectiles en Terraplenes”. 28 Junio del 2010 <[www.cnrt.gov.ar/viayobra/NOTGVO\(V\)%20001%20Fi.](http://www.cnrt.gov.ar/viayobra/NOTGVO(V)%20001%20Fi.)>

Tschebotarioff, Gregory P. “ Mecánica del Suelo: Cimientos y Estructura de Tierra.”, Editoria Aguilar,Cuarta Edición, 1967, Madrid.

Universidad Católica del Norte, Departamento de Construcción Civil. Mecánica de Suelos. 9 de febrero del 2010. <[www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio](http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio)>

## **Anexos**

# ANEXO 1

---

## Análisis del Tipo de Suelo 1

### Muestra

NQI-A Tababela 19-01-10  
Profundidad 1.50m

**Peso Tarro** 11.2 gr.  
**Peso suelo + Tarro** 453.4 gr.  
**Peso Suelo Humedo:** 442.2 gr.  
**Peso Usado en la serie fina:** 442.2 gr.

### Humedad Natural

Capsula Nº	Peso Cápsula Suelo Humedo gr.	Peso Cápsula Suelo Seco gr.	Peso Cápsula	%Humedad
B3	67.4	65.8	16.7	3.258655804
B4	63.9	62.5	16.1	3.017241379

**% de humedad** 3.138 %  
**Peso seco** 428.32 gr

### Análisis Granulométrico

Diámetros mm	Tamiz	Peso Retenido gr.	%Ret	%Pasa
<b>SERIE GRUESA</b>				
76.2	3	0	0	100
50.8	2	0	0	100
38.1	1-(1/2)	0	0	100
25.4	1	0	0.000	100.000
19.05	(3/4)	0	0.000	100.000
9.525	(3/8)	0	0.000	100.000
4.75	Nº4	0	0.000	100.000
	pasa Nº4	0	0.000	100.000
<b>SERIE FINA</b>				
2	10	0.44	0.103	99.897
0.85	20	1.50	0.350	99.547
0.425	40	9.90	2.311	97.338
0.25	60	76.70	17.907	79.782
0.075	200	292.80	68.359	13.734
	pasa 200	381.34	89.031	

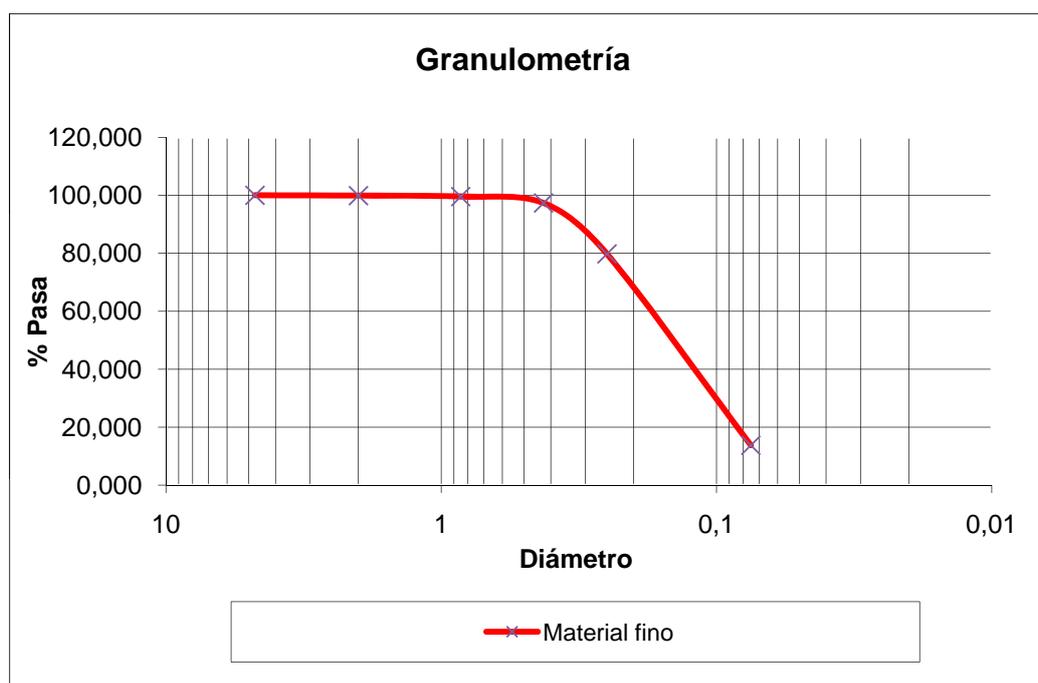
---

---

### Curva Granulométrica

---

---



% Grava	0.000
% Arena	86.266
% Finos	13.734

	<b>mm</b>		
<b>D10</b>	0.07	<b>Cu</b>	2.82
<b>D30</b>	0.12	<b>Cc</b>	1.01
<b>D60</b>	0.20		

**Nota:** La muestra es nada plastica, los limites no se pueden hacer

---

---

### Gravedad Específica

---

---

Peso del tarro	90.26 gr	
Peso del suelo secado al horno	125.6 gr	
Peso del Picnometro + Agua destilada a 20 C		162 gr
Peso del suelo seco		35.34 gr
Peso del picnometro +Suelo Seco		183.74 gr

**Gravedad Especifica (GS)** 2.60 gr

## Análisis del Tipo de Suelo 2

### Muestra

NQI-A Tababela - Laguna de deposito 19-01-10  
Profundidad 12m

**Peso Tarro** 11.2 gr.  
**Peso suelo + Tarro** 400 gr.  
**Peso Suelo Humedo:** 388.8 gr.  
**Peso Usado en la serie fina:** 388.8 gr.

### Humedad Natural

Capsula Nº	Peso Cápsula	Peso Cápsula	Peso Cápsula	%Humedad
	Suelo Humedo gr.	Suelo Seco gr.		
A1	89.2	88	17.9	1.71
A2	92.4	91.4	17.9	1.36

% de humedad 1.54 %

Peso seco 382.83 gr

### Análisis Granulométrico

Diámetros mm	Tamiz	Peso Retenido	%Ret	%Pasa
		gr.		
<b>SERIE GRUESA</b>				
76.2	3	0	0	100
50.8	2	0	0	100
38.1	1-(1/2)	0	0	100
25.4	1	0	0.000	100.000
19.05	(3/4)	0	0.000	100.000
9.525	(3/8)	0	0.000	100.000
4.75	Nº4	0	0.000	100.000
	pasa Nº4	0	0.000	100.000
<b>SERIE FINA</b>				
2	10	0.10	0.026	99.974
0.85	20	1.70	0.444	99.530
0.425	40	10.70	2.795	96.761
0.25	60	47.20	12.329	84.876
0.075	200	243.20	63.527	24.143
	pasa 200	302.90	79.122	

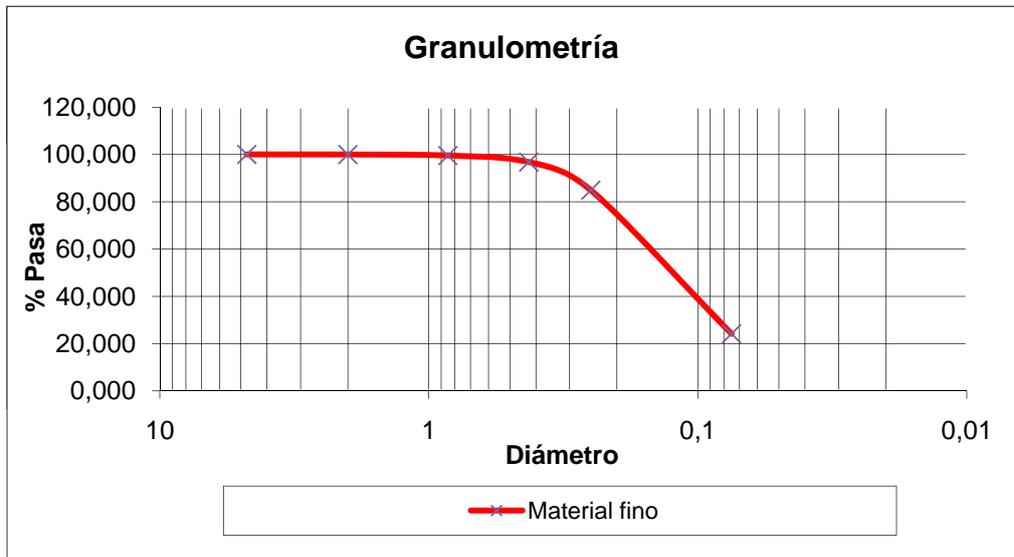
---

---

### Curva Granulométrica

---

---



	<b>mm</b>		
<b>D10</b>	0.07	<b>Cu</b>	2.55
<b>D30</b>	0.09	<b>Cc</b>	0.68
<b>D60</b>	0.18		
<b>% Grava</b>	0.000		
<b>% Arena</b>	75.857		
<b>% Finos</b>	24.143		

**Nota:** La muestra es nada plastica, los limites no se pueden hacer

---

---

### Gravedad Especifica

---

---

Peso del tarro	64.04 gr	
Peso del suelo secado al horno	101.34 gr	
Peso del Picnometro + Agua destilada a 20 C		162.42 gr
Peso del suelo seco		37.3 gr
Peso del picnometro +Suelo Seco		185.23 gr
<b>Gravedad Especifica (GS)</b>	<b>2.57 gr</b>	

### Análisis del Tipo de Suelo 3

**Muestra**

NQI-A Tababela - Stock 19-01-10  
Hangares GR7

**Peso Tarro** 11.2 gr.  
**Peso suelo + Tarro** 360 gr.  
**Peso Suelo Humedo:** 348.8 gr.  
**Peso Usado en la serie fina:** 348.8 gr.

#### Humedad Natural

Capsula Nº	Peso Cápsula	Peso Cápsula	Peso Cápsula	%Humedad
	Suelo Humedo gr.	Suelo Seco gr.		
A4	50.4	45.7	18	16.96750903
A5	57.8	52	17.3	16.71469741

**% de humedad** 16.84 %  
**Peso seco** 290.06 gr

#### Análisis Granulométrico

Diámetros mm	Tamiz	Peso Retenido	%Ret	%Pasa
		gr.		
<b>SERIE GRUESA</b>				
76.2	3	0	0	100
50.8	2	0	0	100
38.1	1-(1/2)	0	0	100
25.4	1	0	0.000	100.000
19.05	(3/4)	0	0.000	100.000
9.525	(3/8)	0	0.000	100.000
4.75	Nº4	0	0.000	100.000
	<b>pasa Nº4</b>	0	0.000	100.000
<b>SERIE FINA</b>				
2	10	24.70	8.516	91.484
0.85	20	36.60	12.618	78.866
0.425	40	51.90	17.893	69.489
0.25	60	67.80	23.375	58.732
0.075	200	105.80	36.475	40.150
	<b>pasa 200</b>	286.80	98.877	

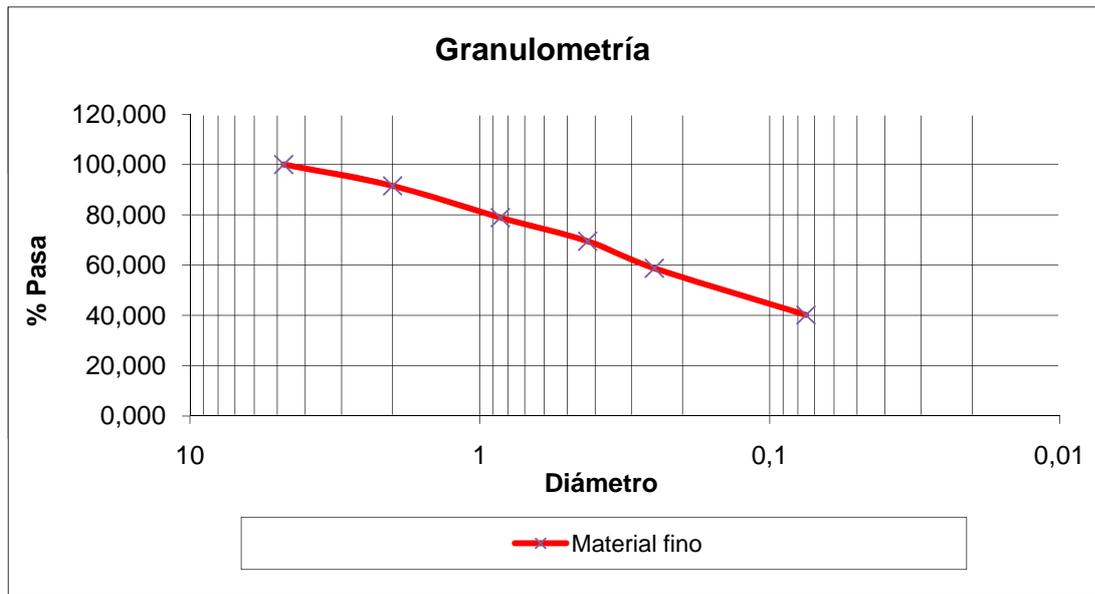
---

---

### Curva Granulométrica

---

---



	<b>mm</b>		
<b>D10</b>	0.07		
<b>D30</b>	-0.02	<b>Cu</b>	3.74
<b>D60</b>	0.26	<b>Cc</b>	0.02
<b>% Grava</b>	0.000		
<b>% Arena</b>	59.850		
<b>% Finos</b>	40.150		

**Nota:** La muestra es nada plastica, los limites no se pueden hacer

---

---

### Gravedad Específica

---

---

Peso del tarro	88.03 gr	
Peso del suelo secado al horno	125.09 gr	
Peso del Picnometro + Agua destilada a 20 C		161.69 gr
Peso del suelo seco		37.06 gr
Peso del picnometro +Suelo Seco		184.42 gr
<b>Gravedad Especifica (GS)</b>	<b>2.59</b> gr	

## Análisis del Tipo de Suelo 4

### Muestra

NQI-A Tababela 19-01-10  
 Area de Corte GC3- Vía Perimetral 12m

**Peso Tarro** 11.2 gr.  
**Peso suelo + Tarro** 389 gr.  
**Peso Suelo Humedo:** 377.8 gr.  
**Peso Usado en la serie fina:** 377.8 gr.

### Humedad Natural

Capsula Nº	Peso Cápsula	Peso Cápsula	Peso Cápsula	%Humedad
	Suelo Humedo gr.	Suelo Seco gr.		
B1	41.8	41.5	17.9	1.2712
B2	37.5	37.1	18	2.0942

**% de humedad** 1.68 %  
**Peso seco** 371.44 gr

### Análisis Granulométrico

Diámetros mm	Tamiz	Peso Retenido	%Ret	%Pasa
		gr.		
<b>SERIE GRUESA</b>				
76.2	3	0	0	100
50.8	2	0	0	100
38.1	1-(1/2)	0	0	100
25.4	1	0	0.000	100.000
19.05	(3/4)	0	0.000	100.000
9.525	(3/8)	0	0.000	100.000
4.75	Nº4	0	0.000	100.000
	<b>pasa Nº4</b>	0	0.000	100.000
<b>SERIE FINA</b>				
2	10	17.80	4.792	95.208
0.85	20	46.40	12.492	87.508
0.425	40	68.80	18.522	81.478
0.25	60	193.70	52.148	47.852
0.075	200	245.30	66.040	33.960
	<b>pasa 200</b>	200.56	53.994	

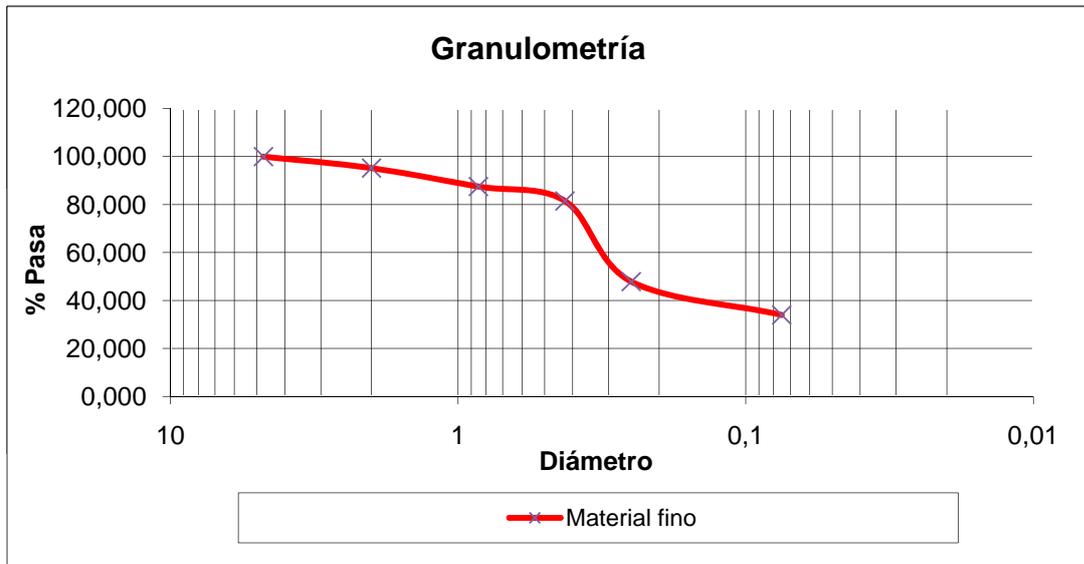
---

---

### Curva Granulométrica

---

---



	<b>mm</b>		
<b>D10</b>	0.07	<b>Cu</b>	-46.55
<b>D30</b>	0.03	<b>Cc</b>	0.00
<b>D60</b>	-3.26		
<b>% Grava</b>	0.000		
<b>% Arena</b>	66.040		
<b>% Finos</b>	33.960		

**Nota:** La muestra es nada plastica, los limites no se pueden hacer

---

---

### Gravedad Especifica

---

---

Peso del tarro	89.17 gr	
Peso del suelo secado al horno	117.48 gr	
Peso del Picnometro + Agua destilada a 20 C		162.92 gr
Peso del suelo seco		28.31 gr
Peso del picnometro +Suelo Seco		179.73 gr
<b>Gravedad Especifica (GS)</b>	<b>2.46</b> gr	

## ANEXO 2

---

**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO**  
**NORMA ASTM D1557-02**

**CLIENTE:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**PROYECTO:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**UBICACIÓN:** NQI-A Tababela-Laguna de deposito 1.5m  
**FECHA:** 22-mar-10

**SONDEO:** 0.00  
**MUESTRA:** Aereopuerto  
**PROF.:** Superficial m  
**OPERADOR:** C.R.

**DATOS DEL ENSAYO:**  
**PROCEDIMIENTO:** A **PREPARACIÓN:** HÚMEDA  
**GOLPES/CAPA:** 25 **No. DE CAPAS:** 5  
**PESO MARTILLO (kg):** 4.54 **ALT. DE CAIDA (cm):** 45.72

**GRAVEDAD ESPECÍFICA:** 2.25 **DATO:** Asumido  
**DESCRIPCIÓN:** Arena Limosa

**CLASIFICACIÓN SUCS:** SM  
**PASA No. 4 (%):** 69.0% **HUMEDAD NATURAL:** 15.84%

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIAMETRO (cm):** 10.16 **MOLDE #:** 8  
**PESO (g):** 4,337 **VOL. (cm³):** 943.00

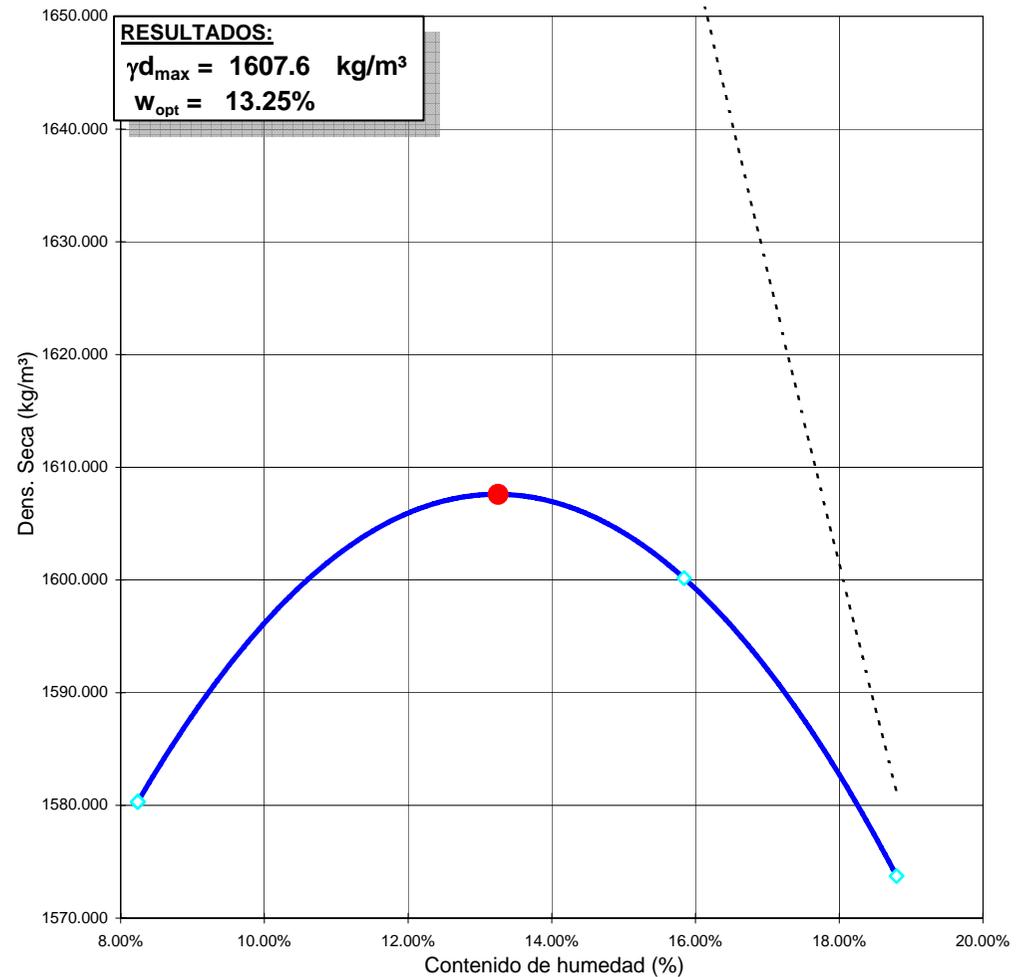
<b>DATOS PARA LA CURVA</b>			
PUNTO	1	2	3
Peso Compactado (g)	5,950		5,950

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
Peso Húmedo (g)	82.20	79.20	
Peso Seco (g)	77.70	74.20	
Peso Tarro (g)	18.20	18.10	
w (%)	7.56%	8.91%	
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>8.24%</b>		
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,710.50</b>		
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,580.31</b>		

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
PUNTO	4	5		
Peso Compactado (g)	6,085	6,100		
Peso Húmedo (g)	80.80	82.10	90.70	97.80
Peso Seco (g)	72.20	73.40	79.20	85.20
Peso Tarro (g)	17.80	18.60	17.90	18.30
w (%)	15.81%	15.88%	18.76%	18.83%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>15.84%</b>		<b>18.80%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,853.66</b>		<b>1,869.57</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,600.16</b>		<b>1,573.75</b>	

**FIRMA RESPONSABLE:** CARLOS ROSALES

**CURVA DE COMPACTACION**



**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO**  
**NORMA ASTM D1557-02**

**CLIENTE:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**PROYECTO:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**UBICACIÓN:** NQI-A Tababela-Laguna de deposito 1.5m  
**FECHA:** 22-mar-10

**SONDEO:** 0.00  
**MUESTRA:** Aereopuerto  
**PROF.:** Superficial m  
**OPERADOR:** C.R.

**DATOS DEL ENSAYO:**  
**PROCEDIMIENTO:** A **PREPARACIÓN:** HÚMEDA  
**GOLPES/CAPA:** 25 **No. DE CAPAS:** 5  
**PESO MARTILLO (kg):** 4.54 **ALT. DE CAIDA (cm):** 45.72

**GRAVEDAD ESPECÍFICA:** 2.30 **DATO:** Asumido  
**DESCRIPCIÓN:** Arena Limosa

**CLASIFICACIÓN SUCS:** SM  
**PASA No. 4 (%):** 69.0% **HUMEDAD NATURAL:** 15.84%

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIAMETRO (cm):** 10.16 **MOLDE #:** 8  
**PESO (g):** 4,337 **VOL. (cm³):** 943.00

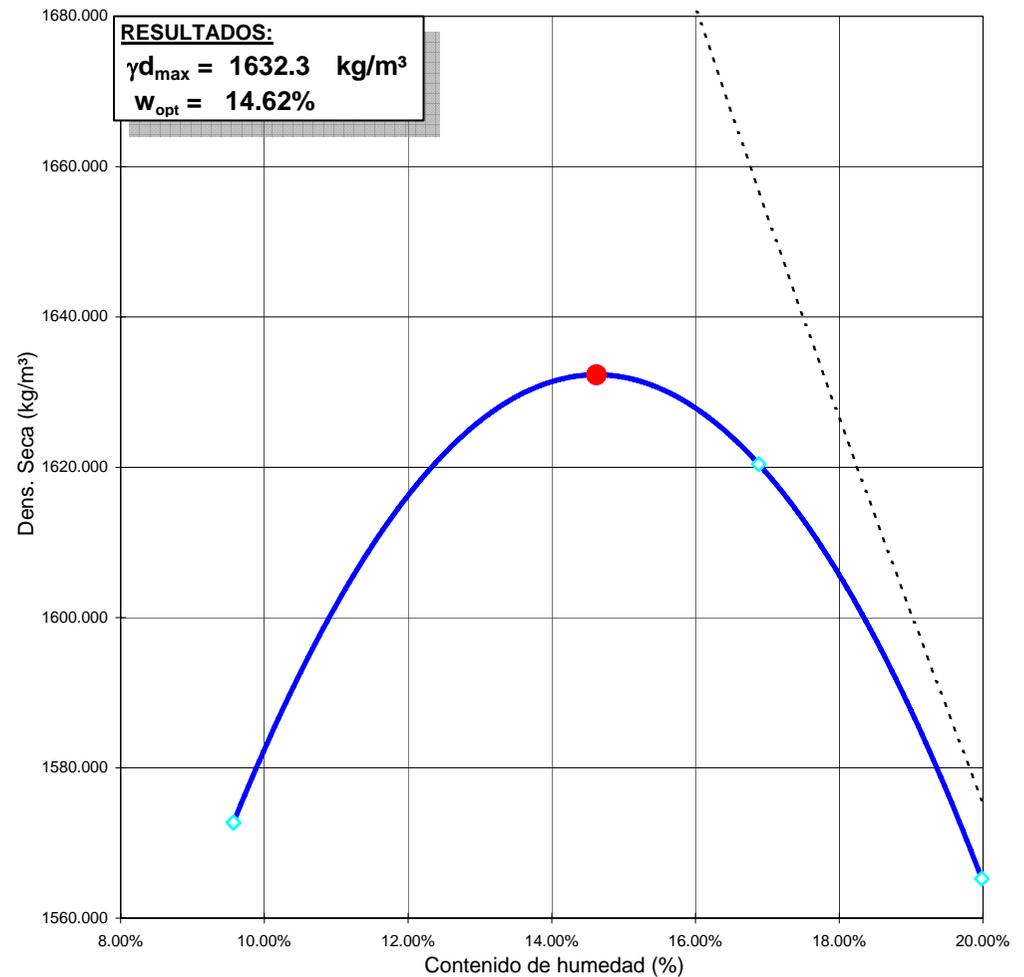
<b>DATOS PARA LA CURVA</b>			
<b>PUNTO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Peso Compactado (g)</b>	5,962		5,900

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
<b>Peso Húmedo (g)</b>	79.70	83.00	
<b>Peso Seco (g)</b>	74.30	77.30	
<b>Peso Tarro (g)</b>	18.00	17.60	
<b>w (%)</b>	9.59%	9.55%	
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>9.57%</b>		
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,723.22</b>		
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,572.72</b>		

<b>PUNTO</b>	<b>4</b>	<b>5</b>		
<b>Peso Compactado (g)</b>	6,123	6,108		
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
<b>Peso Húmedo (g)</b>	88.20	81.90	92.30	96.70
<b>Peso Seco (g)</b>	78.20	72.60	79.80	83.70
<b>Peso Tarro (g)</b>	18.20	18.20	17.30	18.60
<b>w (%)</b>	16.67%	17.10%	20.00%	19.97%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>16.88%</b>		<b>19.98%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,893.96</b>		<b>1,878.05</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,620.41</b>		<b>1,565.24</b>	

**FIRMA RESPONSABLE:** CARLOS ROSALES

**CURVA DE COMPACTACION**



**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO**  
**NORMA ASTM D1557-02**

**CLIENTE:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**PROYECTO:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**UBICACIÓN:** NQI-A Tababela-Laguna de deposito 1.5m  
**FECHA:** 22-mar-10

**SONDEO:** 0.00  
**MUESTRA:** Aereopuerto  
**PROF.:** Superficial m  
**OPERADOR:** C.R.

**DATOS DEL ENSAYO:**  
**PROCEDIMIENTO:** A **PREPARACIÓN:** HÚMEDA  
**GOLPES/CAPA:** 25 **No. DE CAPAS:** 5  
**PESO MARTILLO (kg):** 4.54 **ALT. DE CAIDA (cm):** 45.72

**GRAVEDAD ESPECÍFICA:** 2.31 **DATO:** Asumido  
**DESCRIPCIÓN:** Arena Limosa

**CLASIFICACIÓN SUCS:** SM  
**PASA No. 4 (%):** 69.0% **HUMEDAD NATURAL:** 15.84%

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIAMETRO (cm):** 10.16 **MOLDE #:** 8  
**PESO (g):** 4,337 **VOL. (cm³):** 943.00

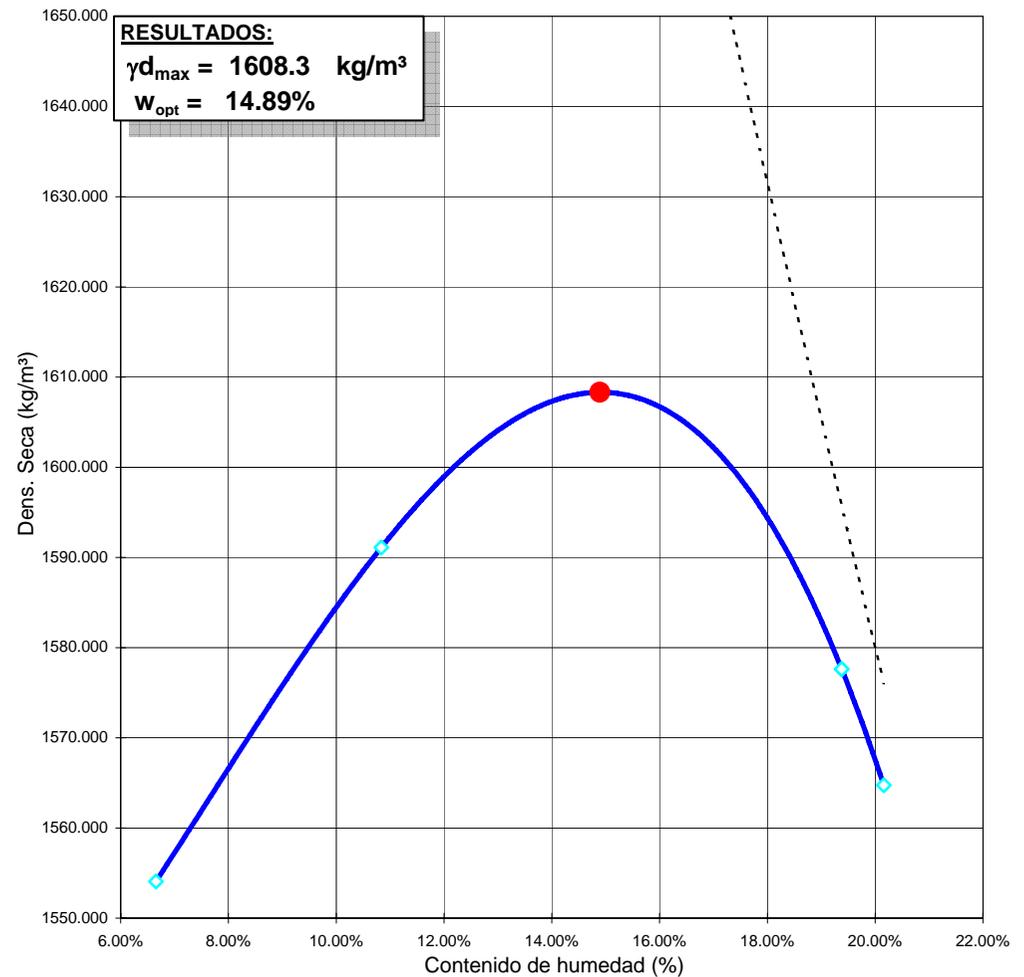
<b>DATOS PARA LA CURVA</b>			
PUNTO	1	2	3
Peso Compactado (g)	5,900	6,000	6,110

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
Peso Húmedo (g)	74.90	85.60	81.80	73.30	89.80	86.10
Peso Seco (g)	71.30	81.40	75.50	67.90	80.40	72.40
Peso Tarro (g)	17.10	18.40	17.90	17.60	18.10	18.10
w (%)	6.64%	6.67%	10.94%	10.74%	15.09%	25.23%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>6.65%</b>		<b>10.84%</b>		<b>20.16%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,657.48</b>		<b>1,763.52</b>		<b>1,880.17</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,554.06</b>		<b>1,591.10</b>		<b>1,564.73</b>	

PUNTO	4	5
Peso Compactado (g)	6,113	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
Peso Húmedo (g)	91.50	81.80
Peso Seco (g)	79.60	71.30
Peso Tarro (g)	18.10	17.20
w (%)	19.35%	19.41%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>19.38%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,883.35</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,577.62</b>	

**FIRMA RESPONSABLE:** CARLOS ROSALES

**CURVA DE COMPACTACION**



**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO**  
**NORMA ASTM D1557-02**

**CLIENTE:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**PROYECTO:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**UBICACIÓN:** NQI-A Tababela-Laguna de deposito 1.5m  
**FECHA:** 22-mar-10

**SONDEO:** 0.00  
**MUESTRA:** Aereopuerto  
**PROF.:** Superficial m  
**OPERADOR:** C.R.

**DATOS DEL ENSAYO:**  
**PROCEDIMIENTO:** A **PREPARACIÓN:** HÚMEDA  
**GOLPES/CAPA:** 25 **No. DE CAPAS:** 5  
**PESO MARTILLO (kg):** 4.54 **ALT. DE CAIDA (cm):** 45.72

**GRAVEDAD ESPECÍFICA:** 2.26 **DATO:** Asumido  
**DESCRIPCIÓN:** Arena Limosa

**CLASIFICACIÓN SUCS:** SM  
**PASA No. 4 (%):** 69.0% **HUMEDAD NATURAL:** 15.84%

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIAMETRO (cm):** 10.16 **MOLDE #:** 8  
**PESO (g):** 3,856 **VOL. (cm³):** 943.00

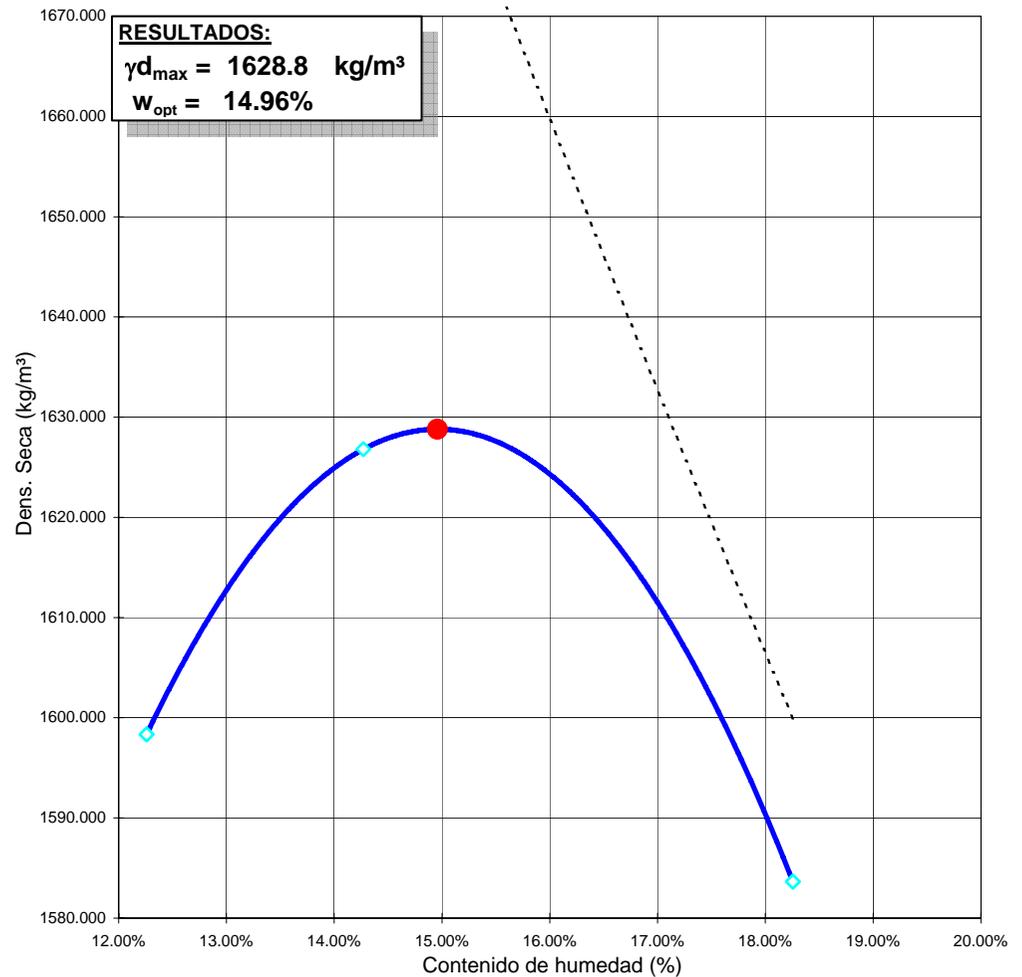
<b>DATOS PARA LA CURVA</b>			
PUNTO	1	2	3
Peso Compactado (g)	5,548		5,609

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
Peso Húmedo (g)	63.50	56.40	72.30	72.90
Peso Seco (g)	58.60	52.20	65.60	66.00
Peso Tarro (g)	18.20	18.30	17.90	18.40
w (%)	12.13%	12.39%	14.05%	14.50%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>12.26%</b>		<b>14.27%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,794.27</b>		<b>1,858.96</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,598.33</b>		<b>1,626.80</b>	

PUNTO	4	5
Peso Compactado (g)	5,622	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
Peso Húmedo (g)	72.70	66.70
Peso Seco (g)	64.40	59.20
Peso Tarro (g)	18.50	18.50
w (%)	18.08%	18.43%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>18.26%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,872.75</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,583.65</b>	

**FIRMA RESPONSABLE:** CARLOS ROSALES

**CURVA DE COMPACTACION**



**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO**  
**NORMA ASTM D1557-02**

**CLIENTE:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**PROYECTO:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**UBICACIÓN:** NQI-A Tababela-Laguna de deposito 1.5m  
**FECHA:** 22-mar-10

**SONDEO:** 0.00  
**MUESTRA:** Aereopuerto  
**PROF.:** Superficial m  
**OPERADOR:** C.R.

**DATOS DEL ENSAYO:**  
**PROCEDIMIENTO:** A **PREPARACIÓN:** HÚMEDA  
**GOLPES/CAPA:** 25 **No. DE CAPAS:** 5  
**PESO MARTILLO (kg):** 4.54 **ALT. DE CAIDA (cm):** 45.72

**GRAVEDAD ESPECÍFICA:** 2.28 **DATO:** Asumido  
**DESCRIPCIÓN:** Arena Limosa

**CLASIFICACIÓN SUCS:** SM  
**PASA No. 4 (%):** 69.0% **HUMEDAD NATURAL:** 15.84%

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIAMETRO (cm):** 10.16 **MOLDE #:** 8  
**PESO (g):** 3,856 **VOL. (cm³):** 943.00

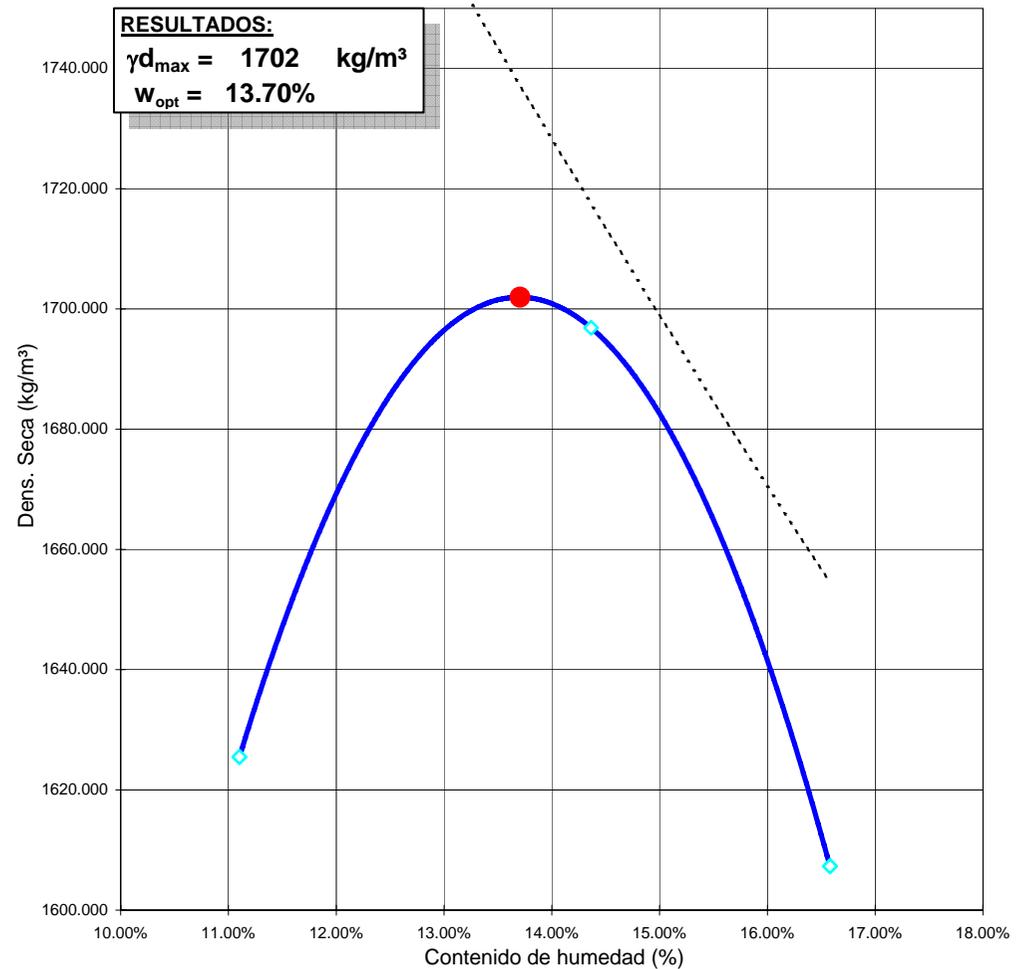
<b>DATOS PARA LA CURVA</b>			
PUNTO	1	2	3
Peso Compactado (g)	5,559		5,686

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
Peso Húmedo (g)	61.60	46.80	53.60	44.60
Peso Seco (g)	57.40	43.90	49.00	41.40
Peso Tarro (g)	18.30	18.60	18.20	18.20
w (%)	10.74%	11.46%	14.94%	13.79%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>11.10%</b>		<b>14.36%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,805.94</b>		<b>1,940.62</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,625.48</b>		<b>1,696.87</b>	

PUNTO	4	5
Peso Compactado (g)	5,623	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
Peso Húmedo (g)	61.30	68.00
Peso Seco (g)	55.10	61.00
Peso Tarro (g)	18.70	17.60
w (%)	17.03%	16.13%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>16.58%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,873.81</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,607.30</b>	

**FIRMA RESPONSABLE:** CARLOS ROSALES

**CURVA DE COMPACTACION**



**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO**  
**NORMA ASTM D1557-02**

**CLIENTE:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**PROYECTO:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**UBICACIÓN:** NQI-A Tababela-Laguna de deposito 1.5m  
**FECHA:** 22-mar-10

**SONDEO:** 0.00  
**MUESTRA:** Aereopuerto  
**PROF.:** Superficial m  
**OPERADOR:** C.R.

**DATOS DEL ENSAYO:**  
**PROCEDIMIENTO:** A **PREPARACIÓN:** HÚMEDA  
**GOLPES/CAPA:** 25 **No. DE CAPAS:** 5  
**PESO MARTILLO (kg):** 4.54 **ALT. DE CAIDA (cm):** 45.72

**GRAVEDAD ESPECÍFICA:** 2.13 **DATO:** Asumido  
**DESCRIPCIÓN:** Arena Limosa

**CLASIFICACIÓN SUCS:** SM  
**PASA No. 4 (%):** 69.0% **HUMEDAD NATURAL:** 15.84%

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIAMETRO (cm):** 10.16 **MOLDE #:** 8  
**PESO (g):** 3,796 **VOL. (cm³):** 956.00

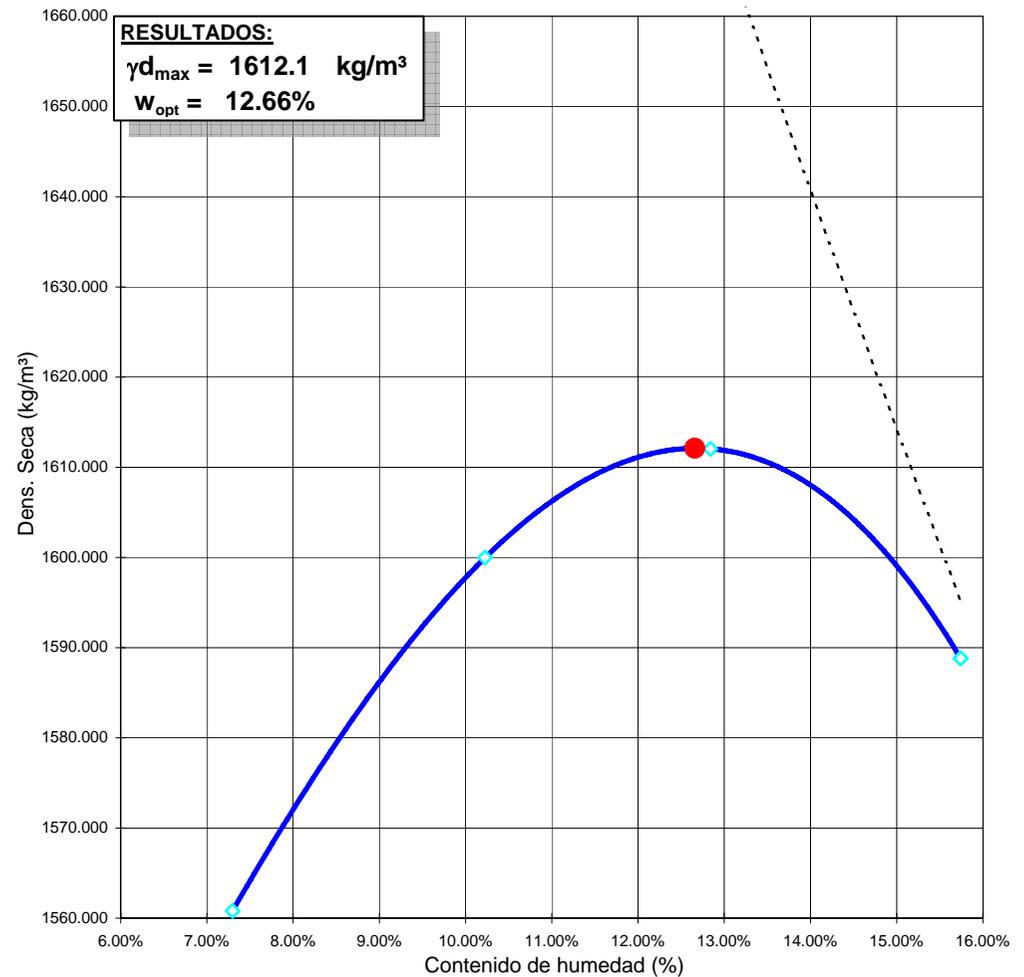
<b>DATOS PARA LA CURVA</b>			
PUNTO	1	2	3
Peso Compactado (g)	5,397	5,482	5,535

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
Peso Húmedo (g)	63.40	71.75	84.11	79.74	67.15	79.02
Peso Seco (g)	59.64	67.45	77.05	73.15	60.45	70.97
Peso Tarro (g)	8.13	8.50	8.11	8.62	7.97	8.63
w (%)	7.30%	7.29%	10.24%	10.21%	12.77%	12.91%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>7.30%</b>		<b>10.23%</b>		<b>12.84%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,674.69</b>		<b>1,763.60</b>		<b>1,819.04</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,560.80</b>		<b>1,599.98</b>		<b>1,612.05</b>	

PUNTO	4	5
Peso Compactado (g)	5,554	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
Peso Húmedo (g)	74.41	75.55
Peso Seco (g)	65.37	66.44
Peso Tarro (g)	8.24	8.26
w (%)	15.82%	15.66%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>15.74%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,838.91</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,588.82</b>	

**FIRMA RESPONSABLE:** CARLOS ROSALES

**CURVA DE COMPACTACION**



**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO**  
**NORMA ASTM D1557-02**

**CLIENTE:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**PROYECTO:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**UBICACIÓN:** NQI-A Tababela-Laguna de deposito 1.5m  
**FECHA:** 22-mar-10

**SONDEO:** 0.00  
**MUESTRA:** Aereopuerto  
**PROF.:** Superficial m  
**OPERADOR:** C.R.

**DATOS DEL ENSAYO:**  
**PROCEDIMIENTO:** A **PREPARACIÓN:** HÚMEDA  
**GOLPES/CAPA:** 25 **No. DE CAPAS:** 5  
**PESO MARTILLO (kg):** 4.54 **ALT. DE CAIDA (cm):** 45.72

**GRAVEDAD ESPECÍFICA:** 2.45 **DATO:** Asumido  
**DESCRIPCIÓN:** Arena Limosa

**CLASIFICACIÓN SUCS:** SM  
**PASA No. 4 (%):** 69.0% **HUMEDAD NATURAL:** 15.84%

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIAMETRO (cm):** 10.16 **MOLDE #:** 8  
**PESO (g):** 3,796 **VOL. (cm³):** 956.00

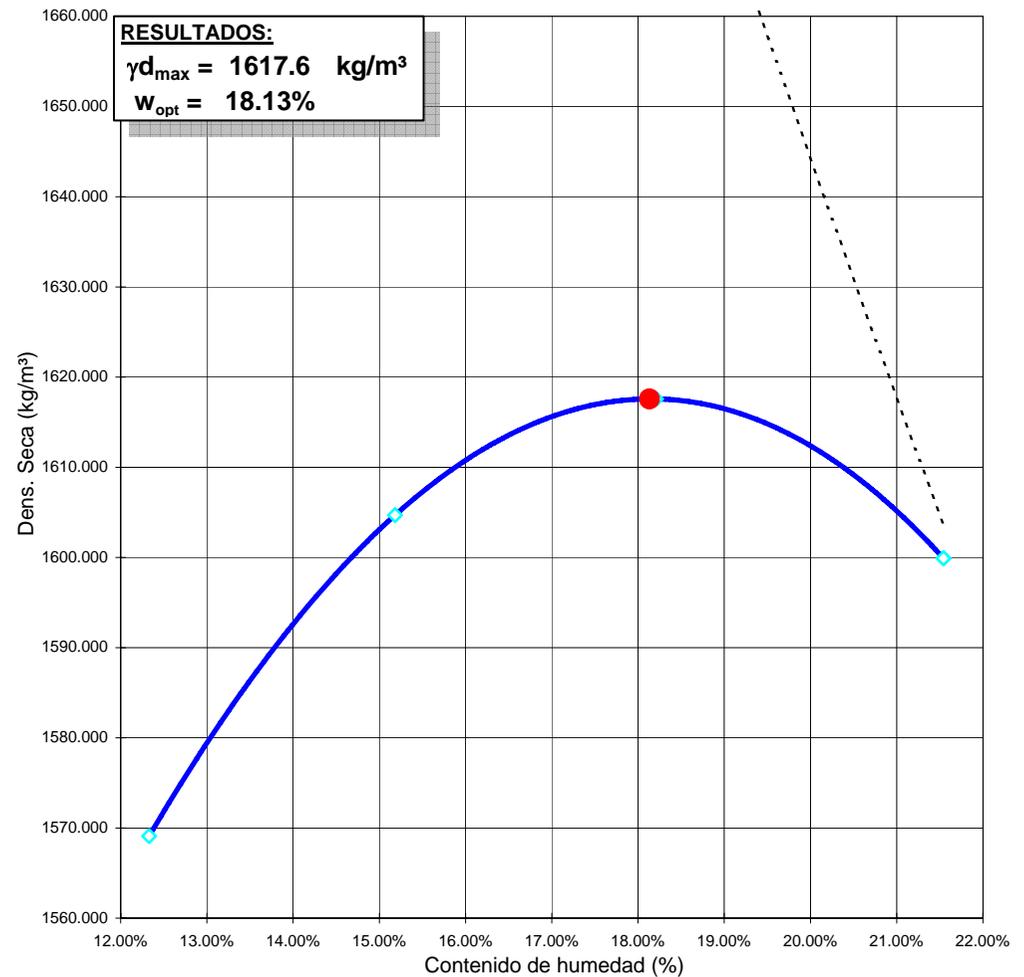
<b>DATOS PARA LA CURVA</b>			
PUNTO	1	2	3
Peso Compactado (g)	5,481	5,563	5,624

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
Peso Húmedo (g)	77.45	74.21	66.98	86.25	75.24	68.07
Peso Seco (g)	69.96	66.86	59.21	75.96	65.03	58.82
Peso Tarro (g)	8.13	8.27	7.96	8.28	8.63	8.32
w (%)	12.11%	12.54%	15.16%	15.20%	18.10%	18.32%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>12.33%</b>		<b>15.18%</b>		<b>18.21%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,762.55</b>		<b>1,848.33</b>		<b>1,912.13</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,569.09</b>		<b>1,604.69</b>		<b>1,617.58</b>	

PUNTO	4	5
Peso Compactado (g)	5,655	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
Peso Húmedo (g)	91.34	98.36
Peso Seco (g)	76.45	82.55
Peso Tarro (g)	8.12	8.30
w (%)	21.79%	21.29%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>21.54%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,944.56</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,599.91</b>	

**FIRMA RESPONSABLE:** CARLOS ROSALES

**CURVA DE COMPACTACION**



**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO**  
**NORMA ASTM D1557-02**

**CLIENTE:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**PROYECTO:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**UBICACIÓN:** NQI-A Tababela-Laguna de deposito 1.5m  
**FECHA:** 22-mar-10

**SONDEO:** 0.00  
**MUESTRA:** Aereopuerto  
**PROF.:** Superficial m  
**OPERADOR:** C.R.

**DATOS DEL ENSAYO:**  
**PROCEDIMIENTO:** A **PREPARACIÓN:** HÚMEDA  
**GOLPES/CAPA:** 25 **No. DE CAPAS:** 5  
**PESO MARTILLO (kg):** 4.54 **ALT. DE CAIDA (cm):** 45.72

**GRAVEDAD ESPECÍFICA:** 2.45 **DATO:** Asumido  
**DESCRIPCIÓN:** Arena Limosa

**CLASIFICACIÓN SUCS:** SM  
**PASA No. 4 (%):** 69.0% **HUMEDAD NATURAL:** 15.84%

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIAMETRO (cm):** 10.16 **MOLDE #:** 8  
**PESO (g):** 3,796 **VOL. (cm³):** 956.00

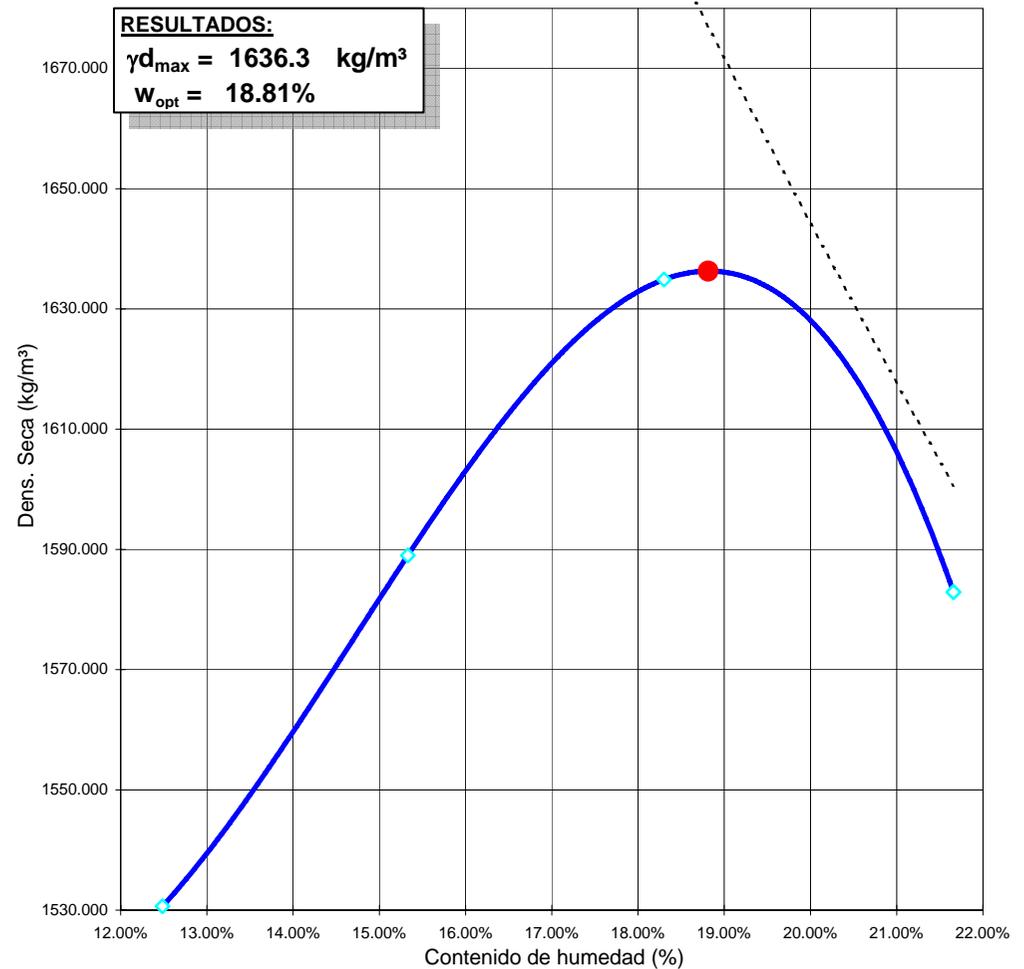
<b>DATOS PARA LA CURVA</b>							
<b>PUNTO</b>		<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
Peso Compactado (g)		5,442		5,548		5,645	

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
Peso Húmedo (g)	67.97	74.06	67.37	60.56	84.63	66.48
Peso Seco (g)	61.50	66.95	59.37	53.69	72.78	57.42
Peso Tarro (g)	7.56	12.16	8.01	8.15	8.18	7.80
w (%)	11.99%	12.98%	15.58%	15.09%	18.34%	18.26%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>12.49%</b>		<b>15.33%</b>		<b>18.30%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,721.76</b>		<b>1,832.64</b>		<b>1,934.10</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,530.64</b>		<b>1,589.02</b>		<b>1,634.89</b>	

<b>PUNTO</b>		<b>4</b>		<b>5</b>	
Peso Compactado (g)		5,637			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
Peso Húmedo (g)	90.99	87.16			
Peso Seco (g)	76.31	73.03			
Peso Tarro (g)	7.98	8.31			
w (%)	21.48%	21.83%			
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>21.66%</b>				
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,925.73</b>				
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,582.90</b>				

**FIRMA RESPONSABLE:** CARLOS ROSALES

**CURVA DE COMPACTACION**



**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO**  
**NORMA ASTM D1557-02**

**CLIENTE:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**PROYECTO:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**UBICACIÓN:** NQI-A Tababela-Laguna de deposito 1.5m  
**FECHA:** 22-mar-10

**SONDEO:** 0.00  
**MUESTRA:** Aereopuerto  
**PROF.:** Superficial m  
**OPERADOR:** C.R.

**DATOS DEL ENSAYO:**  
**PROCEDIMIENTO:** A **PREPARACIÓN:** HÚMEDA  
**GOLPES/CAPA:** 25 **No. DE CAPAS:** 5  
**PESO MARTILLO (kg):** 4.54 **ALT. DE CAIDA (cm):** 45.72

**GRAVEDAD ESPECÍFICA:** 2.40 **DATO:** Asumido  
**DESCRIPCIÓN:** Arena Limosa

**CLASIFICACIÓN SUCS:** SM  
**PASA No. 4 (%):** 69.0% **HUMEDAD NATURAL:** 15.84%

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIAMETRO (cm):** 10.16 **MOLDE #:** 8  
**PESO (g):** 3,796 **VOL. (cm³):** 956.00

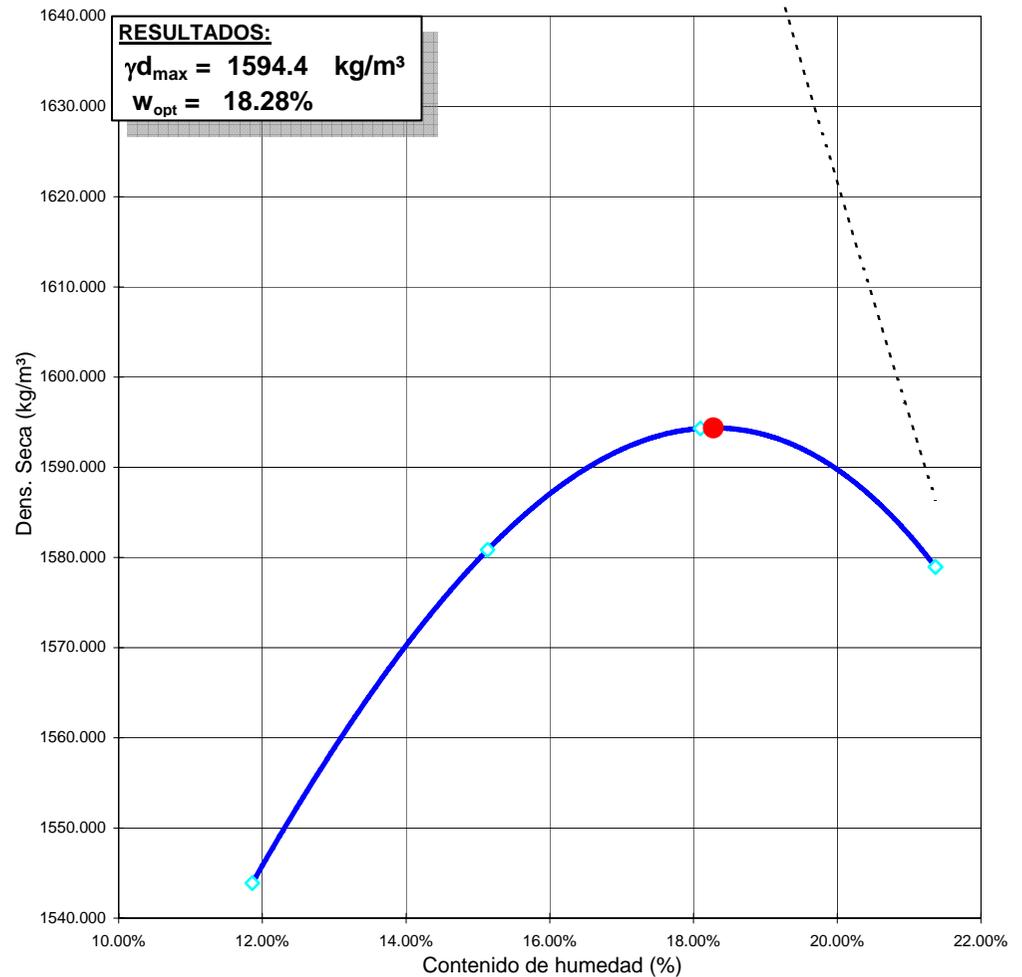
<b>DATOS PARA LA CURVA</b>			
PUNTO	1	2	3
Peso Compactado (g)	5,447	5,536	5,596

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
Peso Húmedo (g)	72.23	67.69	75.41	71.17	84.86	85.37
Peso Seco (g)	65.44	61.37	66.62	62.85	73.12	73.65
Peso Tarro (g)	7.97	8.28	8.29	8.11	8.50	8.64
w (%)	11.81%	11.90%	15.07%	15.20%	18.17%	18.03%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>11.86%</b>		<b>15.13%</b>		<b>18.10%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,726.99</b>		<b>1,820.08</b>		<b>1,882.85</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,543.89</b>		<b>1,580.84</b>		<b>1,594.31</b>	

PUNTO	4	5
Peso Compactado (g)	5,628	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
Peso Húmedo (g)	97.21	83.54
Peso Seco (g)	81.70	70.12
Peso Tarro (g)	8.19	8.09
w (%)	21.10%	21.63%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>21.37%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,916.32</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,578.95</b>	

**FIRMA RESPONSABLE:** CARLOS ROSALES

**CURVA DE COMPACTACION**



**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO**  
**NORMA ASTM D1557-02**

**CLIENTE:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**PROYECTO:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**UBICACIÓN:** NQI-A Tababela-Laguna de deposito 1.5m  
**FECHA:** 22-mar-10

**SONDEO:** 0.00  
**MUESTRA:** Aereopuerto  
**PROF.:** Superficial m  
**OPERADOR:** C.R.

**DATOS DEL ENSAYO:**  
**PROCEDIMIENTO:** A **PREPARACIÓN:** HÚMEDA  
**GOLPES/CAPA:** 25 **No. DE CAPAS:** 5  
**PESO MARTILLO (kg):** 4.54 **ALT. DE CAIDA (cm):** 45.72

**GRAVEDAD ESPECÍFICA:** 2.15 **DATO:** Asumido  
**DESCRIPCIÓN:** Arena Limosa

**CLASIFICACIÓN SUCS:** SM  
**PASA No. 4 (%):** 69.0% **HUMEDAD NATURAL:** 15.84%

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIAMETRO (cm):** 10.16 **MOLDE #:** 8  
**PESO (g):** 3,796 **VOL. (cm³):** 956.00

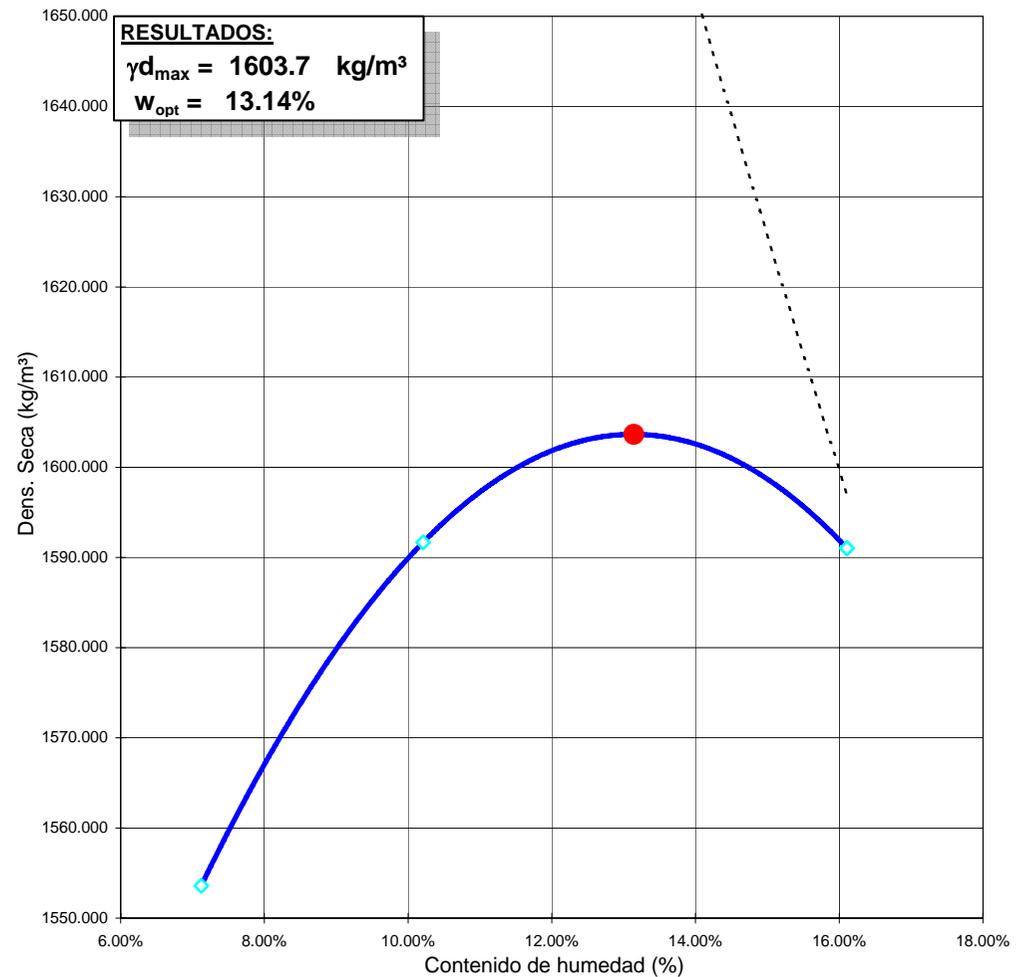
<b>DATOS PARA LA CURVA</b>			
PUNTO	1	2	3
Peso Compactado (g)	5,387	5,473	5,530

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
Peso Húmedo (g)	66.75	64.60	63.40	75.24	69.15	82.36
Peso Seco (g)	62.85	60.87	58.33	68.96	62.10	73.81
Peso Tarro (g)	8.27	8.31	8.11	8.13	8.26	8.62
w (%)	7.15%	7.10%	10.10%	10.32%	13.09%	13.12%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>7.12%</b>		<b>10.21%</b>		<b>13.10%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,664.23</b>		<b>1,754.18</b>		<b>1,813.81</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,553.59</b>		<b>1,591.68</b>		<b>1,603.65</b>	

PUNTO	4	5
Peso Compactado (g)	5,562	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
Peso Húmedo (g)	84.21	71.75
Peso Seco (g)	73.71	62.90
Peso Tarro (g)	8.50	7.97
w (%)	16.10%	16.11%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>16.11%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,847.28</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,591.02</b>	

**FIRMA RESPONSABLE:** CARLOS ROSALES

**CURVA DE COMPACTACION**



**ENSAYO DE COMPACTACIÓN PRÓCTOR MODIFICADO**  
**NORMA ASTM D1557-02**

**CLIENTE:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**PROYECTO:** ANA MARIA CABEZAS (TESIS)  
**UBICACIÓN:** NQI-A Tababela-Laguna de deposito 1.5m  
**FECHA:** 27-nov-07

**SONDEO:** 0.00  
**MUESTRA:** Aereopuerto  
**PROF.:** Superficial m  
**OPERADOR:** C.R.

**DATOS DEL ENSAYO:**  
**PROCEDIMIENTO:** C **PREPARACIÓN:** HÚMEDA  
**GOLPES/CAPA:** 56 **No. DE CAPAS:** 5  
**PESO MARTILLO (kg):** 4.54 **ALT. DE CAIDA (cm):** 45.72

**GRAVEDAD ESPECÍFICA:** 2.75 **DATO:** Asumido  
**DESCRIPCIÓN:** Arena Limosa

**CLASIFICACIÓN SUCS:** SM  
**PASA No. 4 (%):** 69.0% **HUMEDAD NATURAL:** 15.84%

**DATOS DEL MOLDE**  
**DIAMETRO (cm):** 15.24 **MOLDE #:** 6  
**PESO (g):** 6,918 **VOL. (cm³):** 2,107.00

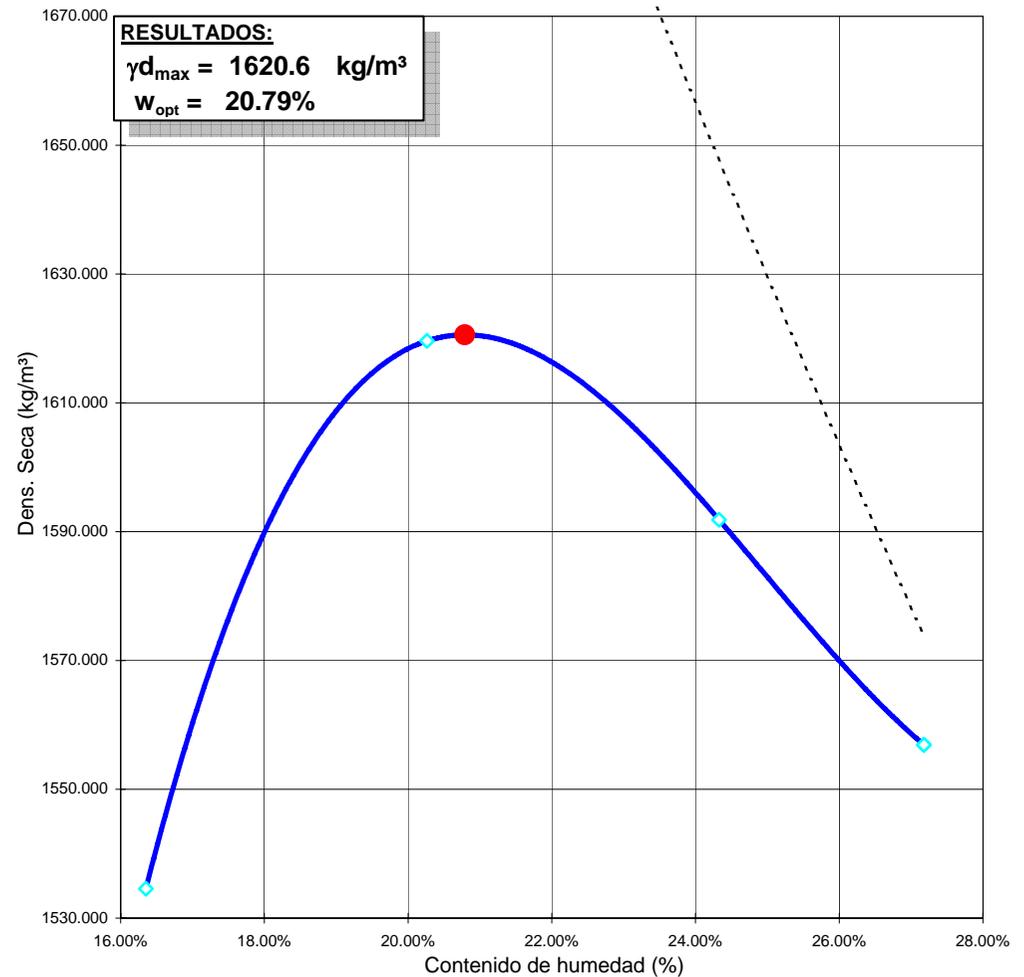
<b>DATOS PARA LA CURVA</b>			
PUNTO	1	2	3
Peso Compactado (g)	10,680	11,022	11,088

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
Peso Húmedo (g)	91.86	90.05	89.86	88.24	93.44	91.92
Peso Seco (g)	81.64	80.15	78.27	76.60	79.05	77.89
Peso Tarro (g)	20.03	18.71	20.33	19.88	19.88	20.24
w (%)	16.59%	16.11%	20.00%	20.52%	24.32%	24.34%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>16.35%</b>		<b>20.26%</b>		<b>24.33%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,785.48</b>		<b>1,947.79</b>		<b>1,979.12</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,534.56</b>		<b>1,619.62</b>		<b>1,591.85</b>	

PUNTO	4	5
Peso Compactado (g)	11,090	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		
Peso Húmedo (g)	100.53	88.57
Peso Seco (g)	83.04	73.75
Peso Tarro (g)	19.18	18.80
w (%)	27.39%	26.97%
<b>w<sub>prom</sub> (%)</b>	<b>27.18%</b>	
<b>Dens. Hum. (kg/m³)</b>	<b>1,980.07</b>	
<b>Dens. Seca (kg/m³)</b>	<b>1,556.91</b>	

**FIRMA RESPONSABLE:** CARLOS ROSALES

**CURVA DE COMPACTACION**



# ANEXO 3

---

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	M2	79.4	78.0	18.1	2.34	2.39
	B1	76.7	75.3	18.1	2.45	
2	34	70.4	69.2	17.1	2.30	2.40
	40	79.1	77.6	17.6	2.50	
Promedio %						2.40

<b>Prom. Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.22</b>
<b>Densidad del cemento (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3.03</b>
<b>Densidad del Aditivo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.00</b>

<b>Prom. Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>14.32</b> %
---	----------------

**Dosificación de los materiales**

La dosificación esta basada para un volumen de 2.5 galones (9.4625 lt)

Espumer					
Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )
		4%	6%	8%	
Mezcla 1	11.5	0.5	0.7	0.9	9.4625
Mezcla 2	11.5	0.5	0.7	0.9	37.85
Mezcla 3	11.5	0.5	0.7	0.9	9.4625   9.4625
Mezcla 4	11.5	0.5	0.7	0.9	solucion (1-50)- 1tr.
Mezcla 5	11.5	0.5	0.7	0.9	4.296

Volumen Arena (tl)	9.47		
Volumen Cemento (tl)	0.15		
Volumen Aditivo (tl)	0.009		
<b>Volumen total (tl)</b>		14.36	(A+ C + Ad + H2O)

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento		Fluidez		Cant. de agua Final		Agua Total	
Ratio	1.044	14.5	cm	4.5	lt	4.73	lt

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	M2	79.4	78.0	18.1	2.34	2.39
	B1	76.7	75.3	18.1	2.45	
2	34	70.4	69.2	17.1	2.30	2.40
	40	79.1	77.6	17.6	2.50	
Promedio %						2.40

Prom. Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1.22
Densidad del cemento (gr/cm <sup>3</sup> )	3.03
Densidad del Aditivo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.00

% Humedad óptima del proctor	14.32	%
------------------------------	-------	---

**Dosificación de los materiales**

Espumer					
Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )
		4%	6%	8%	
Mezcla 1	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14
Mezcla 2	18.5	0.7	1.1	1.5	60.56
Mezcla 3	18.5	0.7	1.1	1.5	7.57   15.14
Mezcla 4	18.5	0.7	1.1	1.5	solucion (1-50)- 1tr.
Mezcla 5	18.5	0.7	1.1	1.5	6.874

Volumen Arena (tl)	15.18		
Volumen Cemento (tl)	0.37		
Volumen Aditivo (tl)	0.015		
Volumen total (tl)	22.22	lt	
	(A+ C+Ad+H2O)		

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento	Fluidez	Cant. de agua Final	Agua Total
Ratio	1.063	14.5 cm	6.3 lt
			6.66 lt

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	C13	131.35	130.7	23.85	0.64	0.63
	E1	133.01	132.34	26.35	0.63	
2	C13	131.35	130.7	23.85	0.64	0.63
	E1	133.01	132.34	26.35	0.63	
Promedio %						0.63

<b>Prom. Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.22</b>
<b>Densidad del cemento (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3.03</b>
<b>Densidad del Aditivo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.00</b>

**Dosificación de los materiales**

Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )	
		4%	6%	8%		
Mezcla 1	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	
Mezcla 2	18.5	0.7	1.1	1.5	60.56	
Mezcla 3	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	15.14
Mezcla 4	18.5	0.7	1.1	1.5	solucion (1-50)- 1tr.	
Mezcla 5	18.5	0.7	1.1	1.5	6.874	

Volumen Arena (tl) 15.15

Volumen Cemento (tl) 0.49

Volumen Aditivo (tl) 0.015

Volumen total (tl) 22.55 (A+ C+Ad+H2O)

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento		Fluidez		Cant. de agua Final		Agua Total		Re. W/A
Ratio	1.010	14.5	cm	6.8	lt	6.90	lt	0.368

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	M2	79.4	78.0	18.1	2.34	2.39
	B1	76.7	75.3	18.1	2.45	
2	34	70.4	69.2	17.1	2.30	2.40
	40	79.1	77.6	17.6	2.50	
Promedio %						2.40

Prom. Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1.2190
--------------------------------------	--------

% Humedad óptima del proctor	0.00	%
------------------------------	------	---

**Dosificación de los materiales**

La dosificación esta basada para un volumen de 5 galones (0.0189 m<sup>3</sup> 0 18.9 lt)

Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )	
		4%	6%	8%		
Mezcla 1	16.2	0.6	1.0	1.3	13.2475	
Mezcla 2	16.2	0.6	1.0	1.3	52.99	
Mezcla 3	16.2	0.6	1.0	1.3	13.2475	13.2475
Mezcla 4	16.2	0.6	1.0	1.3	solucion (1-50)- 1tr.	
Mezcla 5	16.2	0.6	1.0	1.3	6.014	

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento		Fluidez	Cant. de agua Final		Agua Total	Re. W/A
Ratio	1.036	18 cm	5.5	lt	5.82 lt	0.3395

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	A12	128.08	126.7	24.58	1.34	1.36
	C16	106.62	105.52	25.8	1.38	
2		128.08	126.7	24.58	1.34	1.36
	C16	106.62	105.52	25.8	1.38	
Promedio %						1.36

<b>Prom. Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.22</b>
<b>Densidad del cemento (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3.03</b>
<b>Densidad del Aditivo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.00</b>

**Dosificación de los materiales**

Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )	
		4%	6%	8%		
Mezcla 1	16.2	0.6	1.0	1.3	13.2475	
Mezcla 2	16.2	0.6	1.0	1.3	52.99	
Mezcla 3	16.2	0.6	1.0	1.3	13.2475	13.2475
Mezcla 4	16.2	0.6	1.0	1.3	solucion (1-50)- 1tr.	
Mezcla 5	16.2	0.6	1.0	1.3	6.014	

Volumen Arena (tl) 13.26

Volumen Cemento (tl) 0.21

Volumen Aditivo (tl) 0.026

Volumen total (tl) 18.78 (A+ C+Ad+H20)

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento		Fluidez		Cant. de agua Final		Agua Total		Re. W/A
Ratio	1.014	14.5	cm	5.1	lt	5.28	lt	0.316

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	C13	131.35	130.7	23.85	0.64	0.63
	E1	133.01	132.34	26.35	0.63	
2	C13	131.35	130.7	23.85	0.64	0.63
	E1	133.01	132.34	26.35	0.63	
Promedio %						0.63

<b>Prom. Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.22</b>
<b>Densidad del cemento (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3.03</b>
<b>Densidad del Aditivo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.00</b>

**Dosificación de los materiales**

La dosificación esta basada para un volumen de 5 galones (0.0189 m<sup>3</sup> 0 18.9 lt)

Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )	
		4%	6%	8%		
Mezcla 1	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	
Mezcla 2	18.5	0.7	1.1	1.5	60.56	
<b>Mezcla 3</b>	<b>18.5</b>	0.7	<b>1.1</b>	1.5	15.14	15.14
Mezcla 4	18.5	0.7	1.1	1.5	solucion (1-50)- 1tr.	
Mezcla 5	18.5	0.7	1.1	1.5	6.874	

Volumen Arena (tl) 15.18

Volumen Cemento (tl) 0.37

Volumen Aditivo (tl) 0.030

Volumen total (tl) 21.57 (A+ C+Ad+H2O)

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento		Fluidez		Cant. de agua Final		Agua Total		Re. W/A
Ratio	1.011	14.5	cm	5.9	lt	6.00	lt	0.3189

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	C13	131.35	130.7	23.85	0.64	0.63
	E1	133.01	132.34	26.35	0.63	
2	C13	131.35	130.7	23.85	0.64	0.63
	E1	133.01	132.34	26.35	0.63	
Promedio %						0.63

Prom. Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.22</b>
Densidad del cemento (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>3.03</b>
Densidad del Aditivo (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.00</b>

**Dosificación de los materiales**

Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )	
		4%	6%	8%		
Mezcla 1	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	
Mezcla 2	18.5	0.7	1.1	1.5	60.56	
Mezcla 3	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	15.14
Mezcla 4	18.5	0.7	1.1	1.5	solucion (1-50)- 1tr.	
Mezcla 5	18.5	0.7	1.1	1.5	6.874	

Volumen Arena (tl) 15.18

Volumen Cemento (tl) 0.49

Volumen Aditivo (tl) 0.010

Volumen total (tl) 21.87 (A+ C+Ad+H2O)

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento		Fluidez		Cant. de agua Final		Agua Total		Re. W/A
Ratio	1.014	14	cm	6.1	lt	6.20	lt	0.3297

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	M2	111.84	109.9	19.47	2.15	2.31
	B1	84.13	82.34	10.12	2.48	
2	34	111.84	109.9	19.47	2.15	2.31
	40	84.13	82.34	10.12	2.48	
Promedio %						2.31

<b>Prom. Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.22</b>
<b>Densidad del cemento (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3.03</b>
<b>Densidad del Aditivo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.00</b>

**Dosificación de los materiales**

La dosificación esta basada para un volumen de 5 galones (0.0189 m<sup>3</sup> 0 18.9 lt)

Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )	
		4%	6%	8%		
Mezcla 1	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	
Mezcla 2	18.5	0.7	1.1	1.5	60.56	
Mezcla 3	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	15.14
Mezcla 4	18.5	0.7	1.1	1.5	35	965
Mezcla 5	18.5	0.7	1.1	1.5	6.874	

Volumen Arena (tl)                      15.18  
 Volumen Cemento (tl)                    0.24  
 Volumen Aditivo (tl)                      1.00  
 Volumen total (tl)                                  20.02                      (A+ C+Ad+H2O)

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento		Fluidez		Cant. de agua Final		Agua Total	
Ratio	1.154	12.5	cm	3.25	lt	3.60	lt

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	M2	171.93	171.1	26.62	0.55	0.55
	B1	152.38	151.68	24.16	0.55	
2	34	171.93	171.1	26.62	0.55	0.55
	40	152.38	151.68	24.16	0.55	
Promedio %						0.55

Prom. Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1.22
Densidad del cemento (gr/cm <sup>3</sup> )	3.03
Densidad del Aditivo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.00

**Dosificación de los materiales**

La dosificación esta basada para un volumen de 5 galones (0.0189 m<sup>3</sup> 0 18.9 lt)

Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )	
		4%	6%	8%		
Mezcla 1	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	
Mezcla 2	18.5	0.7	1.1	1.5	60.56	
Mezcla 3	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	15.14
Mezcla 4	18.5	0.7	1.1	1.5	25	975
Mezcla 5	18.5	0.7	1.1	1.5	6.874	

Volumen Arena (tl)                      15.18  
 Volumen Cemento (tl)                    0.61  
 Volumen Aditivo (tl)                    0.330  
**Volumen total (tl)                      19.45                    (A+ C+Ad+H2O)**

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento		Fluidez		Cant. de agua Final		Agua Total	
Ratio	1.151	12.5	cm	3.25	lt	3.33	lt

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	n5	171.93	171.1	26.62	0.55	0.55
	B28	152.38	151.68	24.16	0.55	
2	25	171.93	171.1	26.62	0.55	0.55
	S23	152.38	151.68	24.16	0.55	
Promedio %						0.55

<b>Prom. Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.22</b>
<b>Densidad del cemento (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3.03</b>
<b>Densidad del Aditivo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.00</b>

**Dosificación de los materiales**

Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )	
		4%	6%	8%		
Mezcla 1	14.5	0.6	0.9	1.2	11.89	
Mezcla 2	14.5	0.6	0.9	1.2	47.58	
Mezcla 3	14.5	0.6	0.9	1.2	11.89	11.89
<b>Mezcla 4</b>	<b>14.5</b>	<b>0.6</b>	0.9	1.2	15	770
Mezcla 5	14.5	0.6	0.9	1.2	5.400	

Volumen Arena (tl)	11.90		
Volumen Cemento (tl)	0.48		
Volumen Aditivo (tl)	0.785		
<b>Volumen total (tl)</b>		16.12	(A+ C+Ad+H20)

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento		Fluidez		Cant. de agua Final		Agua Total		Re. W/A
Ratio	1.133	14	cm	2.9	lt	2.97	lt	0.2531

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	M2	79.4	78.0	18.1	2.34	2.39
	B1	76.7	75.3	18.1	2.45	
2	34	70.4	69.2	17.1	2.30	2.40
	40	79.1	77.6	17.6	2.50	
Promedio %						2.40

<b>Prom. Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.22</b>
<b>Densidad del cemento (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3.03</b>
<b>Densidad del Aditivo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.00</b>

**Dosificación de los materiales**

Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )	
		4%	6%	8%		
Mezcla 1	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	
Mezcla 2	18.5	0.7	1.1	1.5	60.56	
Mezcla 3	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	15.14
<b>Mezcla 4</b>	<b>18.5</b>	0.7	<b>1.1</b>	1.5	20	980
Mezcla 5	18.5	0.7	1.1	1.5	6.874	

Volumen Arena (tl) 15.18

Volumen Cemento (tl) 0.37

Volumen Aditivo (tl) 1.000

Volumen total (tl) 21.16 (A+ C+Ad+H2O)

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento		Fluidez		Cant. de agua Final		Agua Total		Re. W/A
Ratio	1.146	14	cm	4.25	lt	4.61	lt	0.2297

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	M2	79.4	78.0	18.1	2.34	2.39
	B1	76.7	75.3	18.1	2.45	
2	34	70.4	69.2	17.1	2.30	2.40
	40	79.1	77.6	17.6	2.50	
Promedio %						2.40

Prom. Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1.22
Densidad del cemento (gr/cm <sup>3</sup> )	3.03
Densidad del Aditivo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.00

**Dosificación de los materiales**

Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )	
		4%	6%	8%		
Mezcla 1	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	
Mezcla 2	18.5	0.7	1.1	1.5	60.56	
Mezcla 3	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	15.14
Mezcla 4	18.5	0.7	1.1	1.5	20	980
Mezcla 5	18.5	0.7	1.1	1.5	6.874 gr	

Volumen Arena (tl)	15.18		
Volumen Cemento (tl)	0.49		
Volumen Aditivo (tl)	1.000		
Volumen total (tl)		21.93	(A+ C+Ad+H20)

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento		Fluidez		Cant. de agua Final		Agua Total		Re. W/A
Ratio	1.189	14	cm	4.9	lt	5.26	lt	0.265

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	M2	79.4	78.0	18.1	2.34	2.39
	B1	76.7	75.3	18.1	2.45	
2	34	70.4	69.2	17.1	2.30	2.40
	40	79.1	77.6	17.6	2.50	
Promedio %						2.40

<b>Prom. Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.22</b>
<b>Densidad del cemento (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3.03</b>
<b>Densidad del Aditivo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.23</b>

**Dosificación de los materiales**

La dosificación esta basada para un volumen de 5 galones (0.0189 m<sup>3</sup> 0 18.9 lt)

Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )	
		4%	6%	8%		
Mezcla 1	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	
Mezcla 2	18.5	0.7	1.1	1.5	60.56	
Mezcla 3	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	15.14
Mezcla 4	18.5	0.7	1.1	1.5	20	980
Mezcla 5	18.5	0.7	1.1	1.5	6.874 gr	

Volumen Arena (tl)                      15.18  
 Volumen Cemento (tl)                  1.20  
 Volumen Aditivo (tl)                    0.006  
 Volumen total (tl)                        22.05                      (A+ C+Ad+H20)

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento		Fluidez		Cant. de agua Final		Agua Total		Re. W/A
Ratio	1.028	14	cm	5.3	lt	5.66	lt	0.2865

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	M2	79.4	78.0	18.1	2.34	2.39
	B1	76.7	75.3	18.1	2.45	
2	34	70.4	69.2	17.1	2.30	2.40
	40	79.1	77.6	17.6	2.50	
Promedio %						2.40

<b>Prom. Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.22</b>
<b>Densidad del cemento (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3.03</b>
<b>Densidad del Aditivo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.23</b>

**Dosificación de los materiales**

Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )	
		4%	6%	8%		
Mezcla 1	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	
Mezcla 2	18.5	0.7	1.1	1.5	60.56	
Mezcla 3	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	15.14
Mezcla 4	18.5	0.7	1.1	1.5	20	980
<b>Mezcla 5</b>	<b>18.5</b>	0.7	<b>1.1</b>	1.5	6.874	

Volumen Arena (tl)                      15.18  
 Volumen Cemento (tl)                  1.20  
 Volumen Aditivo (tl)                    0.006  
 Volumen total (tl)                      22.55                      (A+ C+Ad+H20)

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento		Fluidez		Cant. de agua Final		Agua Total		Re. W/A
Ratio	1.055	14	cm	5.8	lt	6.16	lt	0.3135

**Dosificación de la muestra**

**Densidad Suelta seca**

Muestra	Nº	Pes. Hum	Pes. Seco	Cápsula	%Hum.	Resultado
1	M2	79.4	78.0	18.1	2.34	2.39
	B1	76.7	75.3	18.1	2.45	
2	34	70.4	69.2	17.1	2.30	2.40
	40	79.1	77.6	17.6	2.50	
Promedio %						2.40

<b>Prom. Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.22</b>
<b>Densidad del cemento (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3.03</b>
<b>Densidad del Aditivo (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.23</b>

**Dosificación de los materiales**

Material / Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)			Aditivo (cm <sup>3</sup> )	
		4%	6%	8%		
Mezcla 1	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	
Mezcla 2	18.5	0.7	1.1	1.5	60.56	
Mezcla 3	18.5	0.7	1.1	1.5	15.14	15.14
Mezcla 4	18.5	0.7	1.1	1.5	20	980
<b>Mezcla 5</b>	<b>18.5</b>	0.7	1.1	<b>1.5</b>	6.874 gr	

Volumen Arena (tl)                      15.14  
 Volumen Cemento (tl)                  1.20  
 Volumen Aditivo (tl)                    0.006  
 Volumen total (tl)                        22.71                      (A+ C+Ad+H2O)

**Características Finales de la Mezcla**

Rendimiento	Fluidez		Cant. de agua Final		Agua Total		Re. W/A	
Ratio	1.088	14	cm	6	lt	6.36	lt	0.3251

# ANEXO 4

---

Ensayos De Compresión - Dosificación 1												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
F. Fabricación	29/03/10	29/03/10	29/03/10	29/03/10	29/03/10	29/03/10	29/03/10	29/03/10	29/03/10	29/03/10	29/03/10	29/03/10
Fecha de Ensayo	05/04/10	05/04/10	05/04/10	05/04/10	12/04/10	12/04/10	12/04/10	12/04/10	26/04/10	26/04/10	26/04/10	26/04/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	12.20	12.20	12.10	-	12.21	12.22	-	-	12.10	12.05	12.05	-
Diámetro (cm)	10.70	10.67	10.50	-	10.57	10.56	-	-	10.56	10.54	10.54	-
Peso gr	1608.2	1609.4	1548.4	-	1686.62	1689.9	-	-	1721.5	1688.3	1698.2	-
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1097.03	1090.88	1047.74	-	1071.41	1070.26	-	-	1059.75	1051.38	1051.38	-
Área (cm <sup>2</sup> )	89.92	89.42	86.59	-	87.75	87.58	-	-	87.58	87.25	87.25	-
Carg de Rupt. N	775	946	927	-	1208	1382	-	-	2520	2462	2689	-
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>0.88</b>	<b>1.08</b>	<b>1.09</b>	-	<b>1.40</b>	<b>1.61</b>	-	-	<b>2.94</b>	<b>2.88</b>	<b>3.14</b>	-
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	8.79	10.80	10.92	-	14.05	16.10	-	-	29.36	28.79	31.45	-
Densidad H.(gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.47</b>	<b>1.48</b>	<b>1.48</b>	-	<b>1.57</b>	<b>1.58</b>	-	-	<b>1.62</b>	<b>1.61</b>	<b>1.62</b>	-
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.16</b>	<b>1.17</b>	<b>1.17</b>	-	<b>1.18</b>	<b>1.18</b>	-	-	<b>1.19</b>	<b>1.19</b>	<b>1.18</b>	-
Humedad	<b>20.65</b>				<b>25.43</b>				<b>26.60</b>			
Tipo de Falla	Columnar	Columnar	Columnar	-	Columnar	Columnar	-	-	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	N5	20	X11	A9	D4	X5			20	A9	X5	B4
Pes. Hume	118.88	101.05	106.9	120.87	123.53	118.13			109.03	139.89	114.25	118.43
Pes. Seco	103.1	88.11	92.5	104.8	106.4	102.52			91.89	116.96	96.48	99.37
Cápsula	26.61	23.87	24.32	26.6	24.58	25.72			23.86	26.59	25.72	26.2
% Humedad	20.66	20.14	21.07	20.55	20.92	20.33			25.19	25.37	25.11	26.05
Resultado	<b>20.612</b>		<b>20.716</b>		<b>20.623</b>		<b>-</b>		<b>25.284</b>		<b>25.581</b>	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara					D19	388	C14	22	704	10A		
Pes. Hume					74.15	73.38	74.89	83.65	88.36	75.13		
Pes. Seco					60.43	61.96	63.55	70.55	73.39	63.29		
Cápsula					9.88	19.4	19.44	20.13	17.81	19.47		
% Humedad					27.14	26.83	25.71	25.98	26.93	27.02		
Resultado	<b>-</b>		<b>-</b>		<b>26.987</b>		<b>25.845</b>		<b>26.977</b>		<b>-</b>	

Ensayos De Compresión - Dosificación 2												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	07/04/10	07/04/10	07/04/10	07/04/10	07/04/10	07/04/10	07/04/10	07/04/10	07/04/10	07/04/10	07/04/10	07/04/10
Fecha de Ensayo	14/04/10	14/04/10	14/04/10	14/04/10	21/04/10	21/04/10	21/04/10	21/04/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	11.98	12.05	12.21	12.08	12.09	11.96	12.02	12.09	12.07	11.95	11.91	11.92
Diámetro (cm)	10.41	10.61	10.55	10.54	10.46	10.48	10.52	10.47	10.54	10.57	10.51	10.53
Peso gr	1669.2	1719.3	1735.7	1688.7	1704.8	1698.1	1708.3	1712.2	1745.1	1723.0	1730.7	1693.6
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1019.64	1065.39	1067.36	1053.99	1038.91	1031.68	1044.78	1040.90	1053.12	1048.59	1033.25	1038.06
Área (cm <sup>2</sup> )	85.11	88.41	87.42	87.25	85.93	86.26	86.92	86.10	87.25	87.75	86.76	87.09
Carga de Ruptura N	1364	1225	1351	1312	2084	1898	1922	1945	3041	2870	3312	3124
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>1.64</b>	<b>1.41</b>	<b>1.58</b>	<b>1.53</b>	<b>2.47</b>	<b>2.25</b>	<b>2.26</b>	<b>2.31</b>	<b>3.56</b>	<b>3.34</b>	<b>3.90</b>	<b>3.66</b>
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	16.35	14.14	15.77	15.34	24.75	22.45	22.56	23.05	35.56	33.37	38.96	36.60
Densidad H. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.64	1.61	1.63	1.60	1.64	1.65	1.64	1.64	1.66	1.64	1.67	1.63
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.18</b>	<b>1.18</b>	<b>1.18</b>	<b>1.18</b>	<b>1.20</b>	<b>1.19</b>	<b>1.19</b>	<b>1.18</b>	<b>1.20</b>	<b>1.19</b>	<b>1.20</b>	<b>1.19</b>
Humedad	<b>27.10</b>				<b>27.47</b>				<b>27.73</b>			
Tipo de Falla	Cónica	Columnar	Columnar	Columnar	Cónica	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	<b>88</b>	<b>469</b>	<b>AC</b>	<b>495</b>	<b>482</b>	<b>41</b>	<b>B28</b>	<b>AA</b>	<b>X21</b>	<b>C41</b>	<b>53</b>	<b>C50</b>
Pes. Hume	69.35	84.87	69.24	59.73	75.73	73.57	77.52	71.55	63.30	61.82	72.51	69.69
Pes. Seco	56.5	68.81	58.6	49.37	61.9	61.73	65.4	60.92	51.92	52.66	61.03	58.65
Cápsula	10.04	11.4	19.17	10.4	11.86	18.72	19.59	20.47	9.49	17.98	20.03	18.35
% Humedad	27.66	27.97	26.86	26.58	27.56	27.53	26.35	26.28	26.82	26.41	28.00	27.39
Resultado	<b>27.816</b>		<b>26.720</b>		<b>27.545</b>		<b>26.313</b>		<b>26.617</b>		<b>27.697</b>	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara	<b>D5</b>	<b>B20</b>	<b>B31</b>	<b>C27</b>	<b>B13</b>	<b>C41</b>	<b>C14</b>	<b>13</b>	<b>C2</b>	<b>11</b>	<b>B31</b>	<b>33</b>
Pes. Hume	66.54	58.21	74.52	60.51	74.46	82.16	77.06	80.49	84.57	93.3	77.43	81.2
Pes. Seco	54.2	49.62	62.5	50.98	62.5	68.25	64.21	67.28	69.8	76.87	64.8	67.67
Cápsula	9.32	18.41	18.36	17.93	18.43	17.95	18.39	19.21	18.28	18.75	18.3	18.24
% Humedad	27.52	27.52	27.29	28.84	27.20	27.65	28.04	27.48	28.57	28.27	27.24	27.37
Resultado	<b>27.524</b>		<b>28.062</b>		<b>27.425</b>		<b>27.763</b>		<b>28.419</b>		<b>27.308</b>	

Ensayos De Compresión - Dosificación 3												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10
Fecha de Ensayo	16/04/10	16/04/10	16/04/10	16/04/10	23/04/10	23/04/10	23/04/10	23/04/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	11.94	11.89	11.98	11.99	12.06	12.05	12.04	11.93	12.08	12.09	12.21	12.08
Diámetro (cm)	10.54	10.52	10.59	10.66	10.51	10.52	10.53	10.46	10.57	10.56	10.59	10.61
Peso gr	1756.5	1725.6	1782.7	1819.8	1791.9	1790.0	1791	1762.5	1868.9	1844.10	1853.2	1877.5
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1041.78	1033.48	1055.21	1070.10	1046.27	1047.39	1048.51	1025.16	1060.00	1058.87	1075.47	1068.04
Área (cm <sup>2</sup> )	87.25	86.92	88.08	89.25	86.76	86.92	87.09	85.93	87.75	87.58	88.08	88.41
Carga de Ruptura N	2588	2681	2395	2289	2456	2756	2915	3037	3865	4125	3957	4315
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>3.03</b>	<b>3.15</b>	<b>2.77</b>	<b>2.62</b>	<b>2.89</b>	<b>3.24</b>	<b>3.42</b>	<b>3.61</b>	<b>4.49</b>	<b>4.81</b>	<b>4.58</b>	<b>4.98</b>
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	30.27	31.47	27.75	26.17	28.89	32.35	34.16	36.06	44.95	48.06	45.84	49.80
Densidad H. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.69	1.67	1.69	1.70	1.71	1.71	1.71	1.72	1.76	1.74	1.72	1.76
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.24</b>	<b>1.24</b>	<b>1.24</b>	<b>1.24</b>	<b>1.25</b>	<b>1.26</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.26</b>	<b>1.26</b>	<b>1.25</b>	<b>1.26</b>
Humedad	<b>26.45</b>				<b>26.80</b>				<b>28.00</b>			
Tipo de Falla	Cónica	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	C52	B0	K4	B44	A41	A0	18	446	9	C33	D7	B1
Pes. Hume	75.81	76.9	91.76	81.33	78.62	79.31	77.41	82.35	74.81	75.43	79.92	84.12
Pes. Seco	64.07	64.50	77.05	68.43	66.40	66.24	65.15	67.09	62.77	63.23	66.79	70.45
Cápsula	18.51	18.19	19.34	18.62	20.15	17.9	19.77	11.03	18.74	18.24	17.3	17.26
% Humedad	25.77	26.78	25.49	25.90	26.42	27.04	27.02	27.22	27.34	27.12	26.53	25.70
Resultado	<b>26.272</b>		<b>25.694</b>		<b>26.730</b>		<b>27.119</b>		<b>27.231</b>		<b>26.115</b>	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara	6	A0	B20	C7	110	105	B16	1	K8	D4	482	L88
Pes. Hume	75.69	75.13	78.81	73.39	70.11	72.74	75.17	72.79	83.40	89.92	78.35	81.97
Pes. Seco	63.60	62.98	65.15	62.11	58.90	61.01	63.19	60.24	69.88	72.71	63.65	66.07
Cápsula	18.92	17.92	18.43	18.34	19.94	19.58	18.47	16.85	19.87	9.96	11.85	10.04
% Humedad	27.06	26.96	29.24	25.77	28.77	28.31	26.79	28.92	27.03	27.43	28.38	28.38
Resultado	<b>27.012</b>		<b>27.505</b>		<b>28.543</b>		<b>27.856</b>		<b>27.230</b>		<b>28.378</b>	

Ensayos De Compresión - Dosificación 4												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	05/03/10	05/03/10	05/03/10	05/03/10	05/03/10	05/03/10	05/03/10	05/03/10	05/03/10	05/03/10	05/03/10	05/03/10
Fecha de Ensayo	12/04/10	12/04/10	12/04/10	12/04/10	19/03/10	19/03/10	19/03/10	19/03/10	26/03/10	26/03/10	26/03/10	26/03/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	11.99	11.84	11.97	-	11.84	11.82	11.73	-	11.83	11.86	11.78	11.78
Diámetro (cm)	10.61	10.56	10.54	-	10.47	10.42	10.43	-	10.56	10.61	10.57	10.55
Peso gr	1924.3	1898.5	1901.4	-	1876.8	1843.8	1857.2	-	1910.1	1941.2	1921.3	1903.1
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1060.08	1036.98	1044.40	-	1019.38	1007.96	1002.20	-	1036.10	1048.59	1033.68	1029.77
Área (cm <sup>2</sup> )	88.41	87.58	87.25	-	86.10	85.28	85.44	-	87.58	88.41	87.75	87.42
Carga de Ruptura N	1007	982	976	-	1418	1541	1520	-	2776	2802	2568	2586
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>1.16</b>	<b>1.14</b>	<b>1.14</b>	-	<b>1.68</b>	<b>1.84</b>	<b>1.82</b>	-	<b>3.23</b>	<b>3.23</b>	<b>2.99</b>	<b>3.02</b>
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	11.62	11.44	11.41	-	16.81	18.44	18.15	-	32.34	32.34	29.86	30.19
Densidad H.(gr/cm <sup>3</sup> )	1.82	1.83	1.82	-	1.84	1.83	1.85	-	1.84	1.85	1.86	1.85
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.28</b>	<b>1.28</b>	<b>1.28</b>	-	<b>1.30</b>	<b>1.29</b>	<b>1.30</b>	-	<b>1.30</b>	<b>1.31</b>	<b>1.31</b>	<b>1.30</b>
Humedad	29.80				29.55				29.43			
Tipo de Falla	Columnar	Columnar	Columnar	-	Columnar	Columnar	Columnar	-	Columnar	Columnar	Columnar	-

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	A12	B28	E1	N5	D4	X11			A0	19	B1	D4
Pes. Hume	110.59	122.86	125.89	139.73	125.45	121.08			81.07	74.88	65.36	62.33
Pes. Seco	91.43	100.09	102.8	113.93	101.9	98.96			66.8	62.03	54.66	50.32
Cápsula	24.57	24.15	26.31	26.59	24.58	24.33			17.92	18.75	18.46	9.96
% Humedad	28.66	29.98	30.26	29.54	30.41	29.64			29.09	29.69	29.56	29.76
Resultado	29.747		29.960		29.706		-		29.389		29.658	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara	6	36			C35	54	100	P1	105	B24	20	495
Pes. Hume	68.67	67.01			83.37	93.84	88.74	74.41	96.68	74.20	87.33	88.28
Pes. Seco	57.13	55.9			68.54	77.18	73.23	59.71	78.98	61.87	72.10	70.33
Cápsula	18.23	18.3			18.33	20.01	20.01	9.91	19.62	19.21	20.25	10.45
% Humedad	29.67	29.55			29.54	29.14	29.14	29.52	29.82	28.90	29.37	29.98
Resultado	29.607		-		29.339		29.331		29.361		29.675	

Ensayos De Compresión - Dosificación 5												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	06/04/10	06/04/10	06/04/10	06/04/10	06/04/10	06/04/10	06/04/10	06/04/10	06/04/10	06/04/10	06/04/10	06/04/10
Fecha de Ensayo	14/04/10	14/04/10	14/04/10	14/04/10	21/04/10	21/04/10	21/04/10	21/04/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	11.95	12.01	12.21	12.11	12.09	11.94	12.06	11.83	12.04	12	11.94	11.83
Diámetro (cm)	10.62	10.58	10.55	10.64	10.48	10.53	10.56	10.58	10.44	10.55	10.55	10.56
Peso gr	1692.9	1660.8	1706.5	1690.9	1688.3	1668.2	1684.1	1659	1700	1739.6	1696.5	1672.1
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1058.54	1055.85	1067.36	1076.76	1042.89	1039.80	1056.25	1040.03	1030.66	1049.00	1043.76	1036.10
Área (cm <sup>2</sup> )	88.58	87.91	87.42	88.91	86.26	87.09	87.58	87.91	85.60	87.42	87.42	87.58
Carga de Ruptura N	1262	1382	1261	1121	1711	1736	1810	1823	2860	2920	3184	2814
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>1.45</b>	<b>1.60</b>	<b>1.47</b>	<b>1.29</b>	<b>2.02</b>	<b>2.03</b>	<b>2.11</b>	<b>2.12</b>	<b>3.41</b>	<b>3.41</b>	<b>3.72</b>	<b>3.28</b>
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	14.54	16.04	14.72	12.86	20.24	20.34	21.09	21.16	34.09	34.08	37.17	32.79
Densidad H. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.60	1.57	1.60	1.57	1.62	1.60	1.59	1.60	1.65	1.66	1.63	1.61
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.15</b>	<b>1.15</b>	<b>1.15</b>	<b>1.15</b>	<b>1.16</b>	<b>1.16</b>	<b>1.16</b>	<b>1.17</b>	<b>1.18</b>	<b>1.17</b>	<b>1.18</b>	<b>1.17</b>
Humedad	27.45				27.38				28.36			
Tipo de Falla	Columnar											

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	<b>D17</b>	<b>B88</b>	<b>B24</b>	<b>380</b>	<b>B35</b>	<b>x21</b>	<b>B31</b>	<b>326</b>	<b>A7</b>	<b>388</b>	<b>D14</b>	<b>P1</b>
Pes. Hume	73.02	62.01	69.24	68.14	79.24	79.88	67.19	65.38	63.12	68.17	70.61	66.48
Pes. Seco	60.65	52.52	58.67	56.35	65.67	64.57	56.83	53.87	53.22	55.37	59.02	54.35
Cápsula	16.84	18.60	19.17	11.88	18.17	9.48	18.33	10.96	18.18	10.41	17.38	9.87
% Humedad	28.24	27.98	26.76	26.51	28.57	27.79	26.91	26.82	28.25	28.47	27.83	27.27
Resultado	28.107		26.636		28.180		26.866		28.362		27.552	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara	<b>C23</b>	<b>33</b>	<b>D7</b>	<b>X2</b>	<b>C24</b>	<b>B18</b>	<b>C50</b>	<b>19</b>	<b>B72</b>	<b>B9</b>	<b>B31</b>	<b>C28</b>
Pes. Hume	62.49	65.8	67.37	73.26	58.78	61.44	76.09	84.11	92.25	76.69	81.03	81.45
Pes. Seco	53.20	55.46	56.9	62.01	49.5	52.08	62.84	69.16	76.3	63.99	67.7	67.71
Cápsula	18.08	18.3	17.26	19.58	17.65	18.58	18.31	18.72	18.38	18.28	19.55	17.97
% Humedad	26.45	27.83	26.41	26.51	28.97	27.94	29.76	29.64	27.54	27.78	27.66	27.62
Resultado	27.139		26.463		28.457		29.697		27.661		27.641	

Ensayos De Compresión - Dosificación 6												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10	09/04/10
Fecha de Ensayo	16/04/10	16/04/10	16/04/10	16/04/10	23/04/10	23/04/10	23/04/10	23/04/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	12.05	11.98	11.89	11.87	12.13	11.95	11.96	12.01	12.16	12.07	12.21	12.19
Diámetro (cm)	10.55	10.57	10.56	10.59	10.51	10.53	10.49	10.59	10.59	10.59	10.61	10.58
Peso gr	1774.2	1754.8	1746.6	1720.6	1749.2	1733.2	1736.8	1764.3	1798.2	1815.7	1848.6	1829.7
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1053.37	1051.23	1041.36	1045.52	1052.34	1040.67	1033.65	1057.85	1071.06	1063.14	1079.53	1071.68
Área (cm <sup>2</sup> )	87.42	87.75	87.58	88.08	86.76	87.09	86.43	88.08	88.08	88.08	88.41	87.91
Carga de Ruptura N	1578	1753	1941	1901	2445	2307	2433	2288	4402	4234	4305	4222
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.84	2.04	2.26	2.20	2.88	2.70	2.87	2.65	5.10	4.91	4.97	4.90
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	18.42	20.39	22.61	22.02	28.76	27.03	28.73	26.51	51.00	49.05	49.69	49.00
Densidad H. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.68	1.67	1.68	1.65	1.66	1.67	1.68	1.67	1.68	1.71	1.71	1.71
Densidad S. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.25	1.23	1.23	1.23	1.24	1.24	1.25	1.24	1.25	1.25	1.26	1.25
Humedad	25.98				25.62				25.46			
Tipo de Falla	Cónica	Columnar	Columnar	Columnar	Cónica	Columnar						
Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	X18	9	F1	D4	301	C45	33	102	B36	C6	B16	C14
Pes. Hume	79.84	69.03	94.22	84.91	87.61	78.34	57.41	78.45	75.79	65.57	74.38	65.7
Pes. Seco	65.53	58.63	78.69	69.21	71.46	65.76	49.56	66.70	64.11	56.17	62.89	56.20
Cápsula	9.97	18.7	20.04	9.98	10.74	18.28	18.27	19.51	19.15	18.21	18.51	18.52
% Humedad	25.76	26.05	26.48	26.51	26.60	26.50	25.09	24.90	25.98	24.76	25.89	25.21
Resultado	25.90		26.49		26.55		24.99		25.37		25.55	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara	B24	D13	C24	B401	T22	10A	B6	704	326	X21	20	X18
Pes. Hume	79.46	71.74	71.72	89.47	117.78	91.52	71.17	91.25	82.49	85.37	88.49	130.74
Pes. Seco	67.30	60.77	60.78	75.30	98.24	76.47	59.98	75.68	67.88	69.13	74.78	105.02
Cápsula	19.20	17.65	17.7	18.63	19.2	19.44	18.24	17.79	10.94	9.46	23.82	9.94
% Humedad	25.28	25.44	25.39	25.00	24.72	26.39	26.81	26.90	25.66	27.22	26.90	27.05
Resultado	25.36		25.20		25.56		26.85		26.44		26.98	

Ensayos De Compresión - Dosificación 7												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	13/04/10	13/04/10	13/04/10	13/04/10	13/04/10	13/04/10	13/04/10	13/04/10	13/04/10	13/04/10	13/04/10	13/04/10
Fecha de Ensayo	20/04/10	20/04/10	20/04/10	20/04/10	27/04/10	27/04/10	27/04/10	27/04/10	11/05/10	11/05/10	11/05/10	11/05/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	11.92	11.96	12.01	11.93	12.11	12.06	11.96	11.93	12.01	12.07	12.04	12.08
Diámetro (cm)	10.54	10.56	10.56	10.52	10.56	10.57	10.54	10.55	10.56	10.53	10.52	10.55
Peso gr	1723.7	1746.5	1729.9	1738.6	1779.2	1756.1	1749.3	1738.4	1802.8	1794.0	1819.1	1823.8
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1040.03	1047.49	1051.87	1036.96	1060.63	1058.25	1043.52	1042.88	1051.87	1051.12	1046.52	1055.99
Área (cm <sup>2</sup> )	87.25	87.58	87.58	86.92	87.58	87.75	87.25	87.42	87.58	87.09	86.92	87.42
Carga de Ruptura N	3874	3855	3645	3982	4723	4745	4719	4825	5909	6124	5987	5970
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	4.53	4.49	4.25	4.67	5.50	5.52	5.52	5.63	6.88	7.18	7.03	6.97
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	45.31	44.91	42.47	46.75	55.03	55.18	55.19	56.32	68.84	71.76	70.28	69.69
Densidad H. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.66	1.67	1.64	1.68	1.68	1.66	1.68	1.67	1.71	1.71	1.74	1.73
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	1.24	1.24	1.24	1.25	1.25	1.25	1.26	1.25	1.25	1.26	1.26	1.25
Humedad	25.36				25.04				27.25			
Tipo de Falla	Columnar											

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	326	5	C14	8	AA	9	AG	C77	11	47	C43	B1
Pes. Hume	81.43	59.3	63.27	81.58	73.3	68.4	76.82	76.19	84.14	77.08	60.78	68.35
Pes. Seco	67.08	51.30	54.25	68.55	62.95	58.62	64.67	64.77	70.70	65.15	52.45	58.19
Cápsula	10.97	19.7	18.43	19.65	20.49	18.73	17.6	19.94	18.82	18.31	18.10	18.56
% Humedad	25.57	25.32	25.18	26.65	24.38	24.52	25.81	25.47	25.91	25.47	24.25	25.64
Resultado	25.45		25.91		24.45		25.64		25.69		24.94	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara	326	5	C14	8	11	C52	B24	B3	C37	A7	B9	D17
Pes. Hume	74.39	82.17	111.9	86.4	82.17	77.82	75.56	75.52	83.6	88.69	83.38	77.58
Pes. Seco	63.48	69.56	94.50	72.88	68.57	65.17	63.89	63.50	69.57	73.38	69.49	64.54
Cápsula	18.40	19.55	24.18	18.63	18.80	18.52	19.2	18.12	18.71	18.20	18.28	18.87
% Humedad	24.20	25.21	24.74	24.92	27.33	27.12	26.11	26.49	27.59	27.75	27.12	28.54
Resultado	24.71		24.83		27.221		26.300		27.666		27.833	

Ensayos De Compresión - Dosificación 8												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	21/04/10	21/04/10	21/04/10	21/04/10	21/04/10	21/04/10	21/04/10	21/04/10	21/04/10	21/04/10	21/04/10	21/04/10
Fecha de Ensayo	28/04/10	28/04/10	28/04/10	28/04/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	19/05/10	19/05/10	19/05/10	19/05/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	12.10	12.01	12.05	12.16	12.12	12.11	12.11	12.23	12.20	12.1	12.11	12.17
Diámetro (cm)	10.52	10.57	10.56	10.58	10.52	10.54	10.53	10.50	10.49	10.51	10.52	10.51
Peso gr	1448.1	1434.5	1463.7	1454.8	1446.2	1447.8	1435.7	1447.4	1552.7	1580	1567.3	1588.1
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1051.74	1053.86	1055.37	1069.04	1053.47	1056.61	1054.61	1059.00	1054.39	1049.74	1052.61	1055.81
Área (cm <sup>2</sup> )	86.92	87.75	87.58	87.91	86.92	87.25	87.09	86.59	86.43	86.76	86.92	86.76
Carga de Ruptura N	459	472	544	527	560	620	602	680	832	835	874	907
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.54	0.55	0.63	0.61	0.66	0.73	0.71	0.80	0.98	0.98	1.03	1.07
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	5.39	5.49	6.34	6.12	6.57	7.25	7.05	8.01	9.82	9.82	10.26	10.67
Densidad H. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.38	1.36	1.39	1.36	1.37	1.37	1.36	1.37	1.47	1.51	1.49	1.50
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	1.03	1.02	1.02	1.02	1.03	1.02	1.03	1.03	1.05	1.04	1.05	1.04
Humedad	25.29				24.75				30.03			
Tipo de Falla	Columnar											

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	B5	X71	B40	15	C52	P17	8	L88	G52	C52	C7	C44
Pes. Hume	98.42	101.39	90.02	101.82	84.80	86.05	110.94	104.35	87.85	87.43	80.49	78.23
Pes. Seco	82.60	84.61	75.32	85.64	71.26	69.88	90.98	85.27	74.31	73.55	67.87	65.93
Cápsula	18.55	18.63	18.08	18.74	18.51	9.4	9.66	10.06	18.37	18.48	18.31	18.15
% Humedad	24.70	25.43	25.68	24.19	25.67	26.74	24.55	25.37	24.20	25.20	25.46	25.74
Resultado	25.066		24.933		26.202		24.957		24.704		25.604	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara	D13	C17	C33	C6	C16	C37	20	47	B20	C43	B35	B43
Pes. Hume	84.4	87.76	87.97	94.1	100.83	100.78	106.98	111.76	109.49	112.97	94.63	103.03
Pes. Seco	71.24	74.07	74.07	79.56	82.40	82.36	86.36	89.25	88.42	91.51	76.70	82.97
Cápsula	17.09	18.17	18.21	18.17	18.05	18.07	18.07	18.31	18.41	18.28	18.30	18.15
% Humedad	24.30	24.49	24.88	23.68	28.64	28.65	30.19	31.73	30.10	29.30	30.70	30.95
Resultado	24.397		24.284		28.646		30.963		29.700		30.825	

Ensayos De Compresión - Dosificación 9												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	22/04/10	22/04/10	22/04/10	22/04/10	22/04/10	22/04/10	22/04/10	22/04/10	22/04/10	22/04/10	22/04/10	22/04/10
Fecha de Ensayo	29/04/10	29/04/10	29/04/10	29/04/10	06/05/10	06/05/10	06/05/10	06/05/10	20/05/10	20/05/10	20/05/10	20/05/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	11.96	12.03	12.01	11.93	12.05	12.01	12.03	12.00	12.07	12.01	12.1	12.03
Diámetro (cm)	10.53	10.54	10.49	10.52	10.55	10.51	10.55	10.59	10.57	10.52	10.53	10.57
Peso gr	1477.9	1511.2	1501.5	1483.7	1541.5	1508.2	1515.1	1539.7	1614.2	1591.2	1619.3	1577.2
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1041.54	1049.63	1037.97	1036.96	1053.37	1041.93	1051.62	1056.97	1059.12	1043.91	1053.74	1055.61
Área (cm <sup>2</sup> )	87.09	87.25	86.43	86.92	87.42	86.76	87.42	88.08	87.75	86.92	87.09	87.75
Carga de Ruptura N	373	419	442	475	523	602	578	545	798	866	823	859
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.44	0.49	0.52	0.56	0.61	0.71	0.67	0.63	0.93	1.02	0.96	1.00
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	4.37	4.90	5.22	5.58	6.10	7.08	6.75	6.31	9.28	10.17	9.64	9.99
Densidad H. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.42	1.44	1.45	1.43	1.46	1.45	1.44	1.46	1.52	1.52	1.54	1.49
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	1.04	1.04	1.05	1.04	1.06	1.06	1.04	1.06	1.07	1.07	1.07	1.06
Humedad	27.11				27.39				29.78			
Tipo de Falla	Columnar											

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	B31	12	41	53	B3	12	K8	D13	C18	B3	A7	D14
Pes. Hume	100.81	107.97	87.43	125.22	89.80	86.05	89.24	87.31	71.47	75.84	84.48	76.34
Pes. Seco	83.35	89.61	72.33	102.97	74.19	71.62	74.17	72.71	59.60	63.54	70.8	63.55
Cápsula	18.36	18.63	18.75	20.03	18.13	18.73	19.91	17.13	18.26	18.03	18.16	17.35
% Humedad	26.87	25.87	28.18	26.83	27.85	27.28	27.77	26.27	28.71	27.03	25.99	27.68
Resultado	26.37		27.50		27.56		27.02		27.870		26.836	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara	D17	D61	B24	C37	YZ2	B88	B60	X-71	777	C41	B3	D17
Pes. Hume	71.61	91.88	71.60	79.99	74.39	80.97	80.96	77.31	81.93	87.91	105.28	73.31
Pes. Seco	59.54	76.31	60.29	66.99	61.75	66.86	66.86	63.73	67.36	71.70	85.8	60.53
Cápsula	16.83	18.7	19.16	18.66	19.69	19.02	19.02	18.59	19.48	18.01	18.02	16.87
% Humedad	28.26	27.03	27.50	26.90	30.05	29.49	29.47	30.08	30.43	30.19	28.76	29.27
Resultado	27.643		27.198		29.773		29.779		30.311		29.015	

Ensayos De Compresión - Dosificación 10												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	03/05/10	03/05/10	03/05/10	03/05/10	03/05/10	03/05/10	03/05/10	03/05/10	03/05/10	03/05/10	03/05/10	03/05/10
Fecha de Ensayo	10/05/10	10/05/10	10/05/10	10/05/10	17/05/10	17/05/10	17/05/10	17/05/10	31/05/10	31/05/10	31/05/10	31/05/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	12.12	12.09	12.03	12.14	12.01	12.13	-	-	12.11	12.08	12.13	-
Diámetro (cm)	10.56	10.58	10.66	10.57	10.48	10.53	-	-	10.57	10.56	10.53	-
Peso gr	1016.1	1013.4	1029.3	1047.0	960.1	972.7	-	-	1521.3	1511.8	1501.4	-
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1061.50	1062.89	1073.67	1065.27	1035.99	1056.35	-	-	1062.63	1058.00	1056.35	-
Área (cm <sup>2</sup> )	87.58	87.91	89.25	87.75	86.26	87.09	-	-	87.75	87.58	87.09	-
Carga de Ruptura N	560	472	549	674	686	572	-	-	932	945	978	-
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.652	0.548	0.628	0.784	0.811	0.670	-	-	1.084	1.101	1.146	-
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	6.524	5.478	6.277	7.838	8.115	6.702	-	-	10.838	11.010	11.460	-
Densidad H. (gr/cm <sup>3</sup> )	0.96	0.95	0.96	0.98	0.93	0.92	-	-	1.43	1.43	1.42	-
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	0.90	0.90	0.90	0.91	0.92	0.92	-	-	0.94	0.93	0.93	-
Humedad	6.25				0.31				34.45			
Tipo de Falla	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	-	-	Columnar	Columnar	Columnar	-

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	B13	G52	C18	B61	C44	B18	C6	C41	D17	326	10	116
Pes. Hume	68.18	69.34	84.13	77.75	82.05	80.44	78.60	83.57	69.47	70.98	92.01	89.52
Pes. Seco	65.41	66.50	80.84	74.53	78.25	76.58	74.50	79.32	69.25	70.72	91.94	89.28
Cápsula	18.42	18.32	18.27	18.72	18.19	18.60	18.19	17.97	10.3	10.93	19.64	18.54
% Humedad	5.89	5.89	5.26	5.77	6.33	6.66	7.28	6.93	0.37	0.43	0.10	0.34
Resultado	5.89		5.51		6.49		7.10		0.40		0.22	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara					A7	B44	C47	B3	X71	C18		
Pes. Hume					108.86	98.29	122.56	109.5	90.06	94.42		
Pes. Seco					86.01	77.89	95.72	85.98	71.86	74.65		
Cápsula					18.19	18.66	18.31	18.11	18.59	18.33		
% Humedad					33.69	34.44	34.67	34.65	34.17	35.10		
Resultado	-		-		34.07		34.66		34.63		-	

Ensayos De Compresión - Dosificación 11												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10
Fecha de Ensayo	12/05/10	12/05/10	12/05/10	12/05/10	19/05/10	19/05/10	19/05/10	19/05/10	02/06/10	02/06/10	02/06/10	02/06/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	12.01	12.2	12.17	12.16	12.21	12.13	12.15	12.1	12.16	12.1	12.17	12.2
Diámetro (cm)	10.49	10.54	10.55	10.57	10.54	10.49	10.56	10.52	10.55	10.58	10.57	10.54
Peso gr	1057.2	1096.7	1092.9	1097.4	1063.2	1025.1	1060.4	1058.0	1616.7	1606.2	1596.6	1597.9
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1037.97	1064.46	1063.86	1067.02	1065.34	1048.34	1064.13	1051.74	1062.99	1063.77	1067.90	1064.46
Área (cm <sup>2</sup> )	86.43	87.25	87.42	87.75	87.25	86.43	87.58	86.92	87.42	87.91	87.75	87.25
Carga de Ruptura N	622	913	782	785	1138	1035	935	1024	1138	1035	1049	1024
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>0.73</b>	<b>1.07</b>	<b>0.91</b>	<b>0.91</b>	<b>1.33</b>	<b>1.22</b>	<b>1.09</b>	<b>1.20</b>	<b>1.33</b>	<b>1.20</b>	<b>1.22</b>	<b>1.20</b>
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	7.34	10.68	9.13	9.13	13.31	12.22	10.89	12.02	13.28	12.01	12.20	11.98
Densidad H. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.02	1.03	1.03	1.03	1.00	0.98	1.00	1.01	1.52	1.51	1.50	1.50
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	<b>0.96</b>	<b>0.96</b>	<b>0.97</b>	<b>0.96</b>	<b>0.98</b>	<b>0.96</b>	<b>0.98</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>	<b>1.00</b>	<b>0.99</b>
Humedad	<b>6.21</b>				<b>1.63</b>				<b>34.13</b>			
Tipo de Falla	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar								

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	<b>47</b>	<b>C28</b>	<b>B44</b>	<b>C77</b>	<b>40</b>	<b>B20</b>	<b>12</b>	<b>B40</b>	<b>C35</b>	<b>5</b>	<b>B38</b>	<b>B13</b>
Pes. Hume	80.14	76.31	88.58	74.34	79.61	83.57	85.02	89.83	90.51	81.46	90.89	86.71
Pes. Seco	76.71	72.89	84.26	70.95	76.26	79.89	81.17	85.46	89.25	80.43	89.72	85.57
Cápsula	18.31	18.02	18.66	19.96	17.88	18.45	18.67	18.12	18.36	19.71	19.62	18.48
% Humedad	5.87	6.23	6.59	6.65	5.74	5.99	6.16	6.49	1.78	1.70	1.67	1.70
Resultado	<b>6.05</b>		<b>6.62</b>		<b>5.86</b>		<b>6.32</b>		<b>1.74</b>		<b>1.68</b>	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara	<b>B19</b>	<b>B51</b>	<b>12</b>	<b>B31</b>	<b>36</b>	<b>C28</b>	<b>B35</b>	<b>20</b>	<b>2</b>	<b>B5</b>	<b>C27</b>	<b>B8</b>
Pes. Hume	85.86	83.07	90.03	82.61	78.31	77.31	78.52	82.61	85.86	83.07	90.03	82.61
Pes. Seco	84.80	82.11	89.04	81.55	62.84	61.95	63.04	66.55	68.80	67.11	72.04	66.55
Cápsula	18.28	18.14	18.64	19.6	18.32	18.03	18.64	19.6	18.28	18.14	18.64	19.6
% Humedad	1.59	1.50	1.41	1.71	34.75	34.97	34.86	34.21	33.77	32.59	33.69	34.21
Resultado	<b>1.55</b>		<b>1.56</b>		<b>34.86</b>		<b>34.54</b>		<b>33.18</b>		<b>33.95</b>	

Ensayos De Compresión - Dosificación 12												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10
Fecha de Ensayo	12/05/10	12/05/10	12/05/10	12/05/10	19/05/10	19/05/10	19/05/10	19/05/10	02/06/10	02/06/10	02/06/10	02/06/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	12.04	12.08	12.06	12.07	12.11	12.09	12.05	12.13	12.18	12.17	12.1	12.13
Diámetro (cm)	10.48	10.53	10.52	10.5	10.51	10.57	10.54	10.56	10.5	10.53	10.51	10.49
Peso gr	1075.1	1059.4	1042.2	1077.1	1057.04	1051.7	1047.1	1075.9	1602.8	1659.3	1632.1	1602.5
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1038.58	1051.99	1048.26	1045.14	1050.60	1060.88	1051.38	1062.38	1054.67	1059.83	1049.74	1048.34
Área (cm <sup>2</sup> )	86.26	87.09	86.92	86.59	86.76	87.75	87.25	87.58	86.59	87.09	86.76	86.43
Carga de Ruptura N	1086	1197	1364	1420	1509	1601	1595	1740	1920	2020	1989	1910
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>1.28</b>	<b>1.40</b>	<b>1.60</b>	<b>1.67</b>	<b>1.77</b>	<b>1.86</b>	<b>1.87</b>	<b>2.03</b>	<b>2.26</b>	<b>2.37</b>	<b>2.34</b>	<b>2.26</b>
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	12.85	14.03	16.01	16.73	17.75	18.62	18.65	20.27	22.63	23.67	23.39	22.55
Densidad H. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.04	1.01	0.99	1.03	1.01	0.99	1.00	1.01	1.52	1.57	1.55	1.53
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	<b>0.98</b>	<b>0.97</b>	<b>0.96</b>	<b>0.98</b>	<b>0.99</b>	<b>0.98</b>	<b>0.99</b>	<b>1.00</b>	<b>1.01</b>	<b>1.01</b>	<b>1.01</b>	<b>1.02</b>
Humedad	4.29				2.72				1.29			
Tipo de Falla	Columnar											

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	<b>C24</b>	<b>D7</b>	<b>D14</b>	<b>B7</b>	<b>D13</b>	<b>C23</b>	<b>B1</b>	<b>F1</b>	<b>A0</b>	<b>1</b>	<b>B44</b>	<b>B1</b>
Pes. Hume	80.3	75.79	74.88	90.96	83.34	82.22	86.32	109.69	84.15	76.03	73.12	78.53
Pes. Seco	77.33	73.15	72.77	88.04	81.34	80.12	83.01	105.50	83.37	75.31	72.35	77.76
Cápsula	17.67	17.25	17.41	18.91	17.62	18.10	18.99	20.1	17.92	16.90	18.65	18.48
% Humedad	4.98	4.72	3.81	4.22	3.14	3.39	5.17	4.91	1.19	1.23	1.43	1.30
Resultado	4.85		4.02		3.26		5.04		1.21		1.37	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara	<b>B48</b>	<b>41</b>	<b>B49</b>	<b>T18</b>	<b>9</b>	<b>D17</b>	<b>D36</b>	<b>C50</b>	<b>B60</b>	<b>C37</b>	<b>B49</b>	<b>B24</b>
Pes. Hume	74.91	70.66	76.81	82.31	80.72	73.02	73.17	79.66	84.93	78.84	73.90	81.96
Pes. Seco	74.38	70.16	76.13	81.56	65.05	59.01	58.84	63.80	67.81	63.10	60.12	66.32
Cápsula	18.69	18.73	18.64	19.12	18.74	16.87	18.24	19.12	19.02	18.70	18.64	19.21
% Humedad	0.95	0.97	1.18	1.20	33.84	33.25	35.30	35.50	35.09	35.45	33.22	33.20
Resultado	0.96		1.19		33.54		35.40		35.27		33.21	

Ensayos De Compresión - Dosificación 13												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10	05/05/10
Fecha de Ensayo	12/05/10	12/05/10	12/05/10	12/05/10	19/05/10	19/05/10	19/05/10	19/05/10	02/06/10	02/06/10	02/06/10	02/06/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	12.19	11.99	12.22	12.18	12.21	12.16	12.2	12.14	12.09	12.16	12.15	12.17
Diámetro (cm)	10.54	10.51	10.59	10.61	10.54	10.52	10.57	10.53	10.54	10.57	10.49	10.52
Peso gr	1698.7	1687.9	1723.1	1745.7	1686.4	1660.5	1687.6	1686.5	1804.8	1812.7	1820.2	1823.1
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1063.59	1040.19	1076.35	1076.88	1065.34	1056.95	1070.53	1057.22	1054.87	1067.02	1050.07	1057.82
Área (cm <sup>2</sup> )	87.25	86.76	88.08	88.41	87.25	86.92	87.75	87.09	87.25	87.75	86.43	86.92
Carga de Ruptura N	1837	1884	1813	1976	2332	2384	2371	2487	3645	3785	3730	3631
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>2.148</b>	<b>2.216</b>	<b>2.100</b>	<b>2.281</b>	<b>2.727</b>	<b>2.799</b>	<b>2.757</b>	<b>2.914</b>	<b>4.263</b>	<b>4.401</b>	<b>4.404</b>	<b>4.263</b>
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	<b>21.484</b>	<b>22.159</b>	<b>21.003</b>	<b>22.806</b>	<b>27.273</b>	<b>27.987</b>	<b>27.572</b>	<b>29.141</b>	<b>42.629</b>	<b>44.015</b>	<b>44.039</b>	<b>42.626</b>
Densidad H. (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.60</b>	<b>1.62</b>	<b>1.60</b>	<b>1.62</b>	<b>1.58</b>	<b>1.57</b>	<b>1.58</b>	<b>1.60</b>	<b>1.71</b>	<b>1.70</b>	<b>1.73</b>	<b>1.72</b>
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.18</b>	<b>1.19</b>	<b>1.18</b>	<b>1.19</b>	<b>1.19</b>	<b>1.19</b>	<b>1.18</b>	<b>1.20</b>	<b>1.19</b>	<b>1.18</b>	<b>1.19</b>	<b>1.20</b>
Humedad	<b>26.43</b>				<b>25.56</b>				<b>30.81</b>			
Tipo de Falla	Columnar											

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	<b>C50</b>	<b>100</b>	<b>C45</b>	<b>T1</b>	<b>B88</b>	<b>12</b>	<b>A12</b>	<b>B4</b>	<b>B88</b>	<b>12</b>	<b>A12</b>	<b>B4</b>
Pes. Hume	74.92	90.17	75.91	103.96	74.51	86.73	139.13	75.22	76.76	86.70	136.13	74.22
Pes. Seco	63.13	75.54	63.80	87.21	63.01	72.83	114.55	63.03	65.70	72.36	114.55	63.03
Cápsula	18.34	20.0	18.31	23.77	18.83	19.40	22.60	17.86	17.35	19.40	24.60	17.86
% Humedad	26.32	26.34	26.62	26.40	26.03	26.02	26.73	26.99	22.87	27.08	23.99	24.77
Resultado	<b>26.33</b>		<b>26.51</b>		<b>26.02</b>		<b>26.86</b>		<b>24.98</b>		<b>24.38</b>	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara	<b>P15</b>	<b>105</b>	<b>18</b>	<b>100</b>	<b>B88</b>	<b>D13</b>	<b>C52</b>	<b>B7</b>	<b>B19</b>	<b>C6</b>	<b>A0</b>	<b>C4</b>
Pes. Hume	73.81	85.70	97.97	102.21	75.93	62.64	68.51	70.24	65.89	63.16	64.88	67.52
Pes. Seco	62.70	72.36	82.76	84.89	62.22	52.17	56.62	58.28	54.41	52.44	53.91	56.06
Cápsula	18.63	19.40	19.76	17.86	18.62	17.12	18.51	18.42	18.28	18.21	17.93	18.32
% Humedad	25.21	25.19	24.14	25.84	31.44	29.87	31.20	30.01	31.77	31.32	30.49	30.37
Resultado	<b>25.20</b>		<b>24.99</b>		<b>30.66</b>		<b>30.60</b>		<b>31.55</b>		<b>30.43</b>	

Ensayos De Compresión - Dosificación 14												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10
Fecha de Ensayo	14/05/10	14/05/10	14/05/10	14/05/10	21/05/10	21/05/10	21/05/10	21/05/10	04/06/10	04/06/10	04/06/10	04/06/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	12.07	12.1	12.08	12.07	12.09	12.10	12.06	12.08	12.09	12.15	12.13	12.1
Diámetro (cm)	10.49	10.54	10.54	10.52	10.44	10.46	10.49	10.48	10.52	10.51	10.49	10.51
Peso gr	1625.3	1619.6	1644.8	1613.4	1721.8	1716.8	1736.4	1688.3	1664	1691.3	1678.1	1687.5
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1043.15	1055.74	1053.99	1049.13	1034.94	1039.77	1042.29	1042.03	1050.87	1054.08	1048.34	1049.74
Área (cm <sup>2</sup> )	86.43	87.25	87.25	86.92	85.60	85.93	86.43	86.26	86.92	86.76	86.43	86.76
Carga de Ruptura N	2402	2535	2342	2464	3441	3473	3321	3470	4851	4680	4823	4952
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>2.84</b>	<b>2.96</b>	<b>2.74</b>	<b>2.89</b>	<b>4.10</b>	<b>4.12</b>	<b>3.92</b>	<b>4.10</b>	<b>5.69</b>	<b>5.50</b>	<b>5.69</b>	<b>5.82</b>
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	28.36	29.65	27.39	28.93	41.02	41.24	39.21	41.05	56.95	55.05	56.94	58.25
Densidad H. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.56	1.53	1.56	1.54	1.66	1.65	1.67	1.62	1.58	1.60	1.60	1.61
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.18</b>	<b>1.18</b>	<b>1.19</b>	<b>1.18</b>	<b>1.19</b>	<b>1.20</b>	<b>1.19</b>	<b>1.19</b>	<b>1.20</b>	<b>1.20</b>	<b>1.19</b>	<b>1.20</b>
Humedad	<b>23.54</b>				<b>27.89</b>				<b>24.75</b>			
Tipo de Falla	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar	Columnar

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	<b>B4</b>	<b>A7</b>	<b>777</b>	<b>C44</b>	<b>B51</b>	<b>YZ2</b>	<b>B13</b>	<b>B8</b>	<b>B5</b>	<b>C27</b>	<b>388</b>	<b>380</b>
Pes. Hume	126.4	83.72	76.58	70.8	83.5	83.89	91.58	81.91	72.38	66.72	69.41	70.27
Pes. Seco	107.13	70.71	65.89	60.90	71.10	71.58	77.80	69.93	60.39	55.88	56.80	57.53
Cápsula	26.2	18.4	19.47	18.2	18.14	19.71	18.48	17.96	18.55	18.0	10.41	11.9
% Humedad	23.81	24.87	23.03	23.19	23.41	23.73	23.23	23.05	28.66	28.61	27.18	27.92
Resultado	<b>24.34</b>		<b>23.11</b>		<b>23.57</b>		<b>23.14</b>		<b>28.63</b>		<b>27.55</b>	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara	<b>C28</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>404</b>	<b>B9</b>	<b>AC</b>	<b>13</b>	<b>B40</b>	<b>11</b>	<b>C44</b>	<b>G52</b>	<b>B51</b>
Pes. Hume	64.68	67.91	74.32	79.55	72.46	69.46	76.68	79.41	68.43	71.58	75.46	73.52
Pes. Seco	54.10	57.39	62.51	65.23	61.87	59.39	64.91	67.23	58.34	60.69	64.11	62.23
Cápsula	18.03	19.90	18.16	11.69	18.30	17.63	19.28	18.12	18.82	18.19	18.37	18.15
% Humedad	29.33	28.06	26.63	26.75	24.31	24.11	25.79	24.80	25.53	25.62	24.81	25.61
Resultado	<b>28.70</b>		<b>26.69</b>		<b>24.21</b>		<b>25.30</b>		<b>25.58</b>		<b>25.21</b>	

Ensayos De Compresión - Dosificación 15												
Cilindro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fecha de Fabricación	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10	07/05/10
Fecha de Ensayo	14/05/10	14/05/10	14/05/10	14/05/10	21/05/10	21/05/10	21/05/10	21/05/10	04/06/10	04/06/10	04/06/10	04/06/10
Edad (Días)	7	7	7	7	14	14	14	14	28	28	28	28
Altura (cm)	12.09	12.05	12.18	12.08	12.10	12.01	12.09	12.10	12.13	12.21	12.15	12.17
Diámetro (cm)	10.54	10.48	10.51	10.56	10.48	10.51	10.49	10.52	10.52	10.49	10.51	10.52
Peso gr	1715.4	1726.9	1735.3	1728.4	1801.1	1801.6	1815.1	1857.9	1793.3	1807.0	1775.6	1827.4
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1054.87	1039.44	1056.68	1058.00	1043.75	1041.93	1044.88	1051.74	1054.34	1055.25	1054.08	1057.82
Área (cm <sup>2</sup> )	87.25	86.26	86.76	87.58	86.26	86.76	86.43	86.92	86.92	86.43	86.76	86.92
Carga de Ruptura N	3991	3813	3876	3879	5296	5334	5337	5239	7450	6913	7532	6932
Resiste. (Kg/cm <sup>2</sup> )	4.67	4.51	4.56	4.52	6.26	6.27	6.30	6.15	8.75	8.16	8.86	8.14
Resiste. (T/m <sup>2</sup> )	46.68	45.11	45.59	45.19	62.65	62.74	63.01	61.50	87.46	81.62	88.59	81.38
Densidad H. (gr/cm <sup>3</sup> )	1.63	1.66	1.64	1.63	1.73	1.73	1.74	1.77	1.70	1.71	1.68	1.73
Densidad S.(gr/cm <sup>3</sup> )	1.25	1.25	1.26	1.25	1.26	1.25	1.26	1.26	1.27	1.28	1.26	1.28
Humedad	23.61				27.76				25.10			
Tipo de Falla	Columnar											

Humedad												
Muestra	1		2		3		4		5		6	
Tara	B40	B7	12	C77	C24	T1	A12	B19	18	AA	Z2	E5
Pes. Hume	84.53	99.74	77.53	78.64	85.36	121.26	141.71	81.00	98.6	87.57	71.12	95.77
Pes. Seco	72.13	84.57	65.97	67.05	72.48	102.69	119.41	69.14	81.92	73.17	57.78	79.04
Cápsula	18.08	18.88	18.61	19.91	17.66	23.73	24.53	18.25	19.82	20.52	9.63	18.77
% Humedad	22.94	23.09	24.41	24.59	23.50	23.52	23.50	23.31	26.86	27.35	27.71	27.76
Resultado	23.02		24.50		23.51		23.40		27.11		27.73	
Muestra	7		8		9		10		11		12	
Tara	B35	36	X1	10A	41	40	B23	C77	12	C35	D13	B1
Pes. Hume	75.11	76.23	92.5	87.08	81.2	80.47	80.67	76.44	74.73	71.75	64.08	69.42
Pes. Seco	62.79	63.80	76.35	71.99	68.87	67.80	68.35	64.99	63.79	60.80	54.35	58.99
Cápsula	18.32	18.33	19.90	19.52	18.73	18.83	18.08	19.95	18.65	18.38	17.63	18.51
% Humedad	27.71	27.34	28.61	28.76	24.59	25.87	24.51	25.42	24.24	25.81	26.50	25.77
Resultado	27.52		28.68		25.23		24.96		25.03		26.13	

# ANEXO 5

---

**Mano de Obra**

	S. Basico	F. de Rese.	10/3ro	10/4 to	F. mayora.
Ayudante Albanil	\$ 240.00	\$ 21.00	\$ 20.00	\$ 20.00	\$ 1.64
Oficial Albanil	\$ 240.00	\$ 21.00	\$ 20.00	\$ 20.00	\$ 1.64
M. Mayor	\$ 1.000.00	\$ 87.50	\$ 83.33	\$ 20.00	\$ 1.64
Op. Tractor o ruedas (bulldozer, topador)	\$ 350.00	\$ 30.63	\$ 29.17	\$ 20.00	\$ 1.64
Op. Rodillo Autopropulsado GRUP II	\$ 350.00	\$ 30.63	\$ 29.17	\$ 20.00	\$ 1.64
Chofer Licencia tipo D	\$ 450.00	\$ 39.38	\$ 37.50	\$ 20.00	\$ 1.64
Ayudane maquinaria Pesada	\$ 240.00	\$ 21.00	\$ 20.00	\$ 20.00	\$ 1.64
Op. Motoniveladora	\$ 350.00	\$ 30.63	\$ 29.17	\$ 20.00	\$ 1.64

	IESS	S. N. Total	H. Efec.	Costo Nom. Hr	Costo Efectivo
Ayudante Albanil	\$ 30.60	\$ 333.24	160	\$ 2.083	\$ 3.42
Oficial Albanil	\$ 30.60	\$ 333.24	160	\$ 2.083	\$ 3.42
M. Mayor	\$ 127.50	\$ 1.319.98	160	\$ 8.250	\$ 13.56
Op. Tractor o ruedas (bulldozer, topador)	\$ 44.63	\$ 476.06	160	\$ 2.975	\$ 4.89
Op. Rodillo Autopropulsado GRUP II	\$ 44.63	\$ 476.06	160	\$ 2.975	\$ 4.89
Chofer Licencia tipo D	\$ 57.38	\$ 605.89	160	\$ 3.787	\$ 6.23
Ayudane maquinaria Pesada	\$ 30.60	\$ 333.24	160	\$ 2.083	\$ 3.42
Op. Motoniveladora	\$ 44.63	\$ 476.06	160	\$ 2.975	\$ 4.89

**Materiales**

Material	Unidad	Precio	Cantidad m <sup>3</sup>	Precio Un.
Arena	m <sup>3</sup>	35	6	5.8333
Cemento	kg	6.88	50	0.1376
Agua	lt	0.001	1	0.001