

## **EVALUACIÓN DE PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA (RDC) ELABORADOS CON ADITIVOS ESPUMÍGENOS APLICADO COMO SUB BASE DE PAVIMENTOS.**

### **1.1 INTRODUCCIÓN.**

Los rellenos de densidad controlada (RDC) también llamados rellenos fluidos, son muy utilizados en la construcción por su fácil colocación sin la necesidad de ser compactados. Son empleados en una gran variedad de casos: rellenos de zanjas, bacheo de calles, contrapisos livianos, bases y sub-bases de pavimentos rígidos y flexibles entre otros. Este material es conocido desde los años '50. Sin embargo, no se tiene suficiente información sobre sus propiedades, tanto en estado fresco como endurecido.

Los rellenos de densidad controlada (RDC) fueron por primera vez utilizados en el Proyecto del Acueducto del Río Canadá en Texas, EEUU en el año 1946, con el fin de proveer un producto más económico y de fácil aplicación para el relleno de zanjas para tuberías.

En los años '70 el comportamiento de este material comenzó a ser estudiado en la Universidad de Toledo, Ohio, como alternativa del suelo – cemento compactado utilizando cenizas volantes, pudiendo ser producido en plantas elaboradoras de hormigón. Como consecuencia de ello surge la primera empresa productora con la patente del material denominado “K-Krete”.

A comienzos de los años '80 este material era empleado para distintos fines, pero no existían normativas ni recomendaciones técnicas sobre el mismo. Es para ello que en 1984 se conforma el Comité ACI 299”Controlled Low Strength Materials”, quien publica su primer reporte, el cual es aprobado en 1994 y publicado en la “ACI Meeting Montreal” en 1995.

Esta publicación es una guía del material con las dosificaciones que eran usadas en ese momento. Estas no incluían ningún aditivo químico en particular. La guía menciona el uso de incorporadores de aire pero hasta un 20% y se menciona la incorporación de espuma preformada en un capítulo especial dedicado al “Low Density CLSM” (LD-CLSM). No

tiene en cuenta la posible aplicación de un aditivo espumígeno. Este último es el material clave en la presente investigación.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN.**

En los pavimentos rígidos existen casos para los cuales se cuenta con una sub base entre la losa de hormigón y la subrasante. Esta sub base suele estar conformada por materiales estabilizados (suelo cal, estabilizados granulares, etc.). La aplicación del presente trabajo de investigación es para casos especiales, donde no hay una forma común de colocar material de sub base debajo una losa hidráulica o pavimento, no es para formar capas de sub base normales, ósea de conformación de sub base, son para rellenar espacios dejados por material de sub base ante la pérdida de finos o el asentamiento de materiales de capas inferiores, es de esta manera la aplicación del relleno de densidad controlada en cuestión de pavimento y en cuestión de drenaje para rellenos de la tubería como es difícil rellenar con material compactado se está haciendo común aplicar rellenos de densidad controlada para facilitar el trabajo y ganar tiempo aunque tenga mayor costo.

La siguiente investigación pretende solucionar un problema que se presenta en las capas sub base de pavimentos aplicando rellenos de densidad controlada elaborados con aditivos espumígenos como relleno de material faltante en esta capa de pavimento.

Mediante esta investigación se busca obtener y evaluar muestras en laboratorio de rellenos de densidad controlada elaborados con aditivos espumígenos utilizando materiales de la zona, que se comporten satisfactoriamente como rellenos de material de capa sub base de pavimentos, siendo estas determinadas y analizadas por ensayos de control para de esta manera conocer sus propiedades y características.

Con la investigación también se pretende obtener un nuevo método y por ende una nueva alternativa en la sub base de pavimentos, utilizando rellenos de densidad controlada (RDC) elaborados con aditivos espumígenos en sub base de pavimentos.

Esta investigación constituye un buen aporte académico para la Facultad de Ciencias y Tecnología y específicamente para la carrera de Ingeniería Civil, así conocer más sobre las características y propiedades de los rellenos de densidad controlada (RDC) elaborados con aditivos espumígenos aplicado en sub base de pavimentos. En base a esta investigación y

sus resultados se analizará si resulta factible o no aplicar este método de relleno y reposición de material en capas sub base de pavimentos en carreteras.

Será de gran ayuda para nuestra región, debido a que con esta investigación se conocen las propiedades y características de los rellenos de densidad controlada (RDC) elaborados con aditivos espumígenos en sub base de pavimentos y en base a los resultados que se obtengan de la investigación se realiza un análisis para poner en práctica en nuestra región, usando como parámetros los resultados de esta investigación.

### **1.3 DISEÑO TEÓRICO.**

#### **1.3.1 Planteamiento del Problema.**

##### **1.3.1.1 Situación problemática.**

En el país y especialmente en nuestra ciudad, se ha observado a través del tiempo, que los pavimentos flexibles y rígidos, han sufrido gran deterioro, debido a grandes problemas, entre los que se presenta la mala calidad de los bancos de material selecto utilizado y puesto en obra designado para las últimas capas como sub-base y base no están dentro de los parámetros que exigen las normativas de la construcción (especificaciones técnicas). Es por esta razón que los pavimentos no cumplen con los años de vida útil para los cuales han sido diseñados, generando grandes costos en su mantenimiento y reparación.

##### **1.3.1.2 Problema.**

¿Si se aplican rellenos de densidad controlada elaborados con aditivos espumígenos, se pueden solucionar los problemas de pérdida de material en las capas sub base de pavimentos en nuestro medio?

#### **1.3.2 Objetivos de Investigación.**

Para la realización de esta investigación se plantean los siguientes objetivos:

##### **1.3.2.1 Objetivo general.**

- El objetivo general de esta investigación es el de realizar una evaluación de las características y propiedades de los rellenos de densidad controlada (RDC) elaborados con aditivos espumígenos aplicado como sub base de pavimentos utilizando materiales de nuestro medio.

### **1.3.2.2 Objetivos específicos.**

- Analizar información sobre los rellenos de densidad controlada (RDC) en sub base de pavimentos.
- Analizar las propiedades y características de los materiales para capa sub base en pavimentos.
- Analizar las bases para la utilización de los RDC además de su procedimiento de control tanto en laboratorio como en obra.
- Obtener las muestras de materiales para realizar la investigación.
- Realizar la caracterización de los materiales para producir rellenos de densidad controlada (RDC).
- Elaborar fluidos hidráulicos con la dosificación adecuada.
- Simular en laboratorio briquetas y probetas tipo de rellenos de densidad controlada.
- Realizar un análisis sobre los resultados obtenidos.
- Establecer las conclusiones y recomendaciones sobre el trabajo de investigación realizado.

### **1.3.3 Hipótesis.**

Si utilizamos aditivos espumígenos en la elaboración de sub bases con densidad controlada entonces las propiedades y características de la sub base se modifican.

### **1.3.4 Variables.**

Variable Independiente.- Sub base con aditivo espumígeno.

Variable Independiente.- Las características y propiedades de la sub base.

### **1.3.5 Alcance.**

Los rellenos de densidad controlada (RDC) también llamados rellenos fluidos, son muy utilizados en la construcción por su fácil colocación sin la necesidad de ser compactados. Son empleados en una gran variedad de casos: rellenos de zanjas, bacheo de calles, contrapisos livianos, bases y sub-bases de pavimentos rígidos y flexibles entre otros. Este material es conocido desde los años '50. Sin embargo, no se tiene suficiente información sobre sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido.

La presente investigación pretende ampliar los conocimientos sobre el comportamiento de los RDC elaborados con aditivo espumígenos aplicados como rellenos de material faltante en capas sub bases de pavimentos.

La investigación se realizará de acuerdo a los requisitos y especificaciones de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) y otras normas vigentes en nuestro país.

Mediante la presente investigación se pretende dosificar y ajustar los rellenos de densidad controlada con adecuada precisión en laboratorio, pudiéndose especificar y predecir sus propiedades tanto en estado fresco como en endurecido. También se pretende obtener requisitos mínimos para que el material se comporte satisfactoriamente como sub base de pavimentos con la incorporación de aditivos espumígenos.

En base a los resultados obtenidos, se conocerán las propiedades y características de los rellenos de densidad controlada (RDC) elaborados con aditivos espumígenos aplicados como sub base de pavimentos y se analizará si su comportamiento es óptimo y garantiza la correcta funcionalidad de la capa sub base de pavimentos.

En el capítulo primero se pretende dar una breve introducción de antecedentes, también se justifica la inquietud que motiva a la elección del trabajo de investigación, se menciona el problema por el cual se decidió a la realización de la investigación, se consideran los objetivos que se pretenden alcanzar con la realización del tema planteado, así como el diseño metodológico.

En el capítulo segundo se realiza un estudio minucioso sobre generalidades y conceptos de materiales para capas sub base, se analizan los fundamentos y características de los materiales para capas sub base de pavimentos de cómo estos intervienen en la buena funcionabilidad de los pavimentos. Se hará referencia a los requerimientos que exige la ABC para capas sub base de pavimentos y de las características más importantes de los suelos.

También se incorporan los rellenos de densidad controlada para adquirir conceptos básicos que van a servir de apoyo para realizar la investigación. Luego se estudia las características y propiedades de los rellenos de densidad controlada aplicados en capas sub base. Se toca en profundidad el tema de los rellenos de densidad controlada en capas sub base elaborados con aditivos espumígenos, el cual es motivo y tema de investigación.

En el capítulo tercero se expondrá todo el trabajo de investigación, estableciendo la ubicación y características de la procedencia de los materiales, determinando las propiedades fundamentales de los materiales a ser estudiados. Se realizará la dosificación de los rellenos de densidad controlada (RDC) para capas sub base, incorporando aditivos espumígenos. Se realizaran los ensayos de control. Por último se expondrá el análisis y cálculo de los resultados respectivos referente a todo el trabajo de investigación realizado.

En el capítulo cuarto se darán a conocer las conclusiones y recomendaciones necesarias sobre este trabajo de investigación referente a la evaluación de las propiedades y características de los rellenos de densidad controlada (RDC) elaborados con aditivos espumígenos aplicados en capas sub base de pavimentos. Se darán a conocer un registro de datos y resultados de la investigación esperando que este trabajo sirva de aporte a estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil o personas interesadas que requieran información sobre el tema de investigación.

## **1.4 DISEÑO METODOLÓGICO.**

### **1.4.1 Unidad de Estudio.**

Las propiedades y características de la sub base de pavimentos.

### **1.4.2 Población.**

Analizar las propiedades y características de la sub base de pavimentos con rellenos de densidad controlada elaborados con aditivos espumígenos.

### **1.4.3 Muestra.**

La muestra son los ensayos que se realiza en laboratorio con las diferentes combinaciones de rellenos de densidad controlada elaborados con aditivos espumígenos y su posterior análisis en gabinete.

### **1.4.4 Medios.**

El trabajo de investigación se realiza a través de los siguientes medios:

Con información y bibliografía respecto a los rellenos de densidad controlada (RDC) se tendrá conocimiento de sus propiedades y características, también se contara con

información respecto a las características y propiedades de los materiales utilizados para sub bases de pavimentos y de aditivos espumígenos de esta manera se obtienen los datos preliminares necesarios para el estudio de investigación que se está realizando.

Se parte de la información de los requisitos y especificaciones técnicas de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) en sub base de pavimentos.

Se cuenta también con el Laboratorio de Suelos perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para la aplicación práctica del presente trabajo de investigación, el que cuenta con los equipos precisos para realizar los ensayos correspondientes y necesarios, tanto para garantizar la calidad de la capa sub base como para la elaboración de las mezclas de los rellenos de densidad controlada y la correcta dosificación con los aditivos espumígenos que son necesarios para este trabajo de investigación.

#### **1.4.5 Metodología.**

La metodología a usarse para la aplicación práctica de este trabajo de investigación es la siguiente:

Para comenzar, se realizará la ubicación clara de la procedencia de los materiales que serán necesarios para la aplicación práctica de la investigación, saber a qué distancias se encuentran, luego realizar una inspección de las zonas de procedencia para saber las características de las zonas y realizar una correcta toma de muestras para el estudio de estos materiales.

Posteriormente, estas muestras de arena serán sometidas a los ensayos correspondientes para determinar sus características fundamentales, los ensayos que se realizaran son: granulometría, peso específico, peso unitario, equivalente de arena y materia orgánica, los que garantizan la calidad del agregado fino para rellenos de densidad controlada, todos estos ensayos se realizan en base a las guías de laboratorio con las que cuenta la universidad.

Después de aplicar todos los estudios anteriormente mencionados, con los resultados obtenidos se continúa con el proceso de la evaluación en laboratorio de las mezclas de los rellenos de densidad controlada, para luego seguir con los ensayos de control de las mezclas, su procedimiento y sus resultados.

Los ensayos de aplicación se realizan en el laboratorio de la universidad, utilizando briquetas y probetas tipo, en las cuales se simulan los rellenos de densidad controlada elaborados con aditivos espumígenos aplicado como sub base de pavimentos.

Luego de llevar a cabo todos los trabajos de laboratorio necesarios, se hará un análisis y una evaluación de todos los resultados obtenidos.

Por último en base los estudios realizados, se sacan las conclusiones correspondientes y se dan las recomendaciones necesarias del estudio de investigación realizado sobre la evaluación de propiedades y características de los rellenos de densidad controlada (RDC) elaborados con aditivos espumígenos aplicado como sub base de pavimentos, resaltando los aspectos más importantes que se hayan presentado durante el proceso, señalando los problemas que podríamos haber tenido.

#### **1.4.6 Tratamiento Estadístico.**

Utilizar la estadística descriptiva con los siguientes indicadores de tendencias:

- Media
- Desviación estándar
- Coeficiente de variación

## **CAPÍTULO II**

### **ASPECTOS GENERALES SOBRE MATERIALES PARA CAPAS SUB BASE Y RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA.**

#### **2.1 GENERALIDADES.**

- **Definición de pavimentos.**

Pavimento es la capa o conjunto de capas comprendida (s) entre la subrasante y la superficie de rodamiento de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de vehículos, el intemperismo producido por los agentes naturales y a cualquier otro agente perjudicial. Estructuralmente un pavimento tiene la función de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que ésta no se deforme de manera perjudicial.

Entre las principales funciones que desempeñan los pavimentos están el aislamiento y la ornamentación, pero al mismo tiempo deben resistir las abrasiones y los punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos y la compresión de los elementos que se apoyan. Además, muchos pavimentos tienen que ser inmunes a la acción de agentes químicos, como agua, aceites, sales o ácidos, a las agresiones de seres vivos e incluso a la propia luz solar.

Un pavimento está formado por diversas capas de mejor calidad y mayor costo, cuanto más cercanas se encuentran a la superficie de rodamiento; ello se debe principalmente a la mayor intensidad de los esfuerzos que les son transmitidos.

Para cumplir sus funciones, un pavimento debe satisfacer dos condiciones básicas: ofrecer una buena y resistente superficie de rodamiento, con la rugosidad necesaria para garantizar buena fricción con la llanta de los vehículos y con el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos; en segundo lugar, debe poseer la resistencia apropiada y las características mecánicas convenientes para soportar las cargas impuestas por el tránsito sin falla y con deformaciones que no sean permanentes y que garanticen un tráfico en buenas condiciones.

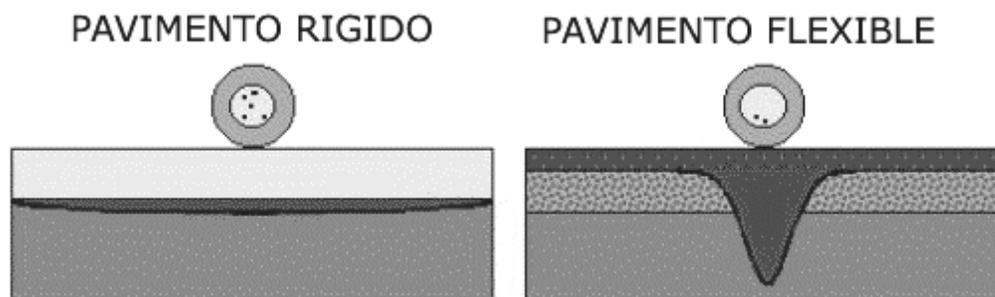
Las características de resistencia y deformabilidad se satisfacen con una capa de material que se encargue de distribuir los esfuerzos de tal modo que a la subrasante lleguen en

niveles tolerables, que no produzcan falla, ni asentamientos u otras deformaciones perjudiciales. Esta capa debe estar formada por materiales friccionantes que son los más adecuados para llenar esta función estructural; esta capa es la base en pavimentos flexibles. La losa de concreto en pavimentos rígidos cumple la misma función estructural. La capacidad de carga de los materiales friccionantes es baja en la superficie por falta de confinamiento, razón por la que se requiere que sobre la base exista una capa de material cohesivo y con resistencia a la tensión; en pavimentos flexibles ésta es la carpeta asfáltica que tiene además que cubrir las condiciones de buena superficie de rodamiento. En los pavimentos rígidos la misma losa de concreto llena esta necesidad, por sus características de cohesión.

- **Tipos de pavimentos.**

En general los pavimentos se dividen en dos tipos: los pavimentos rígidos de concreto hidráulico y los pavimentos flexibles o de asfalto. La diferencia estructural entre ellos estriba en que los pavimentos flexibles presentan muy poca resistencia a la flexión.

**FIGURA 1. Transmisión de Esfuerzos en Pavimentos.**



**Fuente:** *Ingeniería de pavimentos “Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías” Alfonso Montejo Fonseca*

En el pavimento rígido, el hormigón absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo es transmitido hacia las capas inferiores.

- **Pavimentos flexibles.**

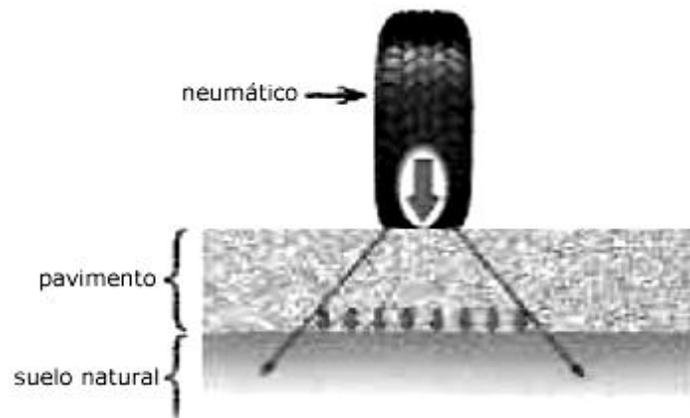
Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa obtenido del asfalto o petróleo, y de los productos de la hulla, apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas,

mezcla de agregado grueso o fino (piedra machacada, grava y arena), denominadas base y sub-base; la calidad de esas capas es descendente hacia abajo.

Esta mezcla es compacta, pero lo bastante plástica para absorber grandes golpes y soportar un elevado volumen de tráfico pesado.

- **Pavimentos rígidos.**

**FIGURA 2. Distribución de Esfuerzos Pavimento Rígido.**



**Fuente:** *Ingeniería de pavimentos “Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías” Alfonso Montejo Fonseca*

Los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico (mezcla de cemento Portland y agregado fino y grueso), con recubrimiento bituminoso o sin él, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado (grava y arena).

El espesor del pavimento puede variar de 15 a 45 cm, dependiendo del volumen de tráfico que deba soportar.

Los concretos usados son de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 210 kg/cm<sup>2</sup> y 350 kg /cm<sup>2</sup> a los 28 días. En general, se usa concreto simple y, ocasionalmente, reforzado. Las losas de concreto simple son de dimensiones pequeñas, del orden de 4 metros a 8 metros; estas dimensiones aumentan al usar algún refuerzo y llegan a los 100 metros en concretos presforzados. Los espesores usados para las losas son del mismo orden usando o no refuerzo.

Cuando este pavimento se construye en forma adecuada y se controlan las exigencias de calidad tienen larga vida y un costo de mantenimiento relativamente bajo.

Aparte de los tipos de pavimentos mencionados existe actualmente el llamado semirrígido que es, esencialmente, un pavimento flexible a cuya base se ha dado una rigidez alta por la adición de cemento o asfalto (base negra).

- **Composición del pavimento rígido.**

Un pavimento rígido está compuesto principalmente de los siguientes elementos:

Sub-rasante.- Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la sub-rasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la sub-rasante. Se considera como la cimentación del pavimento y una de sus funciones principales es la de soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, así como evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

Sub Base.- Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de sub-rasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub base. La sub base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una sub-rasante o sub base adecuada.

Capa de Rodadura ( Losa de Concreto).- Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la sub-rasante, dado que no usan capa de base.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA CAPAS SUB BASE EN PAVIMENTOS.**

La capa sub base es la capa de la estructura de pavimento que está destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura del pavimento, de tal manera que la capa de sub-rasante pueda soportar los esfuerzos. La capa sub base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares.

Además de encontrarnos algunas veces con sub-rasantes de mala calidad, ya sea muy plástica y con mucha cantidad de finos, surge también el incremento del tráfico de vehículos pesados en las carreteras, y la necesidad de un apoyo adecuado en la vida de las losas de concreto. Como consecuencia, en la actualidad se ha establecido la norma de construir una sub base apropiada. Esta sub base consiste de una capa de material granular que cumpla con el C.B.R requerido.

Los materiales están compuestos por gravas, gravas arenosas, mezclas de arena, limo, gravas, etc. El material empleado deberá tener las condiciones para cumplir de forma adecuada y garantizar las principales funciones de la capa sub-base.

Las principales funciones de la sub base de un pavimento rígido son las siguientes:

- 1.- Proporcionar apoyo uniforme a la losa de concreto.
- 2.- Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo, respecto a lo que es común en las terracerías y capa Sub rasante.
- 3.- Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que puedan tener lugar en el suelo que forme las terracerías o la Sub rasante.

4.- Reducir a un mínimo las consecuencias de la congelación de los suelos de las terracerías o de la capa Sub rasante.

### 2.2.1 Especificaciones de Capas Sub Base Según Normas.

Según la norma ABC usada en nuestro país la capa sub base granular debe cumplir con las siguientes especificaciones en su construcción:

**Descripción.-** Los materiales a ser empleados en la capa sub base deben presentar un índice de soporte de California (CBR) comprendidos entre 20 – 50% y una expansión máxima de 1%, siendo estos índices determinados con la energía de compactación del ensayo AASHTO T-180-D y para la densidad seca correspondiente al 97% de la máxima. El material para la sub base no deberá presentar índice de plasticidad mayor que 6 (IP menor o igual a 6) y límite líquido mayor que 25 (LL menor o igual a 25), módulo de elasticidad  $E_{sb} = 1700$  Psi con un diámetro inicial de losa inicial  $D = 6$  pulgadas = 15 centímetros y Modulo Resiliente de 7607,17 (Psi) las cuales el contratista deberá determinar mediante los ensayos respectivos.

La sub-base será efectuada con materiales que cumplan con las siguientes granulometrías:

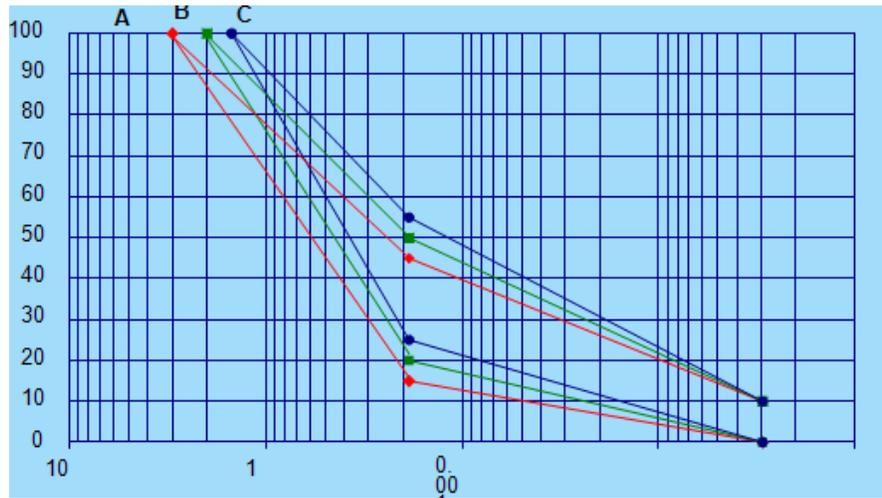
*Tabla N° 1. Graduaciones para Materiales de sub-base.*

TAMIZ	TIPO DE GRADACIÓN		
	A	B	C
4"	100	-	-
3"	-	100	-
1 ½"	-	-	100
1"	-	-	-
¾"	-	-	-
3/8"	-	-	-
Nº 4	15 – 45	20 – 50	25 – 55
Nº 10	-	-	-
Nº 40	-	-	-
Nº 200	0 – 10	0 – 10	0 – 10

*Fuente: Manual ABC.*

En la figura siguiente se muestra la faja de gradación donde el eje horizontal muestra los tamices en milímetros y la vertical muestra el % de material que pasa.

**Fig. 3. Faja de Gradación A, B y C para sub-base.**



*Fuente: Manual ABC.*

**Equipo.-** Se requieren los siguientes tipos de equipo para la ejecución de la sub-base:

- Planta seleccionadora o dosificador, si es necesario.
- Equipo de extracción y transporte.
- Motoniveladora pesada con escalificador.
- Camión tanque distribuidor de agua (Camión cisterna).
- Rodillos compactadores lisos vibratorios y neumáticos.

Además podrá ser utilizado otro tipo, aceptado previamente por el ingeniero.

**Ejecución.-** Comprende las operaciones de distribución, mezcla, humedecimiento o desecación, compactación y acabado de los materiales transportados del yacimiento (Chancadora), realizadas sobre la subrasante debidamente preparada y en el ancho establecido, en cantidades que permitan llegar al espesor proyectado luego de su compactación.

Cuando hubiera necesidad de ejecutar capas sub-base con espesor final superior a 25 cm, éstas serán subdivididas en capas parciales que no excedan de 20 cm; el espesor mínimo de cualquier capa de sub-base será de 10 cm después de su compactación.

Las densidades de la capa acabada deberán ser como mínimo de 100% de la densidad máxima determinada según el ensayo AASHTO T-180-D, el contenido de humedad deberá variar como máximo entre  $\pm$  entre 2% de la humedad óptima obtenida en el ensayo anterior. La limpieza, de los yacimientos deberá ser ejecutada cuidadosamente de tal manera que se evite la contaminación del material aprobado. Así como desperdicios del mismo. El material esparcido sobre la capa inferior aprobada de modo que se evite la segregación, y en cantidad tal que permita obtener el espesor programado después de su compactación. El material transportado hasta la plataforma deberá ser inmediatamente esparcido para evitar la concentración del tráfico sobre las fajas limitadas de la capa inferior.

### **Control Tecnológico**

Serán ejecutados los siguientes ensayos:

1. Un ensayo de compactación para la determinación de la densidad máxima según el método AASHTO T-180-D, con un espaciamiento máximo de 100 metros lineales, con las muestras recogidas en puntos que obedezcan siempre el orden: borde derecho, eje, borde izquierdo, eje, borde derecho, etc., a 60 cm del borde. El número de ensayos de compactación podrá ser reducido siempre que se verifique una homogeneidad del material y criterio del ingeniero.
2. Determinación de la densidad en sitio cada 100 metros lineales en los puntos donde fueran obtenidas las muestras para los ensayos de compactación.
3. Determinación del contenido de humedad cada 100 metros lineales inmediatamente antes de la compactación.
4. Ensayos de granulometría, de límite líquido y límite plástico, según los métodos AASHTO T-27, AASHTO T-89 y AASHTO T-99 respectivamente, con espaciamiento máximo de 150 metros lineales.

5. Un ensayo del Índice de Soporte California (CBR), para 12, 25 y 56 golpes y la humedad óptima del ensayo AASHTO T-180 D con un espaciamiento máximo de 500 metros lineales.

Para la aceptación, serán considerados los valores absolutos de los resultados de los ensayos.

### **Control Geométrico.**

Después de la ejecución de la capa sub-base, se procederá al control de niveles del eje y los bordes permitiéndose las siguientes tolerancias:

1. Variación máxima en el ancho de más (+) 10 cm, no admitiéndose variaciones en menos (-).
2. Variación máxima en el bombeo de más (+) 0.5% no admitiéndose variaciones en menos (-).
3. Variación máxima de cotas para el eje y para los bordes de menos (-) 2 cm, respecto a las cotas del proyecto.
4. Variación máxima de menos (-) 2 cm en el espesor de la capa con relación al espesor indicado en los planos y/u Órdenes de Trabajo, medido como mínimo en un punto cada 100 metros.

**Medición.-** El volumen de sub-base será medido en metros cúbicos de material compactado y aceptado de acuerdo a la sección transversal del proyecto. En el cálculo de los volúmenes, con sujeción a las tolerancias especificadas, se considerará el espesor medio (em) calculado como la media aritmética de los espesores medidos; si (em) fuera superior al espesor del proyecto, se considerará el espesor del proyecto como medición real. El transporte de materiales para ejecución de la sub-base el contratista deberá ser considerado dentro del mismo.

**Forma de pago.-** Los trabajos de construcción de la capa sub-base, medidos en conformidad al aceptable anterior (Medición), serán pagados a los precios unitarios contractuales correspondientes a los ítems de Pago definidos y presentados en los formularios de propuesta.

Dichos precios incluyen las operaciones de carga, trituración, dosificación, distribución, mezcla, humedecimiento o desecación, compactación y acabado.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
N°	CONFORMACIÓN CAPA BASE (E=25CM)-(MAT-CHANCADO)-COMPACTADO.	M3.

### 2.2.2 Controles de Calidad en Capas Sub Base.

El control es el conjunto de actividades técnicas y planeadas, a través de las cuales se puede alcanzar una meta y asegurar un nivel predeterminado de calidad.

El control de calidad verifica la condición del producto terminado y en base a los resultados obtenidos, acepta o rechaza el producto.

En términos generales, la calidad está asociada a las necesidades y satisfacción del cliente o usuario. Cuando se trata del proyecto y ejecución de obras viales, la calidad supone una serie de elementos interrelacionados que conducen a pensar en un sistema de “control de calidad”. Esto significa que realizar alguna actividad con calidad no es una tarea fácil ya que intervienen varios factores y recursos.

Un sistema de control de calidad ideal debe contemplar y armonizar los objetivos, intereses, expectativas y demandas de los organismos estatales, el proyectista, el consultor y el usuario de la obra terminada.

Para la conformación de la capa sub-base de un pavimento rígido, se plantea un nivel de control normal basado en las especificaciones técnicas.

- **Requisitos de la capa sub-base**

Esta capa al igual que la anterior deberá cumplir con los requisitos de calidad. Los materiales utilizados para esta capa son materiales granulares compuestos por gravas, gravas arenosas, mezclas de arena, limo y gravas, etc., al ser de tipo granular debe servir para drenar el agua que tiende a acumularse en la parte inferior de la losa de concreto, ya sea por lluvia o por elevaciones estacionales de los niveles freáticos del terreno.

En casos muy especiales será necesario dar una estabilización adicional a la capa sub-base, particularmente en casos en que el terreno natural sea excesivamente deformable.

- **Verificación del material de la capa sub-base**

De acuerdo con las normas AASHTO, el material de préstamo utilizado para la conformación de la capa sub-base debe cumplir con las siguientes características:

***Tabla N° 2. Características Capa Sub-Base.***

Límite líquido (LL)	25 %	Max.
Índice de plasticidad (IP)	6 %	Max.
Poder de soporte (CBR)	40 %	Min.
Desgaste de Los Ángeles	60 %	Max.
Finos que pasa malla N° 200	15 %	Max.
Tamaño máximo menos a 1/3 del espesor de la capa		

*Fuente: Manual ABC.*

Para el control de los materiales se recomienda realizar lo siguiente:

Una prueba de desgaste de abrasión “Los Ángeles” siempre que ocurran variaciones de características en la cantera (cambio de geología), o por cada 10,000.00 m<sup>2</sup> de capa extendida.

Una prueba de durabilidad con sulfato de sodio, siempre que haya variaciones en la características de la cantera, o por cada 7,000 m<sup>2</sup> de carpeta extendida.

Las especificaciones permiten utilizar como material de Sub-Base cualquiera de los materiales que cumpla con las granulometrías mostradas en la Tabla 3.

**Tabla N° 3. Gradación de Materiales Capa Sub-Base.**

TAMAÑO DE LA MALLA	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO			
	GRADACIÓN			
	Tipo "A"	Tipo "B"	Tipo "C"	Tipo "D"
3"	100		-----	-----
2"	-----	100	-----	-----
1½"	-----	90-100	100	-----
1"	-----	-----	-----	-----
¾"	-----	60-90	-----	100
N° 4	30-70	30-70	30-70	40-80
N° 200	0-15	0-15	0-15	5-20

*Fuente: Manual ABC.*

El porcentaje pasa tamiz N°200 no debe exceder 2/3 del porcentaje que pasa por el N°40.

### **Control tecnológico de la capa sub-base**

En la conformación de la sub-base las actividades en las que se realiza el control de calidad, de los cuales depende su aceptación o rechazo son:

**Granulometría.-** Este factor permitirá establecer, si el material analizado es apto o no para su empleo como capa sub-base, de acuerdo a la Tabla 3. presentada anteriormente.

El procedimiento estadístico para el análisis de la granulometría, será función de la disponibilidad del equipo y personal, también del número de pruebas que se puedan realizar con el fin de analizar los materiales producidos para la conformación de una estructura de pavimento rígido.

La granulometría de los materiales preferentemente deberá ser analizada en dos etapas:

**Etapla preliminar:** en esta etapa se definen los límites de control mediante un procedimiento estadístico derivado de las muestras obtenidas en banco. Este estudio permite a su vez definir posibles correcciones en la fórmula de dosificación adoptada en el caso de una mezcla de materiales en forma previa a la conformación de la capa sub-base.

**Etapa constructiva:** es la etapa en la que el control de granulometría se lo efectúa sobre el material producido en intervalos previamente establecidos, (podrá ser por longitud de plataforma o por máxima producción diaria), bajo los parámetros definidos en la etapa preliminar.

Debido a que los recursos, disponibilidad de equipo y material; podrían hacer que la etapa preliminar forme parte de la etapa constructiva en la producción inicial de materiales y en la respectiva colocación en obra.

**Límites de control:** Para la determinación de los límites de control se toman fundamentalmente como puntos de partida los valores de tolerancia establecidos por las especificaciones correspondientes a objeto de determinar los límites estadísticos para el correspondiente control de calidad.

***Tabla N° 4. Secuencia de Control: Granulometría***

***Capa Sub-Base.***

Determinar el Nivel de control a emplear (Control Normal)
Establecer el nivel de confianza a emplear $R = 95\%$
De acuerdo con el tamaño de la muestra “n” obtenida, se deberá definir las tolerancias tanto inferiores como las superiores.

*Fuente: Manual ABC.*

Normalmente en el control granulométrico, el término “rechazo” no implica el cambio de materiales, salvo en casos en que las fallas granulométricas se presentan en tres o más tamices, hecho que afectaría de la estabilidad de la capa a construir.

El rechazar una muestra por su composición granulométrica pretende la corrección en la dosificación de agregados a fin de uniformar la producción para la obtención de un material acorde con los requerimientos especificados.

Una vez obtenida la muestra, y analizada según las reglas anteriormente indicadas se procederá a la elaboración de las cartas de control para las muestras a fin de apreciar de manera objetiva, si la producción del tamaño del grano analizado es o no satisfactoria y definir en consecuencia las correcciones necesarias.

Finalmente establecer conclusiones enfatizando la aceptación o rechazo y así emitir las sugerencias pertinentes.

En forma complementaria y siguiendo los requerimientos establecidos; los datos de la fracción que pasa el tamiz N° 200 serán analizados como “atributos” del material, que serán determinados para cada muestra a fin de poder corregir la dosificación en caso de presentarse un exceso de material fino. De la misma manera, los límites de consistencia serán considerados como “atributos” los cuales definirán a la fracción que pasa el tamiz N° 40 plásticos o no plásticos para la correspondiente aprobación o rechazo.

Se recomienda realizar una prueba de granulometría por cada 1000 m<sup>2</sup> de calle, usando muestras tomadas para el ensayo de densidad en sitio.

**Densidad máxima y humedad óptima.-** El control de la densidad máxima obtenida a la humedad óptima para una capa sub-base, al igual que en la capa subrasante representa el problema típico en la ejecución de una obra vial.

Con el cálculo de la densidad máxima determinada en laboratorio a una humedad óptima, se podrá aplicar el criterio de análisis de comparación de las humedades obtenidas en campo con respecto a la humedad de referencia determinada en laboratorio, las cuales están basadas en las especificaciones técnicas del proyecto.

Se realizará una prueba del contenido de humedad por cada 1000 m<sup>2</sup> de calle antes del inicio de la compactación.

La siguiente secuencia detalla los pasos a seguir con el propósito de establecer el control:

***Tabla N° 5. Secuencia de control:  $d_{max}$  y  $w_{op}$ .***

***Capa Sub-Base.***

1.- Determinar el Nivel de control a emplear (Control Normal)
2.- Determinar el nivel de confianza a emplear $R = 95\%$
3.- Identificar el tamaño de la muestra $n$ de acuerdo a las pruebas obtenidas en campo para su respectivo procesamiento.
4.- Elaboración de las cartas de control de acuerdo a la muestra obtenida en campo, para determinar luego los límites de control, superior e inferior, y verificar si las humedades obtenidas en campo se encuentran bajo control de acuerdo al rango definido por las especificaciones técnicas del proyecto.

*Fuente: Manual ABC.*

**Control de compactación.-** El control de compactación será ejecutado de acuerdo con el proctor de referencia obtenido en laboratorio, para la determinación de las densidades correspondientes en campo.

La prueba de compactación con la energía especificada se recomienda realizarla cada 150 m de vía aproximadamente, y mínimo una prueba por día de trabajo.

Los procedimientos de control de compactación para un nivel de control normal es el siguiente:

***Tabla N° 6. Secuencia de Control: Compactación***

***Capa Sub-Base.***

1.- Determinar el Nivel de control a emplear (Control Normal)
2.- Determinar el nivel de confianza a emplear $R = 95\%$
3.- Identificar el tamaño de la muestra $n$ de acuerdo a las pruebas obtenidas en campo para su respectivo procesamiento.

4.- Elaboración de las cartas de control de acuerdo a la muestra obtenida en campo, para depurar datos malos provenientes de errores a un nivel del 95% de confianza, determinando de esta manera el conjunto de datos que se encuentra bajo control estadístico.

*Fuente: Manual ABC.*

También se recomienda realizar una prueba de CBR por mes, o cuando haya variaciones en las características en los materiales utilizados.

Control geométrico y de terminado de la capa sub-base:

**Control de espesor.-** Después de la ejecución de la capa, debe hacerse la localización y nivelación del eje, lado izquierdo y derecho, a cada 20 m.

**Control de terminado de la superficie.-** Las condiciones de terminado para la superficie se hacen visualmente, dándole mayor importancia a la verificación de la presencia de segregación superficial.

**Aceptación basada en el control tecnológico:**

Los trabajos se aceptan bajo el punto de vista tecnológico, siempre y cuando cumplan con las siguientes condiciones:

Los valores individuales obtenidos en la prueba de desgaste “Los Angeles”, durabilidad, forma de las partículas, equivalente de arena y CBR, estén dentro de los límites definidos en las especificaciones.

La composición granulométrica de las muestras de grava graduada obtenidas en las pruebas debe cumplir con los requisitos establecidos en las especificaciones.

La composición granulométrica de las muestras de la grava graduada, además de estar dentro de los rangos establecidos, debe encontrarse dentro de las especificaciones en tablas de trabajo definidas a partir de la granulometría de proyecto y, sus límites de tolerancia deben coincidir con la Tabla 3. Siguiente:

**Tabla N° 7. Tolerancias: Granulometría Capa Sub-Base.**

**TOLERANCIA PARA LA GRANULOMETRIA  
(% EN PESO QUE PASA)**

<b>CRIBA</b>		<b>SUB-BASE</b>
<b>ASTM</b>	<b>mm</b>	
2"	50,8	± 5
N°4 a 11/2"	4,8 a 38,1	± 10
N°40 a N°10	0,42 a 2,0	± 5
N°200	0,074	± 3

*Fuente: Manual ABC.*

No se aceptan las composiciones granulométricas de grava graduada que estén dentro de la tabla de trabajo y que no cumplan con las especificaciones de las pruebas de desgaste de abrasión “Los Ángeles”, equivalentes de arena, forma y durabilidad.

**Aceptación basada en el control de ejecución de la capa:**

El valor de la humedad de la capa ejecutada debe de ser  $\pm 2\%$  de la humedad óptima, obtenida en la prueba de compactación con la energía del proyecto.

El grado de compactación, calculado a partir de los resultados obtenidos en las pruebas, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- No tener ningún valor menor al 100%.
- Si hay algún valor inferior al 100%, éste no puede ser menor que 98% (en tres pruebas consecutivas del mismo tramo).

**Aceptación basada en el control geométrico y de terminado:**

El espesor medio, calculado estadísticamente, no debe ser menor al espesor de proyecto menos 1.0 cm.

No se permiten valores individuales del espesor fuera del intervalo +2.0. y -1.0 cm con relación al espesor del proyecto.

En caso de aceptación, dentro de las tolerancias establecidas, de una capa de grava graduada con espesor medio inferior al del proyecto, la diferencia debe ser compensada estadísticamente en la capa superior. Si la capa de grava graduada tiene mayor espesor que la capa de proyecto, no se debe reducir el espesor de la capa superior.

Las condiciones de terminado en forma visual se consideran satisfactorias siempre y cuando no se aprecie segregación superficial.

### **Observaciones de orden general**

La capa de sub-base de grava graduada no debe someterse a la acción directa del tránsito vehicular.

Cuando se requiera un riego de impregnación de la capa de grava graduada, éste debe efectuarse al término de la compactación, luego de que se haya verificado que el exceso de humedad superficial se haya evaporado. Antes de la aplicación del riego asfáltico, la superficie debe estar perfectamente limpia.

#### **2.2.2.1 Ensayos de control en material de capas sub base.**

Para el control de la calidad de los materiales de sub base se tiene los siguientes parámetros de control:

- **Granulometría.**

Los granos que conforman en suelo y tienen diferente tamaño, van desde los grandes que son los que se pueden tomar fácilmente con las manos, hasta los granos pequeños, los que se pueden ver con un microscopio. El análisis granulométrico al cuál se somete un suelo es de mucha ayuda para la ejecución de proyectos, tanto estructuras como carreteras porque con éste se puede conocer la permeabilidad y la cohesión del suelo. También el suelo analizado puede ser usado en mezclas de asfalto o concreto.

Los Análisis Granulométricos se realizarán mediante ensayos en el laboratorio con tamices de diferente tamaño de aberturas, dependiendo de la separación de los cuadros de la malla. Los granos que pasen o se queden en el tamiz tienen sus características ya determinadas. Para el ensayo o el análisis de granos gruesos será muy recomendado el método del Tamiz; pero cuando se trata de granos finos éste no es muy preciso, porque se le es más

difícil a la muestra pasar por una malla tan fina; Debido a esto el Análisis granulométrico de Granos finos será bueno utilizar otro método, como el Hidrómetro.

- **Curva Granulométrica**

Los resultados del análisis mecánico (análisis por cribado e hidrométrico) se presentan generalmente en graficas semilogarítmicas como curvas de distribución granulométrica (o de tamaño de grano).

Los diámetros de las partículas se grafican en escala logarítmica y el porcentaje correspondiente de finos en escala aritmética. Por ejemplo, las curvas de distribución granulométrica para dos suelos se muestran en la siguiente figura. La curva de distribución granulométrica para el suelo A es la combinación de los resultados del análisis por cribado, y los resultados del análisis hidrométrico para la fracción de finos.

Cuando los resultados del análisis por cribado y del análisis hidrométrico se combinan, generalmente ocurre una discontinuidad en el rango en que estos se traslapan. La razón para la discontinuidad es que las partículas de suelo son generalmente irregulares en su forma. El análisis por cribado da la dimensión intermedia de una partícula; el análisis hidrométrico da el diámetro de una esfera que se asentaría a la misma razón que la partícula de suelo.

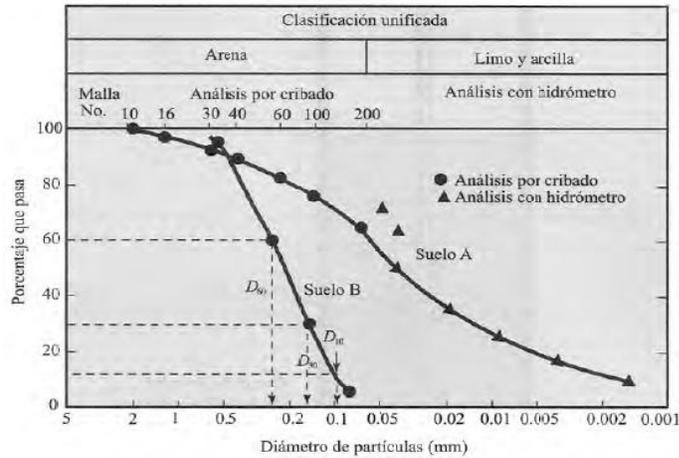
Los porcentajes de grava, arena, limo y arcilla presentes en un suelo se obtienen de la curva de distribución granulométrica. De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, el suelo A en la figura tiene los siguientes porcentajes:

**Grava** (límite de tamaño: mayores que 4.75 mm) = 0%

**Arena** (límites de tamaño: 4.75 a 0.075 mm)= porcentaje de más finos que 4.75 mm de diámetro-porcentaje de más finos que 0.075 mm de diámetro= 100-62= 38%

**Limo y arcilla** (límites de tamaño: menores que 0.075mm) =38%

**Tabla N° 8. Diámetros Efectivos.**

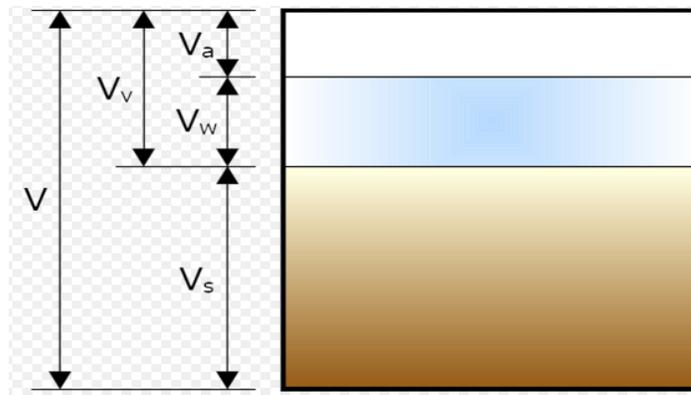


Fuente: *Mecánica de Suelos "Juárez Badillo"*

- **Contenido de humedad.**

El contenido de agua o contenido de humedad es la cantidad de agua contenida en un material, tal como el suelo (la humedad del suelo), las rocas, la cerámica o la madera medida en base a análisis volumétricos o gravimétricos. Esta propiedad se utiliza en una amplia gama de áreas científicas y técnicas y se expresa como una proporción que puede ir de 0 (completamente seca) hasta el valor de la porosidad de los materiales en el punto de saturación.

**Fig. 4. Representación de Volúmenes de Suelo.**



Fuente: *Manuales de Laboratorio "Universidad Técnica de Oruro"*

Dónde:

$V_w$ : es el volumen de agua

$V_T = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$ : es el volumen total (que es  $V_{\text{suelo}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{espacio vacío}}$ ).

- **Plasticidad.**

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite, sin romperse.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico.

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

- **Límite Líquido.**

El límite de liquidez se define como el contenido en agua del terreno en correspondencia del cual, el surco practicado en la muestra se cierra en un tramo de 12 mm después de una secuencia de 25 golpes. Para la determinación de este límite se utiliza la Cuchara de Casagrande.

El instrumento está compuesto de un casquete esférico de metal, fijado en el borde a un dispositivo que mediante la operación de una manivela se produce la elevación del casquete y su subsecuente caída, produciendo así un choque controlado contra una base también metálica. El terreno mezclado uniformemente con agua es colocado en la parte del casquete metálico opuesta al punto fijo y se le da forma con una plantilla que deja en el centro una

ranura uniforme. A cada vuelta de la manivela se produce un golpe en el casquete, que tiende a hacer deslizar el suelo ya húmedo juntando los bordes de la ranura

**FIGURA 5. Aparato de Casagrande**



*Fuente: Manuales de Laboratorio “Universidad Técnica de Oruro”*

- **Límite plástico.**

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm. Para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos o entre el dedo índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir un cilindro de 3 mm de diámetro. Al llegar a este diámetro, se desarma el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3 mm. Ésto se realiza consecutivamente hasta que no es posible obtener el cilindro de la dimensión deseada. Con ese contenido de humedad, el suelo se vuelve quebradizo (por pérdida de humedad) o se vuelve pulverulento. Se mide el contenido de humedad, el cual corresponde al Límite Plástico. Se recomienda realizar este procedimiento al menos 3 veces para disminuir los errores de interpretación o medición.

**FIGURA 6. Rodillos de Obtención de Límite Plástico**



*Fuente: Manuales de Laboratorio “Universidad Técnica de Oruro”*

- **Índice de plasticidad.**

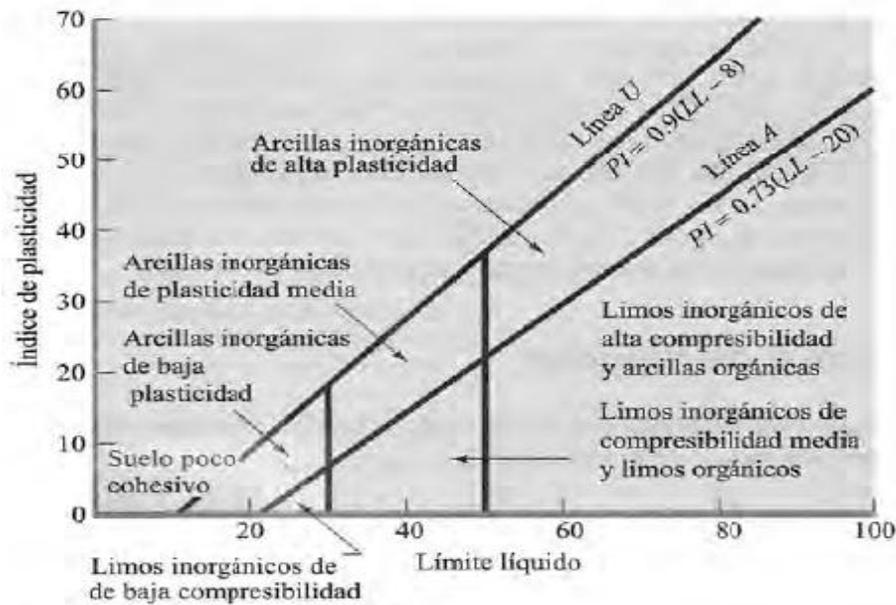
El índice de plasticidad (IP) es el rango de humedades en el que el suelo tiene un comportamiento plástico. Por definición, es la diferencia entre el Límite líquido y el Límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

- **Carta de Plasticidad**

Los límites líquido y plástico son determinados por medio de pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos cohesivos. Las pruebas son usadas ampliamente por ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del suelo así como para la identificación del mismo

**FIGURA 7. Carta de Plasticidad (Descripción)**



*Fuente: Mecánica de Suelos "Juárez Badillo"*

Casagrande (1932) estudio la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales. Con base en los resultados de pruebas, propuso una carta de plasticidad, donde se diferencian arcillas y limos orgánicos e inorgánicos, con plasticidad y compresibilidad variable.

- **Desgaste.**

### **Ensayo de Desgaste Los Ángeles**

Este ensayo se recoge en la norma NLT-149 "Resistencia al desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Ángeles". La máquina de Los Ángeles consiste en un tambor cilíndrico de acero que gira en posición horizontal. Este cilindro está provisto de una abertura para introducir la muestra que se desea ensayar y un entrepaño para conseguir el volteo del material.

En la máquina de Los Ángeles se introduce una muestra de árido limpio y lavado, con una de las siete granulometrías indicadas por la norma, y una carga abrasiva compuesta de esferas de fundición o de acero, cuyo peso total depende de la granulometría elegida. Con

la muestra y la carga abrasiva en el interior del tambor, se hace girar este a una velocidad constante y durante un número determinado de vueltas, para suelo aluvial con una gradación tipo A se utilizan 500 vueltas, posteriormente se separa la muestra por el tamiz N° 12.

El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original de la muestra y su peso al final del ensayo, expresada en tanto por ciento del peso inicial. A este valor numérico se le denomina coeficiente de desgaste Los Ángeles.

Por lo general, se puede decir que coeficientes superiores a 50 corresponden a áridos de mala calidad, no aptos para la construcción de capas de firme. Coeficientes inferiores a 20 corresponden a áridos con resistencia al desgaste suficiente para cualquier posible aplicación, y en particular, para capas de rodadura bituminosas que hayan de soportar tráfico pesado.

***FIGURA 8. Máquina de los Ángeles.***



*Fuente: Manuales de Laboratorio “Universidad Técnica de Oruro”*

- **Equivalente de Arena y Materia Orgánica.**

Viene motivado por la posible presencia de finos arcillosos en la arena que pueden afectar negativamente tanto a la resistencia del hormigón como a su durabilidad.

Nos da un índice representativo de la proporción y características de los finos (arcillas, impurezas, etc.) que contiene un suelo granular o un árido fino.

$$E.A = \frac{h_1}{h_2} * 100$$

Nos indica la cantidad de arena de nuestro árido (a mayor porcentaje, mayor cantidad de arena y menor contenido de finos).

- Los elementos arenosos no son floculables y sedimentan.
- Los finos no arenosos floculan y quedan suspendidos en la solución.

Según la E.H.E. el equivalente de arena:

- a)  $\geq 75$  (obras sometidas a la clase general de exposición).
- b)  $\geq 80$ , el resto de los casos.

En el caso de arenas procedentes del machaqueo de rocas calizas o dolomías ( rocas sedimentarias carbonáticas que contienen  $\geq 70$  % de calcita, dolomita o ambas ) se podrán aceptar si cumplen con el ensayo de azul de metileno.

- **Grado de Compactación.**

En la construcción de terraplenes para carreteras, presas de tierra y muchas otras estructuras de ingeniería, los suelos sueltos deben ser compactados para incrementar sus pesos específicos.

La compactación incrementa las características de resistencia de los suelos, aumentando así la capacidad de carga de las cimentaciones construídas sobre ellos. La compactación disminuye también la cantidad de asentamientos indeseables de las estructuras e incrementa la estabilidad de los taludes de los terraplenes. Los rodillos de ruedas lisas, los rodillos patas de cabra, los rodillos con neumáticos de hule y los rodillos vibratorios se usan principalmente para la densificación de los suelos granulares.

**FIGURA 9. Compactación con Maquinaria.**



*Fuente: Manuales de Laboratorio “Universidad Técnica de Oruro”*

En general, la compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, ésta actúa como agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua.

- **Compactación en Laboratorio**

EL objetivo de este ensayo, es el siguiente:

Determinar la Densidad Seca Máxima y el Contenido de Humedad Óptimo de un suelo, utilizando el Método de Compactación adecuado al tipo de suelo ensayado

Descripción de este ensayo:

A partir de 1933, el Ing. R. Proctor dio inicio al estudio racional de la Compactación. Este investigador verificó, que un mismo suelo, conforme su Contenido de Humedad, reacciona de manera diferente a la Compactación, alcanzando valores diversos de densidad.

Proctor compactó muestras de suelo en un recipiente cilíndrico, utilizando diferentes contenidos de humedad. Después de Compactar la muestra en el cilindro y determinar su Densidad, la retiraba del cilindro, la desmenuzaba y aumentaba el agua repitiendo la operación de Compactación.

Con los valores de Densidad y Humedad, obtenidos de la Compactación de cada muestra, Proctor pudo trazar la Curva de Compactación (típica para todos los suelos), que a su vez le permitió encontrar la Densidad Máxima y la Humedad Óptima del suelo.

Y es este precisamente este método desarrollado por Proctor, el utilizado actualmente para realizar la Compactación de suelos.

La Compactación es la operación o procedimiento de Estabilización Mecánica, cuyo objetivo fundamental es aumentar la Densidad del suelo, por medio de una mayor aproximación de sus partículas, lo que se consigue con una disminución del Índice de Vacíos.

Mediante el proceso de Compactación del suelo se persiguen los siguientes objetivos prácticos:

- Aumentar la Resistencia a la Compresibilidad y al Corte.
- Obtener de mayor uniformidad y homogeneidad.
- Conseguir que el suelo sea menos susceptible a las variaciones de humedad..

- **Ensayo Proctor Standard T-99.**

Sirve para determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad. Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados; el "Ensayo Proctor Standard", y el "Ensayo Proctor Modificado". La diferencia entre ambos estriba en la distinta energía utilizada, debido al mayor peso del pisón y mayor altura de caída en el Proctor modificado. Ambos ensayos determinan la máxima densidad que es posible alcanzar para suelos o áridos, en unas determinadas condiciones de humedad, con la condición de que no tengan excesivo porcentaje de finos, pues la prueba Proctor está limitada a los suelos que pasen totalmente por la malla No 4, o que tengan un retenido máximo del 10 % en esta malla, pero que pase (dicho retenido) totalmente por la malla 3/8. Cuando el material tenga retenido en la malla 3/8 deberá determinarse la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo con la prueba de Proctor Standard.

Actualmente existen muchos métodos para reproducir, al menos teóricamente, en el laboratorio las condiciones dadas de compactación de campo. Históricamente, el primer método, en el sentido de la técnica actual, es el debido a R. R. Proctor, y es conocida hoy en día como "Prueba Proctor Standard". La prueba consiste en compactar el suelo en cuestión entre capas dentro de un molde de dimensiones y forma determinadas por medio de golpes de un pisón, que se deja caer libremente desde una altura especificada.

Con este procedimiento de compactación Proctor estudió la influencia que ejercía en el proceso el contenido inicial del agua en el suelo, encontrando que tal valor era de vital importancia en la compactación lograda. En efecto observó que a contenidos de humedad crecientes, a partir de valores bajos, se obtenían más altos pesos específicos secos y, por lo tanto, mejores compactaciones del suelo, pero que esa tendencia no se mantenía indefinidamente, sino que al pasar la humedad de un cierto valor, los pesos específicos secos obtenidos disminuían, resultando peores compactaciones. Proctor puso de manifiesto que, para un suelo dado y usando el procedimiento descrito, existe una humedad inicial llamada "óptima", que produce el máximo peso específico seco que puede lograrse con este procedimiento de compactación. Esta prueba consiste en compactar el suelo en tres capas dentro de un molde de dimensiones y forma determinadas, a cada capa se compacta con 25 golpes por medio de un pistón, que se deja caer libremente desde una altura específica.

- **Ensayo Proctor Modificado T-180.**

El ensayo Proctor modificado, al igual que el Proctor normal o Standard, es un ensayo de compactación de suelos. El Corps of Engineers de la U.S. Army propuso un ensayo Proctor modificado en el que se aplica mayor energía de compactación por unidad de volumen, obteniéndose densidades secas máximas más elevadas y unas humedades óptimas menores que en el ensayo normal.

Este ensayo en España está normalizado por la NLT-108, que a su vez sigue la norma americana AASHTO 180-74/ASTM D 1557-70.

En el ensayo Proctor modificado se apisona una muestra de suelo en un molde metálico de 2320 cm<sup>3</sup> de capacidad (152,5 mm de diámetro interior y 127 mm de altura), es usual utilizar el molde del Ensayo CBR, con un disco espaciador en su fondo. El molde se llena en 5 tongadas y se apisona con 60 golpes por tongada, distribuidos por toda la superficie.

La maza utilizada para apisonar tiene una masa de 4,54 kg y cae desde una altura de 457 mm. Con todo esto, la energía de compactación por unidad de volumen es 4,5 veces superior a la del ensayo normal. El ensayo se puede realizar de forma manual o mecánica.

Para obtener la curva humedad-densidad seca, es necesario realizar el ensayo sobre varias muestras del suelo, que nos darán los puntos de dicha curva. Generalmente con cuatro o cinco de estos puntos ya es posible dibujarla, y por tanto, obtener la densidad máxima Proctor y la humedad óptima correspondiente.

Si se comparan los resultados obtenidos en diferentes tipos de suelos, compactados según los ensayos Proctor normal y modificado, se comprueba que en los compactados según este último se obtienen unas densidades secas mayores y unas humedades óptimas menores. Estas diferencias son más acusadas en suelos finos muy plásticos y mucho menor en zahorras bien graduadas, ya que estas últimas tienen una compactibilidad mejor y su densidad alcanza ya valores elevados con niveles de energía de compactación del Proctor normal.

Al igual que en el ensayo normal, si el tamaño máximo del suelo a emplear en obra es superior al que permite el ensayo, es necesario tamizar el suelo previamente y ensayar con una fracción fina de este, realizando una corrección posterior. Por este motivo, si el suelo a ensayar contiene elementos de gran tamaño en mayor medida que elementos de pequeño tamaño, la densidad Proctor no sería un buen elemento de comparación y debe sustituirse por otros ensayos que midan directamente la capacidad resistente y la deformabilidad del suelo.

- **Compactación en Campo**

Generalmente, este tipo de compactación en campo se lo realiza con la ayuda de maquinaria, entendiéndose por compactar la acción de aplicar durante la construcción del relleno, la energía necesaria para producir una disminución apreciable del volumen de huecos del material empleado y por tanto del volumen total del mismo. Diferenciándose de la consolidación, en que ésta, aunque también disminuye el volumen de huecos dicha reducción no se consigue durante la ejecución de los terraplenes y otros, sino en el transcurso de un plazo de tiempo relativamente largo y debido a pérdida de agua intersticial, por efecto de cargas de servicio móviles o fijas, por agentes atmosféricos, etc.

La necesidad de compactar apareció no hace aún muchos años debido a la urgencia de utilizar las obras inmediatamente, sin tiempo para que el tráfico o los agentes atmosféricos produjesen los asientos definitivos. Por tanto, los sistemas de compactación se han ido desarrollando paralelamente a la mecanización de las obras, ya que la aplicación de la energía necesaria exige una máquina adecuada en potencia y movilidad, para cada caso.

El problema se presenta porque la energía de compactación necesaria en cada caso no es solamente diferente, sino que también lo es el modo en que dicha energía debe ser transmitida al terreno. Esta es la razón de que existan hoy día en el mercado diferentes tipos de máquinas compactadoras, y como consecuencia, la dificultad inherente de elegir en cada caso el modelo más idóneo. No quiere decir esto, un terraplén con una máquina de un tipo u otro quede mejor o peor compactado. Con cualquier máquina, por poco específica que esta sea, podemos obtener una compactación satisfactoria. Lo que ocurrirá es que se gastara más mucha energía de compactación y como consecuencia lógica más tiempo, más dinero, etc., si no elegimos la máquina adecuada. Por lo tanto el problema más importante en la compactación es elegir la máquina adecuada para cada trabajo. Para dicha elección tenemos hoy día unas ideas generales, consecuencia de ensayos prácticos más o menos guiados por teorías, que nos permiten de entrada y a la vista de las principales características del material a compactar, decidir el tipo de máquinas más idóneo.

Los factores principales que influyen en la capacidad de compactación de los suelos, son la composición granular y el contenido de humedad. Dentro de la composición granular, lo más importante es el tamaño del grano, mucho más incluso que la composición del mismo. El contenido de humedad es el otro factor importante en la compactación. Se determina el valor más favorable mediante el ensayo Proctor, que nos da la relación entre el contenido de humedad y la densidad del terraplén. Así vemos que la densidad seca máxima crece con la energía de compactación.

La humedad óptima depende de la energía utilizada para compactar. El agua, al actuar como lubricante de las partículas facilita una mejor imbricación entre ellas, pero si hay exceso de la misma, parte de la energía de compactación se pierde en expulsar el agua, por lo que aparece lógicamente la existencia de un porcentaje óptimo, que es necesario determinar en cada caso. Ahora bien, como la corrección de humedad de un material es

difícil y costosa, conviene evitarla, siendo preferible utilizar energías de compactación elevadas que permitan conseguir densidades secas superiores en un campo de humedades más amplio.

Hay de todas formas suelos que presentan más o menos dificultad de compactar. Entre los primeros están los cohesivos en general, los de granulometría uniforme, no cohesivos o débilmente cohesivos, con un coeficiente de desigualdad pequeño, rocas ligeras y rocas pesadas. Entre los suelos fáciles, tenemos las arenas bien graduadas no cohesivas o poco cohesivas a partir de un valor mediano de coeficiente de desigualdad, mezclas de arena y gravillas bien graduadas, no cohesivas o poco cohesivas con iguales coeficientes y, en general, todos los suelos no cohesivos o escasamente cohesivos aún con relativamente pequeñas desigualdades de grano.

- **Resistencia.**

La resistencia característica del suelo dentro de un análisis para carreteras, especialmente para conformación del paquete estructural, nos llevan a la realización de estudios de la capacidad de soporte del suelo (CBR).

- **Capacidad de Soporte (CBR) de Suelos.**

El ensayo de C.B.R. mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73.

***FIGURA 10. Equipo para Ensayo de CBR.***



*Fuente: Manuales de Laboratorio “Universidad Técnica de Oruro”*

Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos materiales de sub – bases y bases granulares, que contengan solamente una pequeña cantidad de material que pasa por el tamiz de 50 mm, y que es retenido en el tamiz de 20 mm. Se recomienda que la fracción no exceda del 20%.

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kilos/cm<sup>2</sup> (libras por pulgadas cuadrada, (psi)) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 centímetros cuadrados) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturada, en ecuación, esto se expresa:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Carga unitaria de ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} * 100$$

Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación son:

**Tabla N° 9. Valores de Carga Unitaria.**

Penetración		Carga unitaria patrón		
mm	Pulgada	Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>	psi
2,54	0,1	6,90	70,00	1000
5,08	0,2	10,30	105,00	1500
7,62	0,3	13,10	133,00	1900
10,16	0,4	15,80	162,00	2300
12,7	0,5	17,90	183,00	2600

*Fuente: ASTM D1883-73.*

El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0,1”), sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5.08 mm (0,2”) es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar. A continuación, se muestran los métodos 2 o 4 de las normas ASTM D698-70 ó D1557-70 ( para el molde de 15.5 cm de diámetro), para la compactación de muestras utilizando las siguientes energías de compactación:

**Tabla N° 10. Energías de Compactación.**

	Método	Golpes	Capas	Peso del martillo N
D698	2 (suelos de grano fino)	56	3	24,5
	4 (suelos gruesos)	56	3	24,5
D1557	2 (suelos de grano fino)	56	5	44,5
	4 (suelos gruesos)	56	5	44,5

Fuente: ASTM D698-70

El ensayo de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y subrasantes bajo el pavimento de carreteras y aeropistas, la siguiente tabla da una clasificación típica:

**Tabla N° 11. Clasificación de Suelos para Infraestructura de Pavimentos.**

CBR	Clasificación general	usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	muy pobre	subrasante	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3 - 7	pobre a regular	subrasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 - 20	regular	sub-base	OL,CL,ML,SC SM,SP	A2,A4,A6,A7
20 - 50	bueno	base,subbase	GM,GC,W,SM SP,GP	A1b,A2-5,A3 A2-6
> 50	excelente	base	GW,GM	A1-a,A2-4,A3

Fuente:Manuales ASTM.

### 2.2.3 Aditivos.

Los aditivos son productos que, introducidos en pequeña porción en el hormigón, modifican algunas de sus propiedades originales, se presentan en forma de polvo, líquido o pasta y la dosis varía según el producto y el efecto deseado entre un 0.1 % y 5 % del peso del cemento.

Su empleo se ha ido generalizando hasta el punto de constituir actualmente un componente habitual del hormigón. Sin embargo su empleo debe ser considerado cuidadosamente, siendo importante verificar cuál es su influencia en otras características distintas de las que se desea modificar.

En primera aproximación, su proporción de empleo debe establecerse de acuerdo a las especificaciones del fabricante, debiendo posteriormente verificarse según los resultados obtenidos en obra o, preferentemente, mediante mezclas de prueba.

El empleo de los aditivos permite controlar algunas propiedades del hormigón, tales como las siguientes:

- Trabajabilidad y exudación en estado fresco.
- Tiempo de fraguado y resistencia inicial de la pasta de cemento.
- Resistencia, impermeabilidad y durabilidad en estado endurecido.
- **Clasificación**

La norma ASTM C 494 “Chemical Admixtures for Concrete”, distingue siete tipos:

- TIPO A : Reductor de Agua
- TIPO B : Retardador de Fraguado
- TIPO C : Acelerador de Fraguado
- TIPO D : Reductor de agua y Retardador.
- TIPO E : Reductor de Agua y Acelerador.
- TIPO F : Reductor de Agua de Alto Efecto.
- TIPO G : Reductor de Agua de Alto Efecto y Retardador

Los aditivos incorporadores de aire se encuentran separados de este grupo, e incluidos en la norma ASTM C260 “Specifications for Air Entraining Admixtures for Concrete”.

Por su parte el Código de Buena Práctica “Aditivos, Clasificación, Requisitos y Ensayos”, elaborado por el Centro Tecnológico del Hormigón (CTH), establece la siguiente clasificación:

- Retardador de fraguado.
- Acelerador de fraguado y endurecimiento.
- Plastificante.
- Plastificante-Retardador.
- Plastificante-Acelerador.
- Superplastificante.
- Superplastificante retardador.

- Incorporador de aire.

Finalmente, la norma francesa AFNOR P 18-123 “Betons: Definitions et Marquage des Adjuvants du Betons” establecen una clasificación más amplia, motivo por el cual será utilizada como base para la investigación:

1. Aditivos que modifican las propiedades reológicas del hormigón fresco:
  - 1.1. Plastificantes – Reductores de agua.
  - 1.2. Incorporadores de aire.
  - 1.3. Polvos minerales Plastificantes.
  - 1.4. Estabilizadores.
2. Aditivos que modifican el fraguado y endurecimiento:
  - 2.1. Aceleradores de fraguado y/o Endurecimiento.
  - 2.2. Retardadores de Fraguado.
3. Aditivos que modifican el contenido de aire:
  - 3.1. Incorporadores de Aire.
  - 3.2. Antiespumantes.
  - 3.3. Agentes formadores de Gas.
  - 3.4. Agentes formadores de Espuma.
4. Aditivos que modifican la resistencia a las acciones físicas:
  - 4.1. Incorporadores de Aire.
  - 4.2. Anticongelantes.
  - 4.3. Impermeabilizantes.
5. Aditivos misceláneos:
  - 5.1. Aditivos de cohesión – emulsiones
  - 5.2. Aditivos combinados
  - 5.3. Colorantes
  - 5.4. Agentes formadores de espuma

Debido a que esta clasificación está hecha desde el punto de vista de su influencia en determinadas propiedades del hormigón, algunos productos utilizados para confeccionar estos aditivos se repiten en más de un grupo.

### **2.2.3.1 Aditivos espumígenos.**

Los aditivos espumígenos están clasificados según la norma francesa AFNOR P 18-123 “Betons: Definitions et Marquage des Adjuvants du Betons” como Agentes formadores de espuma, dentro de 2 grupos como: Aditivos que modifican el contenido de aire y Aditivos misceláneos

El aditivo espumígeno utilizado para la elaboración de rellenos de densidad controlada es Adikrete que tiene las siguientes características técnicas:

#### **a) Definición.**

Adikrete es un aditivo líquido, incoloro, utilizado para incorporar un alto porcentaje de micro burbujas de aire estabilizado, tanto a los morteros de cemento y arena, como a las pastas de cemento. El aditivo actúa sobre la tensión superficial del agua y la generación de espuma se produce por acción mecánica, siendo fundamental la eficiencia del batido.

#### **b) Información y Usos.**

El principio de funcionamiento del Adikrete está basado en la oclusión uniforme de micro burbujas que se expanden dentro de la masa ocupando espacios y generando cavidades vacías que hacen disminuir el peso de la masa endurecida de manera considerable.

Adikrete es indicado para obtener morteros de relleno (RDC) de 1200 a 1800 kg. /m<sup>3</sup>; (contra pisos, tabiques aislantes, muros, etc.).

#### **c) Características y Propiedades.**

Incorpora a las mezclas un elevado porcentaje de espuma haciéndolas bien fluidas y alivianándolas, permitiendo obtener una baja considerable en el peso unitario de las mismas.

Permite alcanzar bajas densidades según la mezcla planteada y el objetivo de prestación.

Produce mezclas de gran estabilidad en volumen, bombeables con bombas rotativas.

Brinda al material terminado propiedades aislantes de temperatura y sonido.

Se obtienen mezclas plásticas, compactas y homogéneas.

Permite una variada dosificación según la necesidad de prestación.

Es apto para combinar con agregados livianos que refuercen las propiedades termo acústicas de la mezcla endurecida.

Se obtienen hormigones más resistentes a los ciclos de congelamiento y deshielo.

#### **d) Aplicación y consumo.**

Como referencia y, para obtener resultados que justifiquen el uso del aditivo, las mezclas de mortero deberán contener no más de 300 kg de cemento por m<sup>3</sup>, una relación agua/cemento de entre 0.6 y 0.7 y un árido fino (de preferencia rodado, no cantera) de curva pareja cuyo módulo de fineza este entre 2.5 y 2.7. Respecto a esto último es muy importante no exceder el tamaño sugerido ni utilizar áridos de corte ya que los mismos podrían romper con facilidad las micro burbujas durante el mezclado y no llegar a obtenerse el efecto deseado.

### **2.3 USO DE SUB BASES MEJORADAS.**

Se denomina Mejoramiento o Estabilización de Suelos al proceso de someter a los suelos naturales a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades de manera que puedan soportar las condiciones adversas inherentes al diseño, rindiendo en todo tiempo el servicio adecuado que de ellos se espera, es decir dar a los suelos resistencia al esfuerzo cortante, a la deformabilidad o compresibilidad, dar estabilidad volumétrica ante la presencia del agua, reducir la infiltración y capilaridad, siempre buscando, una mejoría sustancial en el comportamiento esfuerzo-deformación de los suelos y/o de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil.

El objetivo que persigue la estabilización es para mejorar varias propiedades esenciales de los suelos; pero también puede aparecer el caso de que algunas de estas propiedades lleguen a deteriorarse inmediatamente o con el paso del tiempo. Para evitar esta situación, es importante elegir o especificar un sistema de estabilización y ver que sea el más correcto posible. Además, es necesario determinar el porcentaje óptimo de estabilizante, y tener la seguridad que sea el adecuado para cada caso particular. Por otro lado, es importante realizar la investigación del comportamiento de los materiales estabilizados, analizando a

corto y largo plazo las propiedades que se mejoran y se mantienen al paso del tiempo, estando conscientes del costo que implica la tarea.

Para materiales de capas sub base los mejoramientos más comunes son los siguientes:

- **Estabilización Mecánica.**

La estabilización mecánica pretende mejorar las propiedades del suelo. Consiste en conferir compacidad a un suelo a través de la reducción de volúmenes de huecos y mejorar la trabazón mecánica por acciones de compactación, estática o dinámica

- **Estabilización Química.**

La estabilización por medio químico se logra por la adición de agentes específicos de naturaleza orgánica o inorgánica, en cuya derivación de estos agentes se obtienen estabilizadores tipo ácido, neutro o alcalino. Los químicos de tipo ácido y alcalino atacan químicamente a los componentes del suelo, especialmente a las arcillas, produciéndose en la reacción nuevos compuestos de naturaleza cementante. Por otra parte los estabilizadores neutros alteran las propiedades físicas de los suelos como el peso volumétrico.

Entre los tipos de estabilización química tenemos:

- Suelo Cemento.
- Suelo Asfalto.
- Suelo Cal.
- Suelo Sal.

### **2.3.1 Alternativa de Rellenos de Densidad Controlada en Sub Base.**

Los rellenos de densidad controlada son muy utilizados como sub base de pavimentos en países Europeos en los Estados Unidos y Canadá, incluso los rellenos de densidad controlada ya cuenta con especificaciones técnicas y son normalizados para tal fin, en países de Centro América se los están incorporando y evaluando su comportamiento, países vecinos como Colombia, Venezuela los están utilizando como sub base de pavimentos obteniendo buenos resultados en su comportamiento estructural, la Universidad nacional de Buenos Aires y Dirección Nacional de Viabilidad de la República

Argentina realizó un amplio trabajo de investigación acerca de los rellenos de densidad controlada elaborados con aditivos espumígenos aplicados como sub base de pavimentos como sub base de pavimentos, los cuales fueron analizados en laboratorio como en obra mostrando un excelente comportamiento, el presente trabajo de investigación pretende evaluar el comportamiento de los materiales y suelos de la región como rellenos de densidad controlada aplicados como sub base de pavimentos y poderlos utilizar como alternativa de sub base de pavimentos para la región en base a algunos resultados y parámetros obtenidos por la Dirección Nacional de Viabilidad de la república Argentina, ya que nuestro país no cuenta con registros y normas de aplicación de rellenos de densidad controlada como sub base de pavimentos.

### **2.3.1.1 Materiales utilizados.**

#### **General**

Las mezclas de rellenos fluidos convencionales usualmente consisten de agua, ligante (Cemento Portland, cal o la combinación de ambos), agregados finos, en ocasiones agregados gruesos, espuma preformada y aditivos.

Aunque los materiales usados en los rellenos fluidos cumplan con los requerimientos de los estándares ASTM o con los otros estándares, el uso de materiales estandarizados no siempre es necesario. La selección de materiales debe basarse en la disponibilidad en el lugar, costo, especificaciones de la aplicación y las características necesarias de la mezcla, incluyendo fluidez, resistencia, excavabilidad, densidad, etc.

- **Cemento**

El cemento provee la cohesión y la resistencia para los rellenos fluidos.

Para la mayoría de las aplicaciones normalmente se utiliza Cemento Portland Tipo I o Tipo II conforme a las especificaciones ASTM C 150. Otros tipos de cemento, incluyendo los cementos mezclados o con adiciones, conforme a la especificación ASTM C 595, pueden ser utilizados si pruebas previas indican resultados aceptables.

- **Agregados**

Los agregados constituyen el componente mayor en la mezcla de rellenos fluidos. El tipo, granulometría y forma de los agregados pueden afectar las propiedades físicas como fluidez, auto-colocación y resistencia a la compresión. Los agregados que cumplen con la ASTM C 33 pueden ser utilizados debido a que los productores de concreto mantienen existencia con control de calidad de estos materiales, esta norma no debe tomarse como una regla, pero puede servir de guía.

Los materiales de excavación granular con propiedades de calidad menores que las de los agregados para concreto son una fuente potencial de materiales para rellenos fluidos y deberían ser considerados. Sin embargo, las variaciones de las propiedades físicas de estos componentes tendrán un efecto significativo en el rendimiento de la mezcla. Los agregados finos con un máximo del 20% de lodos que pase el tamiz 200 han dado resultados satisfactorios. También suelos con amplias variaciones en sus granulometrías han demostrado ser efectivas. Sin embargo, los suelos con arcillas finas han mostrado problemas de mezclado incompleto, formación de grumos en la mezcla, excesiva demanda de agua, contracción volumétrica y variaciones en la resistencia por lo que su uso no es recomendado. Los agregados que han sido utilizados con éxito incluyen:

- Agregados especificados en la ASTM C 33 dentro de la granulometría especificada
- Gravilla fina con arena
- Agregados menores a  $\frac{3}{4}$  pulg. con arena
- Suelos de arena del lugar, con más del 10% que pase el tamiz 200
- Productos de desperdicio de cantera, generalmente agregados menores a  $\frac{3}{8}$  pulg.
- Selecto, nombre que en el medio se le da a la grava arcillosa.

Para la elaboración de rellenos fluidos se recomienda usar los agregados que estén accesibles al lugar de colocación o fabricación. Por lo general se utilizan arenas, gravas trituradas, selecto, etcétera; en ocasiones se puede incluso usar el mismo material que se obtiene en el corte de un terreno si cumple con requisitos especificados.

La tabla presenta rangos recomendados de granulometría para el agregado fino para rellenos fluidos.

**Tabla N° 12. Graduación para Agregado Fino para Rellenos Fluidos.**

Tamiz No	.% que pasa, recomendado	% que pasa(ASTM C-33)
3/8"	100	100
4	---	95 – 100
8	90 – 100	80 – 100
16	60 – 100	50 – 85
30	45 – 80	25 – 90
50	12 – 50	10 – 30
100	5 – 25	2 – 15
200	0 – 10	0 – 5

*Fuente: Relleno Fluido (Universidad Nueva Granada)*

- **Cenizas volantes**

Algunas veces son utilizados materiales tales como las cenizas volantes, las cuales son obtenidas del producto residual de la quema del carbón natural o escoria del proceso de la fundición del hierro, para mejorar la fluidez en los rellenos fluidos. Su uso podría incrementar la resistencia y reducir la exudación, contracciones y permeabilidad. Las mezclas con alto contenido de cenizas volantes tienen como resultado rellenos fluidos con menor densidad cuando se compara con otras mezclas con alto contenido de agregados. La mayoría de cenizas volantes utilizadas en rellenos fluidos son las que se describen en la ASTM C 618 y cumplen con las clasificaciones C o F. Sin embargo, también pueden ser utilizadas las cenizas volantes que no cumplan con estas especificaciones. Las cenizas volantes clase C son utilizadas en cantidades de hasta 207 kg/m<sup>3</sup>; Las cenizas volantes clase F van desde cero hasta 1,187 kg/m<sup>3</sup>, sirviendo como un agregado de relleno. La cantidad de cenizas volantes a utilizar será determinada por las necesidades de disponibilidad y fluidez del proyecto. En todos los casos, indistintamente de si las cenizas volantes cumplen o no con las especificaciones del ASTM C 618, deben prepararse mezclas de prueba para determinar si la mezcla cumple con los requerimientos especificados.

- **Agua**

El agua que es aceptable para mezclas de concreto también es aceptable para mezclas de rellenos fluidos. La norma ASTM C 94 provee información adicional sobre los requerimientos de calidad del agua. Se utiliza mayores cantidades de agua en rellenos fluidos que en concreto. El agua sirve como un lubricante para proveer características de alta fluidez y promover la consolidación de materiales. Los contenidos de agua típicamente van desde 193 hasta 344 kg. / m<sup>3</sup> para la mayoría de rellenos fluidos con contenidos de agregados. El contenido de agua para mezclas de cenizas volantes clase F y cemento puede ser de hasta 594 kg. /m<sup>3</sup> para alcanzar una buena fluidez. Este rango tan amplio se debe principalmente a las características de los materiales utilizados en rellenos fluidos y del grado de fluidez deseada. Los contenidos de agua serán mayores en mezclas con agregados finos.

- **Aditivos**

#### **Espuma preformada**

Se define a la espuma preformada como un aditivo el cual se aplica combinado con el agua de la mezcla, esta mezcla debe hacerse con aire comprimido y es aplicada por una unidad de mezclado o generador de espuma, con ésto se logra expandir 20 veces la mezcla formando una micro burbuja de espuma estable.

El concentrado de espuma debe tener una composición química capaz de producir células de aire estables, que resistan las fuerzas físicas y químicas durante el mezclado, colocación y asentamiento del relleno fluido. Sí la estructura molecular no es estable se tendrá por resultado un incremento no uniforme en la densidad. Los procedimientos para evaluar los concentrados de espuma están especificados en la ASTM C 796 y en la ASTM C 869.

Se encuentran en el mercado productos que hacen estas funciones, es el caso de **Adikrete**, este producto ofrece un índice de expansión de 20 a 25 veces el volumen de la mezcla.

#### **Adiciones a la mezcla**

También es posible encontrar en el mercado otros tipos de productos con los que se logran los contenidos de aire sin necesitar equipo especial para su aplicación tal es el caso de Sika Lightcrete aditivo líquido que actúa como agente espumante para la elaboración de

concretos celulares y rellenos fluidos y no necesita de ningún equipo especial para su aplicación únicamente un tiempo de mezcla adecuado, la hoja técnica se adjunta en el apéndice A.

Rheosell Rheofill, éste es un producto en polvo con presentaciones en sacos pequeños para su aplicación por yarda cúbica, en nuestro medio se acostumbra trabajar por metro cúbico así que se debe hacer la conversión para dosificar adecuadamente el producto ( $1 \text{ yd}^3 = 0.7645 \text{ m}^3$ ); la hoja técnica de este producto se adjunta en el apéndice B.

Para la aplicación de cada uno de estos productos son necesarias las pruebas de laboratorio y de campo ya que los materiales (agregados finos y gruesos) con los que podemos fabricar los rellenos fluidos variarían según nuestra ubicación, necesidad, disponibilidad y costo; estas variantes definitivamente afectarán el comportamiento de los aditivos y es por el método de ensayo y error que se puede determinar la forma óptima de su aplicación.

Características como la fluidez y la ganancia de resistencias tempranas se pueden lograr con ayuda de otro tipo de aditivos con la previo revisión de la compatibilidad entre los aditivos a usar (sinergia).

El aditivo seleccionado para utilizar en este trabajo de investigación es **Adikrete. (Aditivo espumígeno para mezclas de cemento de baja densidad)**

**Adikrete** es un aditivo líquido, incoloro, utilizado para incorporar un alto porcentaje de micro burbujas de aire estabilizado, tanto a los morteros de cemento y arena, como a las pastas de cemento. El aditivo actúa sobre la tensión superficial del agua y la generación de espuma se produce por acción mecánica, siendo fundamental la eficiencia del batido.

El principio de funcionamiento del Adikrete está basado en la oclusión uniforme de micro burbujas que se expanden dentro de la masa ocupando espacios y generando cavidades vacías que hacen disminuir el peso de la masa endurecida de manera considerable.

Adikrete es indicado para pastas de cementos celulares de menores densidades ( $300 - 1000 \text{ kg/m}^3$ ), (aislaciones térmicas y acústicas) así como también para obtener morteros de relleno (RDC) de  $1200$  a  $1800 \text{ kg. /m}^3$ ; (contra pisos, tabiques aislantes, muros, bases y sub bases de pavimentos).

### **2.3.1.2 Proceso de elaboración.**

El mezclado, transportación y colocación de los rellenos fluidos siguen los procedimientos dados en la norma ACI 304.

Sin embargo, otros métodos podrían ser aceptables si se encuentran disponibles datos de experiencias y rendimientos previos. Independientemente de los métodos y procedimientos que sean utilizados, el criterio principal es que el relleno fluido sea homogéneo y consistente, y que satisfaga los requerimientos del propósito para el que es requerido.

Los rellenos fluidos pueden ser mezclados por varios métodos, incluyendo plantas de concreto de mezclado central, camiones mezcladores y tolvas con equipo de básculas.

Para mezcla con alto contenido de cenizas volantes o materiales muy finos como el polvo de piedra en donde estos materiales finos son transportados desde silos a los equipos de mezcla las operaciones pueden resultar ser muy lentas.

Para realizar una carga en camión mezclador a una velocidad normal se sugiere seguir la siguiente secuencia:

- 1er. Paso agregar el 70 al 80% del agua de la mezcla,
- 2do. Paso agregar 50% del agregado de relleno (arenas y gravas),
- 3er. Paso incluir el 100% del material cementicio,
- 4to. Paso completar la porción de agregados de relleno
- 5to. Paso completar la carga de agua.

Se recomienda como mínimo dar un periodo de mezcla de 15 minutos.

### **2.3.1.3. Control de la aplicación del relleno con densidad controlada.**

El relleno fluido, por ser un material con gran cantidad de propiedades y usos, requiere un control de calidad de acuerdo a la importancia de la obra, nivel de calidad deseada y de la experiencia que se tenga con el material, para verificar el ajuste de la mezcla con las especificaciones o requisitos.

Para el control de calidad, es necesario realizar los procesos de muestreo, ensayos de control, elaboración y curado de las muestras. El proceso de muestreo se debe realizar por

un tomador de muestras, avalado por la entidad certificada; de igual manera, el laboratorio que efectuó los ensayos debe tener la capacidad de asegurar la calidad y confiabilidad de los resultados de los ensayos, y debe estar certificado por alguna entidad competente.

Los proyectos de rellenos de densidad controlada se realizan mediante un diseño de mezclas, empleando las materias primas existentes; las cuales para ser evaluadas en estado fresco y endurecido, el productor y el cliente definen el programa de ensayos y establecen los parámetros condiciones y rangos de aceptación.

Posteriormente la verificación en campo se puede realizar visualmente o mediante la realización de ensayos, siendo los más comunes para controlar la calidad del relleno fluido fresco la consistencia, la temperatura, la masa unitaria, el contenido de aire, la elaboración y el curado de los cilindros. En obra, los cilindros se deben realizar aleatoriamente cada 40 metros cúbicos de relleno fluido y mínimo una vez al día. El control de calidad en estado endurecido se realiza mediante la resistencia, que debe ser el promedio de por lo menos dos cilindros normalizados y representativos de una misma mezcla. El ensayo no se tiene que tomar en cuenta cuando la diferencia de los resultados de los cilindros de una misma muestra, ensayados a una misma edad, con los mismos equipos y operarios, supere 10% de la resistencia media de la muestra.

La variación de una bachada se determina para cada propiedad, como la diferencia entre el valor más alto y más bajo, obtenidos de las diferentes proporciones de una misma bachada. La comparación se realiza entre dos muestras que representan la primera y la última porción de la bachada en ensayo.

Durante el transporte de las muestras de ensayo hacia el laboratorio o sitio de ensayo, se debe evitar el deterioro o alteración de las muestras debido a golpes o vibraciones, pérdida de humedad u otro agente que altere los resultados del ensayo.

- **Control de la dosificación.**

Actualmente no existe un método especificado de dosificación para los rellenos de densidad controlada; los métodos que se utilizan para morteros y concretos corrientes no son apropiados, por lo tanto, es habitual proceder por tanteos hasta conseguir las propiedades deseadas. En algunos trabajos se ha utilizado el método Selección de las propiedades para

concreto normal en peso y masa (ACI 211) y se ha afirmado que es fiable su uso. El diseño de cada mezcla varía según los requerimientos de cada obra.

Las dosificaciones para rellenos de densidad controlada pueden hacerse de las siguientes formas:

1. Por tanteos: Realizando diferentes pruebas hasta obtener los resultados requeridos.
2. Por Investigaciones Realizadas: Copiando los valores obtenidos en estas investigaciones.
3. Por Experiencias: tomando como parámetros los valores y resultados obtenidos en mezclas de rellenos de densidad controlada.

### CAPÍTULO III

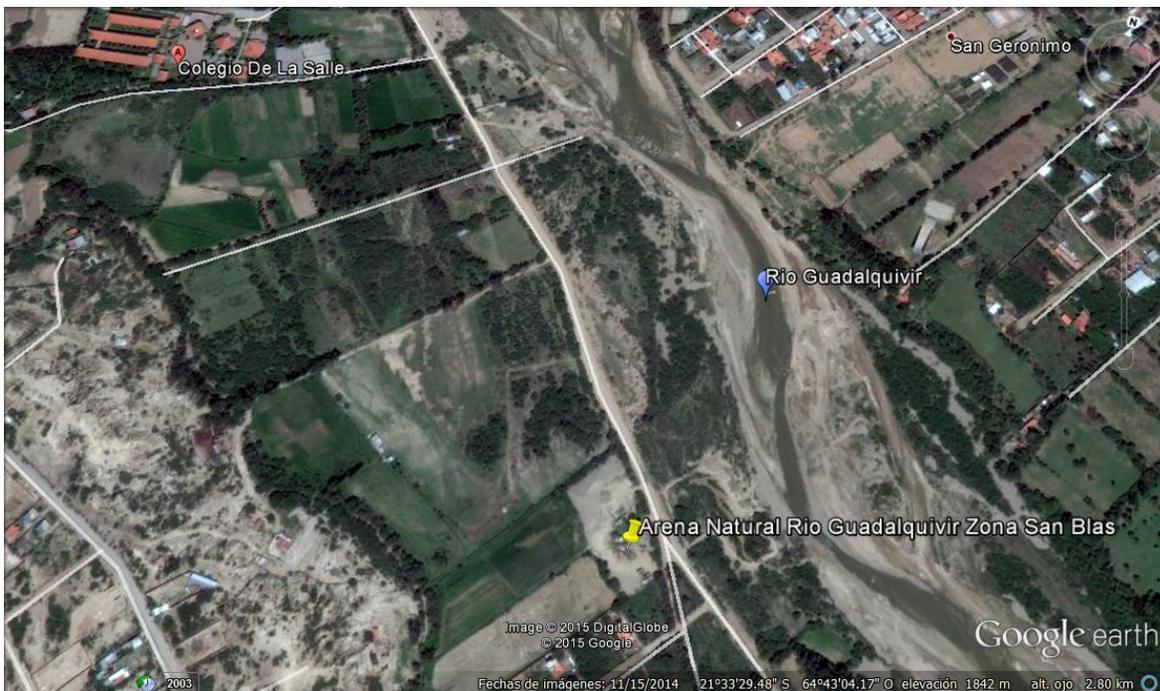
## INVESTIGACIÓN SOBRE LA APLICACIÓN DE RDC EN MATERIALES PARA CAPAS SUB BASE.

### 3.1. UBICACIÓN DE LA PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES.

Las muestras de las 3 diferentes arenas (2 naturales y 1 chancada), a utilizarse para el estudio de investigación se las obtuvo de distintas zonas, ubicadas en diferentes lugares del Departamento de Tarija, las cuales son:

a) **Arena Natural Zona San Blas Rio Guadalquivir – Provincia Cercado.**

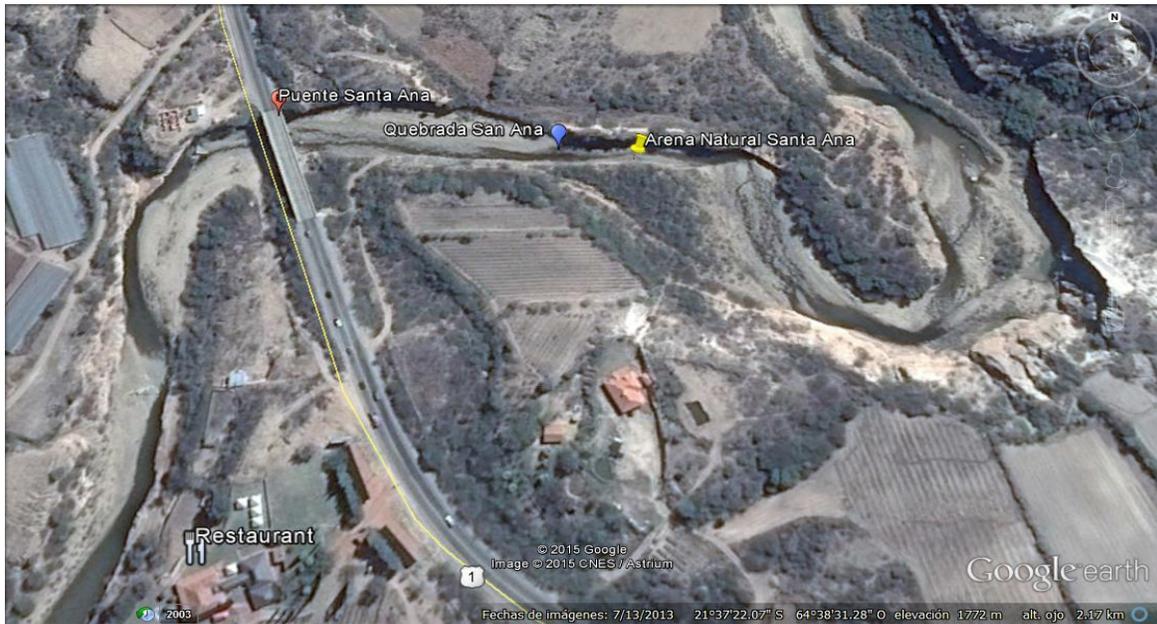
*FIGURA 11. Ubicación Zona de Procedencia Arena Natural - San Blas.*



*Fuente: Google Earth.*

b) **Arena Natural Zona Santa Ana Rio Santa Ana – Provincia Cercado.**

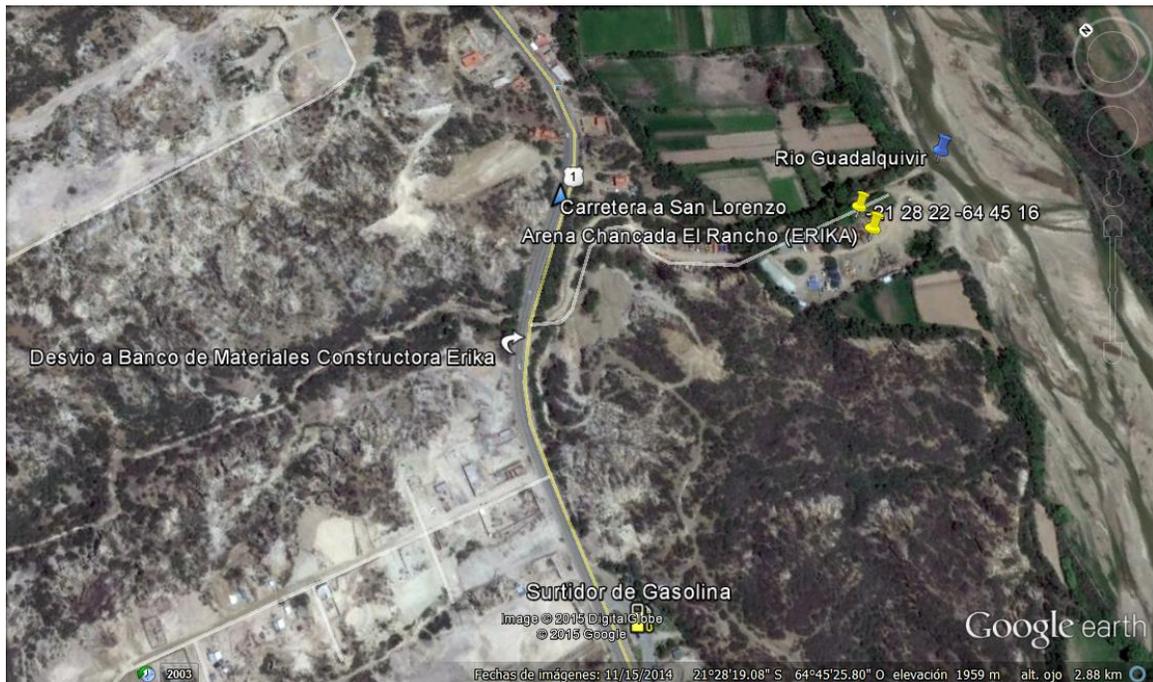
**FIGURA 12. Ubicación Zona de Procedencia Arena Natural Santa Ana.**



*Fuente: Google Earth.*

c) **Arena Chancada Cantón El Rancho Rio Guadalquivir – Provincia Méndez.**

**FIGURA 13. Ubicación Zona de Procedencia Arena Chancada El Rancho.**



### **3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONAS DE PROCEDENCIA.**

#### **Arena Natural Zona San Blas Río Guadalquivir – Provincia Cercado.**

La provincia Cercado es una de las 6 provincias en que se divide el departamento de Tarija, Bolivia. Está ubicada en el centro-oeste del departamento. Limita al noroeste con Méndez, al este con Burdet O'Connor, al sur con Arce y al suroeste con Avilez. Su capital es Tarija, que también lo es de todo el departamento.

La provincia Cercado tiene un clima templado con una temperatura promedio de 25 °C.

Sus recursos hídricos están distribuidos en dos cuencas: la del río Santa Ana y la de los ríos Tolomosa y Sella, siendo este último afluente del río Guadalquivir.

La zona de San Blas de la cual se extrajo una de las muestras de arena para el trabajo de investigación es uno de los Barrios de la Ciudad de Tarija y se encuentra a 10 minutos del centro de la ciudad, sus caminos de acceso son asfaltados en un 95 %.

La zona de San Blas se encuentra a orillas del Río Guadalquivir de donde se extrajo la arena.

Esta zona es productora de Agregados Fino y Grueso, utilizados para construcciones civiles.

#### **Arena Natural Zona Santa Ana Río Santa Ana – Provincia Cercado.**

La provincia Cercado es una de las 6 provincias en que se divide el departamento de Tarija, Bolivia. Está ubicada en el centro-oeste del departamento. Limita al noroeste con Méndez, al este con Burdet O'Connor, al sur con Arce y al suroeste con Avilez. Su capital es Tarija, que también lo es de todo el departamento.

La provincia Cercado tiene un clima templado con una temperatura promedio de 25 °C.

Sus recursos hídricos están distribuidos en dos cuencas: la del río Santa Ana y la de los ríos Tolomosa y Sella, siendo este último afluente del río Guadalquivir.

La zona de San Ana de la cual se extrajo una de las muestras de arena para el trabajo de investigación es uno de los Cantones del Municipio de Tarija y se encuentra a 20 minutos del centro de la ciudad entre la carretera Tarija – Cruce al Valle de La Concepción, sus caminos de acceso son asfaltados en un 95 %.

La zona de Santa Ana se encuentra a orillas del Rio Santa Ana de donde se extrajo la arena. Esta zona es productora de Agregados Fino y Grueso, utilizados para construcciones civiles, como también de Cerámicos.

### **Arena Chancada Cantón El Rancho Rio Guadalquivir – Provincia Méndez.**

La provincia Eustaquio Méndez es una de las seis provincias del departamento de Tarija. Se encuentra entre los 20 ° 57 'y 21 ° 36' de latitud sur y entre los 64 ° 23 'y 65 ° 15' de longitud oeste. La provincia limita al norte y al oeste con el departamento de Chuquisaca, en el sur de la provincia de José María Avilés, en el sureste de la provincia de Cercado, y al este con la provincia O'Connor Burnet. La provincia se extiende sobre una longitud de 90 kilómetros de norte a sur y más de 105 kilómetros de este a oeste.

La provincia Mendez tiene un clima templado con una temperatura promedio de 21 °C.

La zona de El Rancho perteneciente al Municipio de San Lorenzo de la provincia Mendez, lugar en el cual se extrajo una de las muestras de arena para el trabajo de investigación es uno de los Cantones del Municipio de San Lorenzo y se encuentra a 25 minutos del centro de la ciudad entre la carretera Tomatitas – San Lorenzo, sus caminos de acceso son asfaltados en un 95 %.

La arena fue obtenida de los bancos de acopio de la Empresa Erika, la cual fue extraída del rio Guadalquivir en estado natural y luego fue sometida al proceso de chancado.

Esta zona es productora de Agregados Fino y Grueso, utilizados para Cerámicos como también diferentes tipos de construcciones civiles.

### **3.3 MUESTREO DE LOS MATERIALES PARA LA APLICACIÓN.**

Los materiales para los ensayos de esta investigación fueron obtenidos de diferentes lugares del departamento de Tarija anteriormente mencionados.

Previo a las gestiones realizadas se pudo trasladar los volúmenes requeridos para la arena con la cual se desarrollaron todas las prácticas de laboratorio, las briquetas y probetas de rellenos de densidad controlada para sus posteriores ensayos de Peso Volumétrico, Resistencia a Compresión y CBR referente a sub base de pavimentos.

Las arenas seleccionadas como agregado fino se llenaron bolsas plásticas resistentes de 50 kilos las cuales fueron trasladadas hasta el lugar de los ensayos en Laboratorios de Suelos y Hormigones de la U.A.J.M.S

***Foto N° 1. Recolección de Arena.***



*Fuente: Elaboración Propia.*

Las arenas fueron lavados utilizando el tamiz N° 200 para obtener mejores resultados y separan arenas de limo y arcilla.

***Foto N° 2. Lavado de la Arena Utilizando Tamiz N° 200.***



*Fuente: Elaboración Propia.*

Los cementos se obtienen de cualquier casa comercial en bolsas de 50 Kg. Los cementos usados en este trabajo de investigación fueron El Puente del tipo Especial IP-30 y Fancesa IP-30 que son los más conocidos y utilizados en el medio. Las bolsas de cemento fueron trasladadas hasta el lugar de los ensayos en Laboratorios de Suelos y Hormigones de la U.A.J.M.S. Éste se dejó en un lugar, cuidando su nivel de humedad.

**Foto N° 3, Bolsa de Cemento El Puente 50 Kg.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

El aditivo elegido y utilizado para la investigación fue Aditivo Espumígeno para mezclas de cemento de baja densidad denominado (Adikrete) de la marca PROTEX de fabricación Argentina, el cual viene en presentaciones de 20 y 200 Kg. Lastimosamente este aditivo no se puede encontrar en nuestro departamento por lo cual se tuvo que realizar un pedido del producto a una casa comercial en la Provincia de Salta, de la República Argentina

**Foto N° 4, Aditivo Espumígeno 20 Kg.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.4 PROCESO DE LA CARACTERIZACION.

*Foto N° 5. Agua Potable.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

*Foto N°6. Arenas Utilizadas.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

*Foto N° 7. Aditivo Espumígeno.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

*Foto N° 8. Cementos Utilizados.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.4.1 Agua.

Su función es permitir la hidratación del cemento y hacer manejable la mezcla

- Debe ser limpia y libre de cualquier sustancia perjudicial al pavimento terminado
- En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano

#### *Materiales constitutivos del concreto*

Características Límite:

- pH  $\geq 5$
- Sustancias disueltas  $\leq 15$  g/l
- Contenido de sulfatos (SO<sub>4</sub>)  $\leq 1$  g/l
- Sustancias orgánicas solubles en éter  $\leq 15$  g/l
- Contenido de ion cloro  $\leq 6$  g/l
- Hidratos de carbono (azúcares) 0

#### **Agua para la práctica**

El agua con la que se trabajó tanto para la preparación del mortero para las tuberías estructurales, como para el hormigón y para el proceso de curado es agua potable de grifo que cuenta con las siguientes características:

- PH  $\geq 5$
- Material soluble 15 gr/ltr.
- Material en suspensión 5gr. /ltr.

### 3.4.2 Aditivo.

Como aditivo espumígeno se utilizó el producto Adikrete de la marca PROTEX el cual es un aditivo líquido, incoloro, utilizado para incorporar un alto porcentaje de micro burbujas de aire estabilizado, tanto a los morteros de cemento y arena, como a las pastas de cemento. El aditivo actúa sobre la tensión superficial del agua y la generación de espuma se produce por acción mecánica, siendo fundamental la eficiencia del batido. La ficha técnica del producto se presenta en el Apéndice (A) de los Anexos.

### 3.4.3 Caracterización de la Arena.

Se entiende por “árido fino”, el árido o fracción del mismo que pasa por el tamiz de 5 mm de malla. La arena será limpia, de buena calidad y sin materiales extraños como pizarras, arcilla, barros, hojas, yesos u otras materias deletéreas. El módulo de fineza debe estar comprendido entre 2.50 y 3.00

La arena deberá cumplir con el siguiente cuadro de granulometría:

- **Características de la arena**

*Tabla N° 13. Tamaño de los la Agregados Según Norma ASTM C-33.*

Tamiz N°	% que pasa Mínimo	% que pasa Máximo
100	2	10
50	10	30
30	25	60
16	50	85
8	80	100
4	95	100

*Fuente: ASTM C-33.*

En cuanto a la granulometría y demás pruebas de laboratorio que se realizaron para la arena, fueron consecutivas y siguiendo las guías técnicas ya establecidas según las normas vigentes en este caso se trabajó con la ASTM.

Los ensayos de caracterización para la arena fueron los siguientes:

- **Ensayo de Granulometría para la Arena.**

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman el suelo. Esto se realiza con la ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se obtienen los pesos que se retienen en la malla, referido al peso total que se utiliza en el ensayo.

El factor fundamental del ensayo es la curva granulométrica, que se dibuja en una escala logarítmica, ya que de no ser así, la representación gráfica tendría que usar una escala demasiado grande.

**- Peso Específico de la Arena.**

El ensayo que se describe a continuación tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por el periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

**- Peso Unitario de la Arena.**

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

**- Equivalente de Arena.**

Viene motivado por la posible presencia de finos arcillosos en la arena que pueden afectar negativamente tanto a la resistencia del hormigón como su durabilidad.

Nos da un índice representativo de la proporción y características de los finos (arcillas, impurezas, etc.) que contiene un suelo granular o un árido fino.

$$E.A = \frac{h_1}{h_2} * 100$$

Indica la cantidad de arena del árido ( a mayor porcentaje, mayor cantidad de arena y menor contenido de finos ).

- Los elementos arenosos no son floculables y sedimentan.
- Los finos no arenosos floculan y quedan suspendidos en la solución.

Según la E.H.E. el equivalente de arena:

- c)  $\geq 75$  (obras sometidas a la clase general de exposición).
- d)  $\geq 80$ , el resto de los casos.

En el caso de arenas procedentes del machaqueo de rocas calizas o dolomías ( rocas sedimentarias carbonáticas que contienen  $\geq 70$  % de calcita, dolomita o ambas ) se podrán aceptar si cumplen con el ensayo de azul de metileno.

### 3.4.4 Caracterización del Cemento.

- **Cemento:** Siempre y cuando no se indique lo contrario, se empleará cemento Portland disponible en el país (Clase I - ASTM).

Las muestras de hormigón preparadas con este cemento, serán convenientemente especificadas, fraguadas y almacenadas para su posterior ensayo. Con el objeto de conseguir información de la resistencia. Los ensayos del hormigón estarán en función a la clase de hormigón que se debe preparar y a la resistencia y características que se requiere, de igual manera para los agregados, agua y aditivos.

- **Transporte y almacenamiento del cemento:** El cemento se transportará a un lugar de almacenamiento en seco y protegido contra la humedad. Como el transporte del cemento es en bolsas, éstas tendrán que estar perfectamente cerradas

El cemento deberá emplearse, dentro de lo posible, en los 20 días siguientes a su llegada. Si el almacenaje se extendiera por un período superior a 30 días, el cemento deberá someterse a las pruebas requeridas que confirmen la aptitud para su empleo.

- **Cementos empleados**

Los cementos con los que se trabajó en las prácticas del laboratorio para los rellenos de densidad controlada son Cementos Portland FANCESA IP 30 y EL PUENTE IP 30.

El cual presenta las siguientes características:

- **Tipo IP:** Componentes Portland mínimo 70%, puzolana máximo 30% Categoría 30, Resistencia mín. 30 MPa. 28 días en mortero normalizado.
- **Propiedades:** Sus principales propiedades son: resistencia mecánica media, bajo calor de hidratación, menor retracción y endurecimiento algo más lento.
- **Usos y Aplicaciones:** Utilizado en hormigón armado, pavimentos, prefabricados, hormigones en masa, cimentaciones, obras hidráulicas y en general por su versatilidad para todo tipo de construcciones.
- **Características:** Resistencia mecánica media, bajo calor de hidratación, menor fisuración y retracción química, mejor trabajabilidad, mayor resistencia a ataques químicos, mayor impermeabilidad, mayor durabilidad.
- **Presentación:** Bolsas de 50 Kg.

Además buscando garantizar un buen trabajo se realizaron las siguientes pruebas de laboratorio:

#### **Peso Específico del Cemento.**

El rango aceptable en el cual debe estar el peso específico es entre:

$$2.90 \text{ [gr/cm}^3\text{]} < \text{P.e.} < 3.15 \text{ [gr/cm}^3\text{]}$$

#### **Finura del Cemento.**

La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros siete días. Según la norma ASTM, no exige que se clasifiquen los resultados, sino que se les da un valor informativo de aceptación o rechazo.

La relación que se utiliza para determinar el porcentaje de finura es la siguiente:

- SI el %F es menor al 5%, significa que este es un cemento Portland de endurecimiento rápido
- Si el %F es menor que el 10% es que es un cemento Portland para uso ordinario.

#### **3.4.5. Resultados de la Caracterización.**

- **RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DE LA ARENA.**
- **GRANULOMETRIA.**

**Procedencia:** San Blas.

**Tamaño máx. del agregado:** Arena Natural - Muestra única.

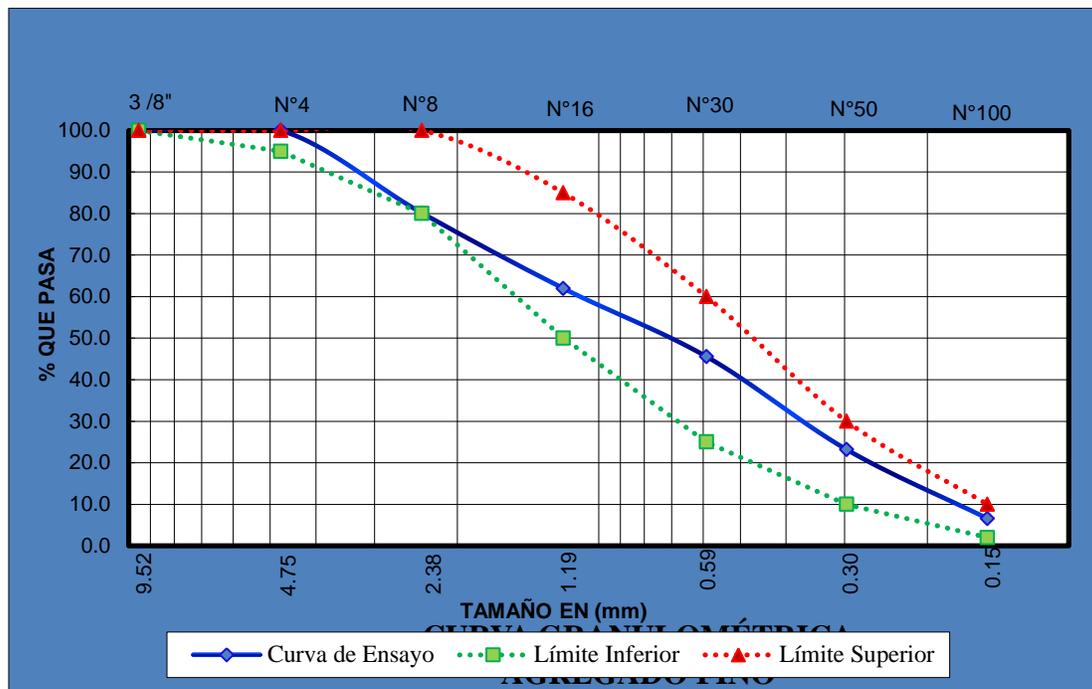
*Los porcentajes que pasaron los tamices correspondientes son:*

**Tabla N° 14. Granulometría del Agregado Fino.**

Tamices (Plg.)	Tamaño (mm)	Peso Retenido.	Retenido. Acumulado	% Retenido	% que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
3/8	9,52	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
N°4	4,75	0.00	0.00	0.00	<b>100.0</b>	95	100
N°8	2,38	195.00	195.00	19.87	<b>80.1</b>	80	100
N°16	1,19	178.20	373.20	38,02	<b>62.0</b>	50	80
N°30	0,59	161.20	534.40	54.45	<b>45.6</b>	25	60
N°50	0,30	219.70	754.10	76.83	<b>23.2</b>	10	30
N°100	0,15	162.80	916.90	93.42	<b>6.6</b>	2	10
<b>BASE</b>		64.10	981.00	99,95	<b>0,1</b>		
<b>SUMA</b>		<b>981.00</b>					
<b>PÉRDIDAS</b>		<b>0.5</b>					
<b>MF</b>		<b>2,83</b>					

Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico N° 1. Curva Granulométrica Agregado Fino.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N° 15. Porcentaje de Humedad y Absorción**

HUMEDAD (%)		ABSORCION (%)	
DATO	gr	DATO	gr
Peso Muestra Húmeda	493.50	Peso Muestra Húmeda (SSS)	500
Peso Muestra seca	491.70	Peso Muestra seca	491.5
Peso Agua	1.80	Peso Agua	8.5
% de Humedad	<b>0.4</b>	% de Absorción	<b>1.7</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Procedencia:** Santa Ana.

**Tamaño máx. del agregado:** Arena Natural - Muestra única

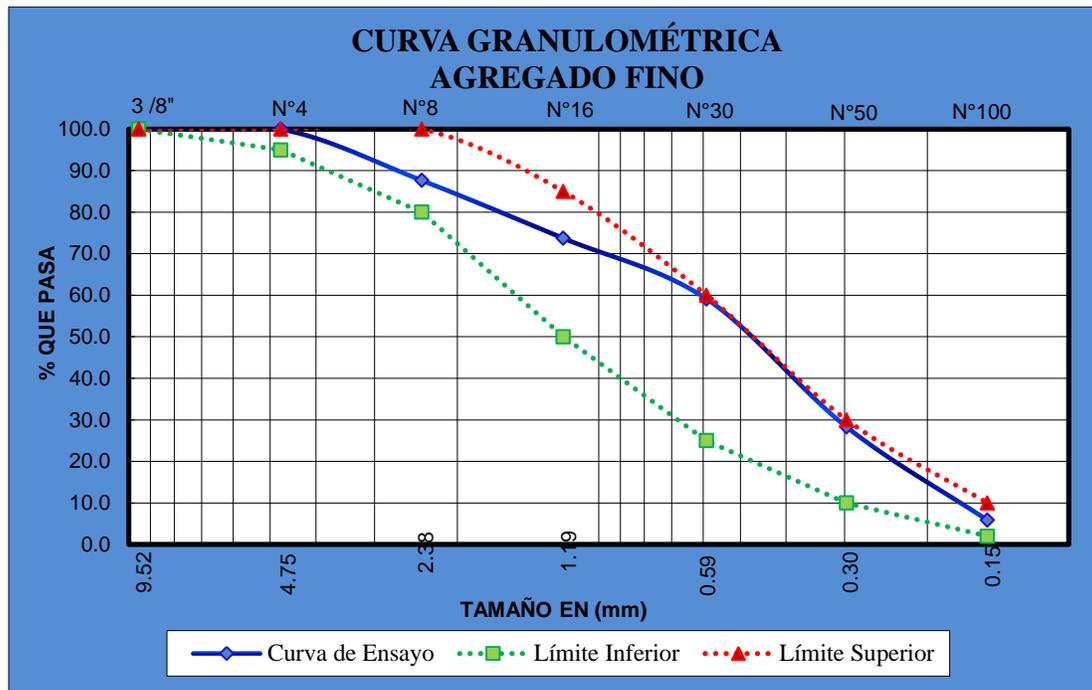
*Los porcentajes que pasaron los tamices correspondientes son:*

**Tabla N°16. Granulometría del Agregado Fino.**

Peso Total (gr.)						959.2	
Tamices (Plg.)	Tamaño (mm)	Peso Retenido.	Retenido. Acumulado	% Retenido	% que pasa del total	Especificación	
						ASTM C-33	
3/8	9,52	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
N°4	4,75	0.00	0.00	0.00	<b>100.0</b>	95	100
N°8	2,38	118.30	118.30	12.33	<b>87.7</b>	80	100
N°16	1,19	133.60	251.90	26.26	<b>73.7</b>	50	85
N°30	0,59	140.00	391.90	40.86	<b>59.1</b>	25	60
N°50	0,30	295.90	687.80	71.71	<b>28.3</b>	10	30
N°100	0,15	215.10	902.90	94.13	<b>5.9</b>	2	10
<b>BASE</b>		56.00	958.90	99,97	<b>0,0</b>		
<b>SUMA</b>		<b>958.90</b>					
<b>PÉRDIDAS</b>		<b>0.3</b>					
<b>MF</b>		<b>2.45</b>					

*Fuente: Elaboración Propia.*

Gráfico N° 2. Curva Granulométrica Agregado Fino.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N°17. Porcentaje de Humedad y Absorción.

HUMEDAD (%)	
DATO	gr
Peso Muestra Húmeda	460.00
Peso Muestra seca	458.30
Peso Agua	1.10
% de Humedad	0.4

ABSORCION (%)	
DATO	gr
Peso Muestra Húmeda (SSS)	500
Peso Muestra seca	494.4
Peso Agua	5.6
% de Absorción	1.1

Fuente: Elaboración Propia.

**Procedencia:** El Rancho.

**Tamaño máx. del agregado:** Arena Chancada - Muestra única.

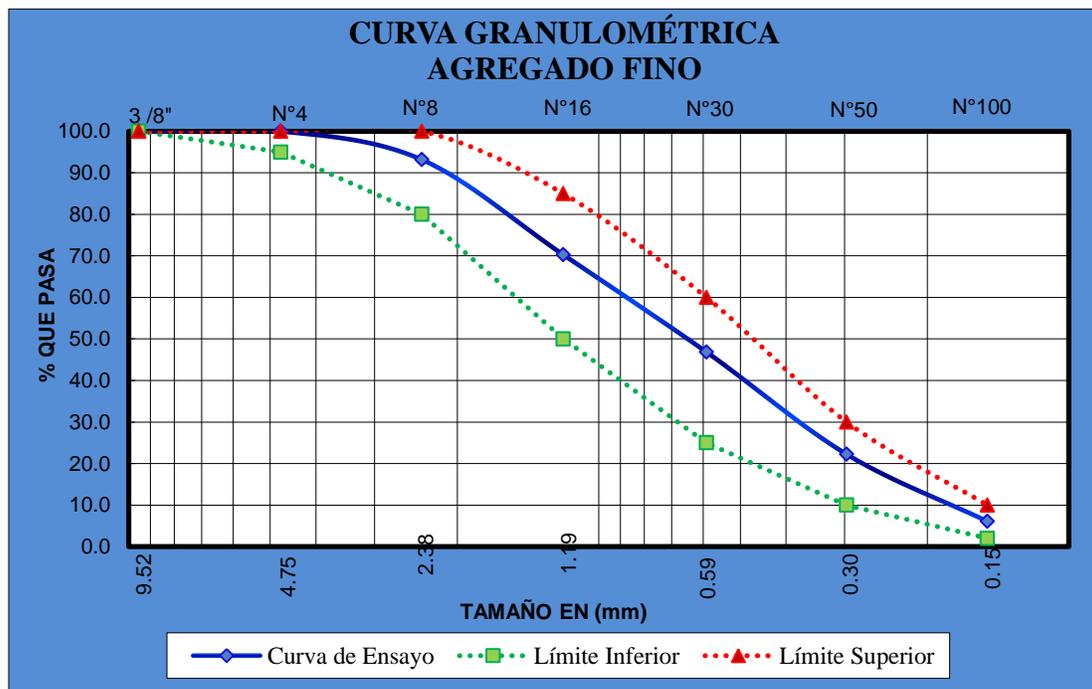
Los porcentajes que pasaron los tamices correspondientes son:

**Tabla N°18. Granulometría del Agregado Fino.**

Peso Total (gr.)						500	
Tamices (Plg.)	Tamaño (mm)	Peso Retenido.	Retenido. Acumulado	% Retenido	% que pasa del total	Especificación	
						ASTM C-33	
3/8	9,52	0,00	0,00	0,00	<b>100,0</b>	100	100
N°4	4,75	0.00	0.00	0.00	<b>100.0</b>	95	100
N°8	2,38	34.10	34.10	6.82	<b>93.2</b>	80	100
N°16	1,19	114.50	148.60	29.72	<b>70.3</b>	50	85
N°30	0,59	117.10	265.70	53.14	<b>46.9</b>	25	60
N°50	0,30	123.10	388.80	77.76	<b>22.2</b>	10	30
N°100	0,15	80.80	469.60	93.92	<b>6.1</b>	2	10
<b>BASE</b>		29.90	499.50	99.90	<b>0,1</b>		
<b>SUMA</b>		<b>499.50</b>					
<b>PÉRDIDAS</b>		<b>0.5</b>					
<b>MF</b>		<b>2.61</b>					

Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico N° 3. Curva Granulométrica Agregado Fino.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla N°19. Porcentaje de Humedad y Absorción.**

<b>HUMEDAD (%)</b>	
<b>DATO</b>	<b>gr</b>
Peso Muestra Húmeda	533.20
Peso Muestra seca	529.30
Peso Agua	3.90
<b>% de Humedad</b>	<b>0.7</b>

<b>ABSORCION (%)</b>	
<b>DATO</b>	<b>Gr</b>
Peso Muestra Húmeda (SSS)	500
Peso Muestra seca	488.36
Peso Agua	11.64
<b>% de Absorción</b>	<b>2.4</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**- RESULTADOS PESO ESPECÍFICO.**

**Tabla N° 20. Peso Específico Arena San Blas.**

	Procedencia: San Blas.					Tamaño max. del agregado: Arena Natural - Muestra Unica.				
<b>MUESTRA N°</b>	<b>PESO MUESTRA (gr)</b>	<b>PESO DE MATRÁZ (gr)</b>	<b>MUESTRA +MATRAZ + AGUA (gr)</b>	<b>PESO DEL AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)</b>	<b>VOLUMEN DEL MATRÁZ "V" (ml)</b>	<b>P. E. A GRANEL (gr/cm3)</b>	<b>P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm3)</b>	<b>P. E. APARENTE (gr/cm3)</b>	<b>% DE ABSORCIÓN</b>
1	500	181.8	961.5	279.70	492.0	500.0	2.23	2.27	2.32	1.60
2	500	181.8	961.0	279.20	491.5	500.0	2.23	2.26	2.32	1.70
3	500	181.8	960.5	278.70	491.0	500.0	2.22	2.26	2.31	1.80
<b>PROMEDIO</b>							<b>2.23</b>	<b>2.26</b>	<b>2.32</b>	<b>1.7</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N° 21. Peso Específico Arena Santa.**

Procedencia: Santa Ana.						Tamaño max. del agregado: Arena Natural - Muestra Unica.				
MUESTRA N°	PESO MUESTRA (gr)	PESO DE MATRÁZ (gr)	MUESTRA +MATRAZ + AGUA (gr)	PESO DEL AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr)	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	VOLUMEN DEL MATRÁZ "V" (ml)	P. E. A GRANEL (gr/cm3)	P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm3)	P. E. APARENTE (gr/cm3)	% DE ABSORCIÓN
1	500	181.8	961.3	279.50	494.0	500.0	2.24	2.27	2.30	1.20
2	500	181.8	962.5	280.70	495.0	500.0	2.26	2.28	2.31	1.00
3	500	181.8	961.9	280.10	494.4	500.0	2.25	2.27	2.31	1.12
PROMEDIO							2.25	2.27	2.31	1.1

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N° 22. Peso Específico Arena El Rancho.**

Procedencia: El Rancho.						Tamaño max. del agregado: Arena Chancada - Muestra Unica.				
MUESTRA N°	PESO MUESTRA (gr)	PESO DE MATRÁZ (gr)	MUESTRA +MATRAZ + AGUA (gr)	PESO DEL AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr)	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	VOLUMEN DEL MATRÁZ "V" (ml)	P. E. A GRANEL (gr/cm3)	P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm3)	P. E. APARENTE (gr/cm3)	% DE ABSORCIÓN
1	500	200.8	1001.3	300.50	488.0	500.0	2.45	2.51	2.60	2.40
2	500	200.8	1001.7	300.90	488.7	500.0	2.45	2.51	2.60	2.26
3	500	200.8	1001.5	300.70	488.4	500.0	2.45	2.51	2.60	2.32
PROMEDIO							2.45	2.51	2.60	2.3

*Fuente: Elaboración Propia.*

**- RESULTADOS PESO UNITARIO.**

**Peso Unitario Suelto Arena San Blas:**

*Tabla N° 23. Peso Unitario Suelto Arena San Blas.*

<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>					
<b>MUESTRA N°</b>	<b>PESO RECIPIENTE (gr)</b>	<b>VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)</b>	<b>PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA SUELTA (gr)</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)</b>
1	2606.6	3000.0	7526.1	4919.5	1.640
2	2606.6	3000.0	7525.9	4919.3	1.640
3	2606.6	3000.0	7525.7	4919.1	1.640
<b>PROMEDIO</b>					<b>1.640</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Peso Unitario Compacto Arena San Blas:**

*Tabla N° 24. Peso Unitario Compacto Arena San Blas.*

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>					
<b>MUESTRA N°</b>	<b>PESO RECIPIENTE (gr)</b>	<b>VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)</b>	<b>PESO RECIP. + MUESTRA APISIONADA (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA APISIONADA (gr)</b>	<b>PESO UNITARIO APISIONADO (gr/cm3)</b>
1	2606.6	3000.0	7807.9	5201.3	1.734
2	2606.6	3000.0	7807.5	5200.9	1.734
3	2606.6	3000.0	7807.0	5200.4	1.733
<b>PROMEDIO</b>					<b>1.734</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla N° 25. Peso Unitario Suelto Arena Santa Ana.*

<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>					
<b>MUESTRA N°</b>	<b>PESO RECIPIENTE (gr)</b>	<b>VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)</b>	<b>PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA SUELTA (gr)</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)</b>
1	2606.6	3000.0	7463.1	4856.5	1.619
2	2606.6	3000.0	7452.0	4845.4	1.615
3	2606.6	3000.0	7457.5	4850.9	1.617
<b>PROMEDIO</b>					<b>1.617</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla N° 26. Peso Unitario Compacto Arena Santa Ana.*

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>					
<b>MUESTRA N°</b>	<b>PESO RECIPIENTE (gr)</b>	<b>VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)</b>	<b>PESO RECIP. + MUESTRA APISIONADA (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA APISIONADA (gr)</b>	<b>PESO UNITARIO APISIONADO (gr/cm3)</b>
1	2606.6	3000.0	7654.6	5048.0	1.683
2	2606.6	3000.0	7662.4	5055.8	1.685
3	2606.6	3000.0	7670.2	5063.6	1.688
<b>PROMEDIO</b>					<b>1.685</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla N° 27. Peso Unitario Suelto Arena El Rancho.*

<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>					
<b>MUESTRA N°</b>	<b>PESO RECIPIENTE (gr)</b>	<b>VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)</b>	<b>PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA SUELTA (gr)</b>	<b>PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)</b>
1	2605.0	3000.0	7342.2	4737.2	1.579
2	2605.0	3000.0	7342.9	4737.9	1.579
3	2605.0	3000.0	7341.5	4737.5	1.579
<b>PROMEDIO</b>					<b>1.579</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla N° 28. Peso Unitario Compacto Arena El Rancho.*

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>					
<b>MUESTRA N°</b>	<b>PESO RECIPIENTE (gr)</b>	<b>VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)</b>	<b>PESO RECIP. + MUESTRA APISIONADA (gr)</b>	<b>PESO MUESTRA APISIONADA (gr)</b>	<b>PESO UNITARIO APISIONADO (gr/cm3)</b>
1	2605.0	3000.0	7567.0	4962.0	1.654
2	2605.0	3000.0	7568.2	4963.2	1.654
3	2605.0	3000.0	7566.8	4961.8	1.654
<b>PROMEDIO</b>					<b>1.654</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**- RESULTADOS EQUIVALENTE DE ARENA.**

**Arena Natural San Blas:**

*Tabla N° 29. Equivalente de Arena San Blas.*

<b>ARENA NATURAL SAN BLAS</b>			
<b>N° de Muestra</b>	<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>Equivalente de Arena (%)</b>
	<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>	
1	10.7	11.90	89.92
2	10.6	11.8	89.83
3	10.8	12.00	90.00
	<b>Promedio</b>		<b>89.92</b>

$$E. A. = \frac{H_1}{H_2} * 100$$

<b>Equivalente de Arena (%)</b>	<b>NORMA</b>
<b>89.92</b>	<b>&gt; 75%</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Arena Natural Santa Ana:**

*Tabla N° 30. Equivalente de Arena Santa Ana.*

<b>ARENA NATURAL SANTA ANA.</b>			
<b>N° de Muestra</b>	<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>Equivalente de Arena (%)</b>
	<b>(cm)</b>	<b>(cm)</b>	
1	11.5	12.10	95.04
2	11.5	12	95.83
3	11.3	11.90	94.96
	<b>Promedio</b>		<b>95.28</b>

$$E. A. = \frac{H_1}{H_2} * 100$$

Equivalente de Arena (%)	NORMA
95.28	> 75%

*Fuente: Elaboración Propia.*

### Arena Chancada El Rancho:

*Tabla N° 31. Equivalente de Arena El Rancho.*

ARENA CHANCADA EL RANCHO			
N° de Muestra	H1	H2	Equivalente de Arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	10.5	11.00	95.45
2	10.6	11	96.36
3	10.4	10.90	95.41
		<b>Promedio</b>	<b>95.74</b>

$$E. A. = \frac{H_1}{H_2} * 100$$

Equivalente de Arena (%)	NORMA
95.74	> 75%

*Fuente: Elaboración Propia.*

- **RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DEL CEMENTO.**
- **PESO ESPECIFICO**

*Tabla N° 32. Peso Especifico del Cemento.*

ENSAYO N°:	TIPO DE CEMENTO:	PESO DE LA MUESTRA [gr]	VOL. INICIAL: [ml]	TEMP. INICIAL: [°C]	VOL. FINAL [ml]	TEMP. FINAL: [°C]
1	EL PUENTE IP 30	64	0.4	24	21.4	23.5
2	FANCESA IP 30	64	0.6	25	21.85	24

*Fuente: Elaboración Propia.*

■ **CEMENTO EL PUENTE IP 30**

**Vol. Desplazado (IP 30) = 21,4 – 0,4 = 21 (cm<sup>3</sup>)**

**P.E (IP 30)=Peso del cemento en gramos/ Vol. Desplazado**

**P.E. (EL PUENTE IP 30)= 64/21 = 3,05 gr/cm<sup>3</sup>**

■ **CEMENTO FANCESA IP 30**

**Vol. Desplazado (IP 30) = 21,85 – 0,6 = 21,25 (cm<sup>3</sup>)**

**P.E (IP 30)=Peso del cemento en gramos/ Vol. Desplazado**

**P.E. (FANCESA IP 30)= 64/21,25 = 3,01 gr/cm<sup>3</sup>**

## - FINURA.

## Determinación de la Finura Cemento El Puente IP 30.

Tabla N° 33. Datos para el Porcentaje de Finura.

DATOS DE LA FINURA DEL CEMENTO				
PARAMETRO	UNIDADES	OBSERVACIONES		
Pesos de la hoja ( $W_H$ )	g	3.1		
Peso de la muestra ( $W_M$ )	g	50	50	50
Peso retenido en Tamiz N°40 + Peso de la Hoja ( $W_{N°40+H}$ )	g	3.27	3.24	3.25
Peso retenido en Tamiz N°200 + Peso de la Hoja ( $W_{N°200+H}$ )	g	9.23	9.60	10.30
Peso retenido en la Base + Peso de la hoja ( $W_{B+H}$ )	g	46.35	46.20	44.86

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 34. Resultados Obtenidos en Laboratorio.

DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO					
PARAMETRO	UNID.	OBSERVACIONES			Promedio de la finura del Cemento
Peso retenido en Tamiz N°40 + Peso de la Hoja ( $W_{N°40}$ )	g	0.17	0.14	0.15	
Peso retenido en Tamiz N°200 + Peso de la Hoja ( $W_{N°200}$ )	g	6.13	6.5	7.2	
Peso retenido en la Base + Peso de la hoja ( $W_b$ )	g	43.25	43.1	41.76	
Finura del Cemento (F)	%	12.6	13.28	14.7	<b>13.53 %</b>

Fuente: Elaboración Propia.

### Determinación de la Finura Cemento Fancesa IP 30.

*Tabla N° 35. Datos para el Porcentaje de Finura.*

DATOS DE LA FINURA DEL CEMENTO				
PARAMETRO	UNIDADES	OBSERVACIONES		
Pesos de la hoja ( $W_H$ )	g	1.8		
Peso de la muestra ( $W_M$ )	g	50	50	50
Peso retenido en Tamiz N°40 + Peso de la Hoja ( $W_{N°40+H}$ )	g	1.85	1.85	1.84
Peso retenido en Tamiz N°200 + Peso de la Hoja ( $W_{N°200+H}$ )	g	10.5	11.25	10.25
Peso retenido en la Base + Peso de la hoja ( $W_{B+H}$ )	g	42.38	41.4	42.50

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla N° 36. Resultados Obtenidos en Laboratorio.*

DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO					
PARAMETRO	UNID.	OBSERVACIONES			Promedio de la finura del Cemento
Peso retenido en Tamiz N°40 + Peso de la Hoja ( $W_{N°40}$ )	g	0.15	0.18	0.10	
Peso retenido en Tamiz N°200 + Peso de la Hoja ( $W_{N°200}$ )	g	5.9	5.86	4.94	
Peso retenido en la Base + Peso de la hoja ( $W_b$ )	g	43.95	43.96	45.16	
Finura del Cemento (F)	%	12.1	12.08	10.08	

**11.42 %**

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.5. DOSIFICACION DE LA MEZCLA.

En cuanto a la dosificación para la investigación realizada se optó por utilizar los resultados de una investigación más amplia realizada en los laboratorios de la Universidad Nacional de Buenos Aires.

#### 3.5.1. Proporciones de la Mezcla.

La siguiente dosificación se la realizo en base a un trabajo de investigación realizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Buenos Aires, cuya dosificación cumple con las condiciones establecidas por la Dirección Nacional de Viabilidad de la República Argentina como sub base de pavimento (RDC 200 – 0.95), en la cual se usaron las siguientes proporciones y valores:

*Tabla N° 37. Proporciones de la Mezcla.*

<b>DOSIFICACION DE LOS RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA</b>		
<b>RDC 200 - 0.95.</b>		
<b>MATERIALES</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
CEMENTO	(Kg/m3)	197
AGUA	(Kg/m3)	183
ARENA	(Kg/m3)	1215
ADITIVO ESPUMIGENO	(Kg/m3)	0.5
AGUA/CEMENTO	-	0.93
AIRE	%	29%
FLUIDEZ (Cono de Abrams)	(cm)	18.5

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.6. CONTROL DE LA MEZCLA CON DENSIDAD CONTROLADA.

#### 3.6.1. Ensayos de Control.

##### - PESO VOLUMETRICO.

Se lo determina en laboratorio pesando las muestras en una balanza automática, un relleno de densidad controlada con un contenido de aire de 15 a 30% se producen pesos volumétricos que oscilan entre 1200 a 1800 Kg/m<sup>3</sup>, cuyo valor en concretos normales es de 2300 a 2500 Kg/m<sup>3</sup>.

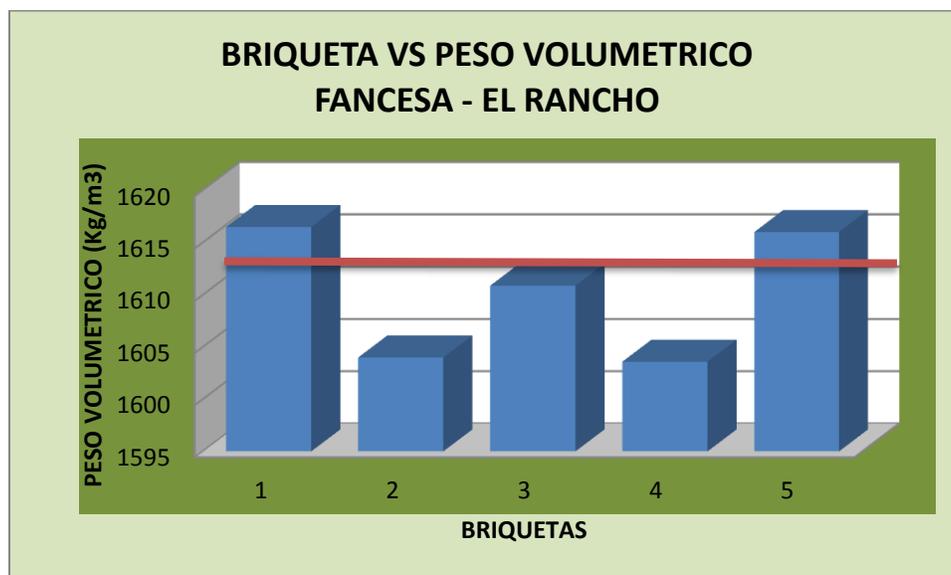
En el cálculo del peso volumétrico obtenemos los siguientes resultados:

*Tabla N° 38. Resultados de Pesos Volumétricos.*

PESOS VOLUMETRICOS RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA				
CEMENTO: FANCESA - ARENA: EL RANCHO				
Briqueta N°	Peso (gr)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Pesos Volumétricos (gr/cm <sup>3</sup> )	Pesos Volumétricos (Kg/ m <sup>3</sup> )
1	202.06	125	1.61648	1616.48
2	200.5	125	1.604	1604.00
3	201.36	125	1.61088	1610.88
4	200.45	125	1.6036	1603.60
5	202	125	1.616	1616.00
PROMEDIOS:			1.61	1610.19

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N°4. Histograma Comparativo de Resultados Peso Volumétrico.**



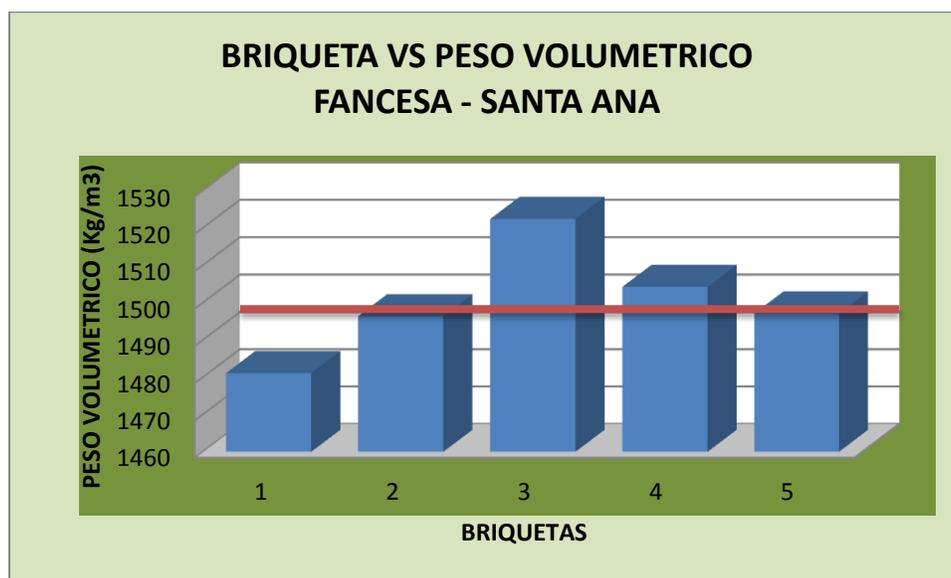
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N° 39. Resultados de Pesos Volumétricos.**

PESOS VOLUMETRICOS RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA				
CEMENTO: FANCESA - ARENA: SANTA ANA				
Briqueta N°	Peso (gr)	Volumen (cm3)	Pesos Volumétricos (gr/cm3)	Pesos Volumétricos (Kg/ m3)
1	185.14	125	1.48112	1481.12
2	187.05	125	1.4964	1496.40
3	190.3	125	1.5224	1522.4
4	188.03	125	1.50424	1504.24
5	187.14	125	1.49712	1497.12
<b>PROMEDIOS:</b>			<b>1.50</b>	<b>1500.26</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 5. Histograma Comparativo de Resultados Peso Volumétrico.**



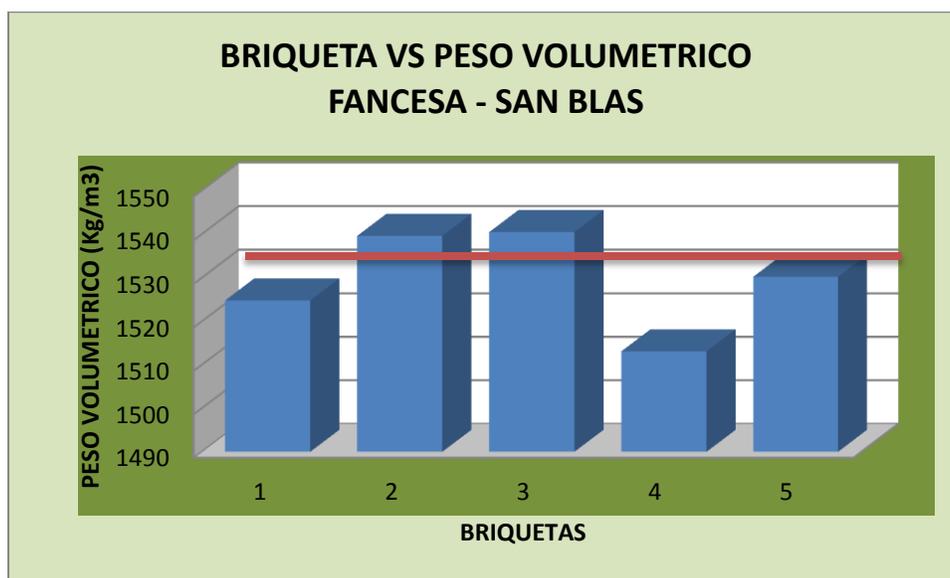
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N° 40. Resultados de Pesos Volumétricos.**

<b>PESOS VOLUMETRICOS RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA</b>				
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: SAN BLAS</b>				
<b>Briqueta N°</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>Volumen (cm3)</b>	<b>Pesos Volumétricos (gr/cm3)</b>	<b>Pesos Volumétricos (Kg/ m3)</b>
1	190.6	125	1.5248	1524.8
2	192.45	125	1.5396	1539.60
3	192.56	125	1.54048	1540.48
4	189.14	125	1.51312	1513.12
5	191.28	125	1.53024	1530.24
<b>PROMEDIOS:</b>			<b>1.53</b>	<b>1529.65</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 6. Histograma Comparativo de Resultados Peso Volumétrico.**



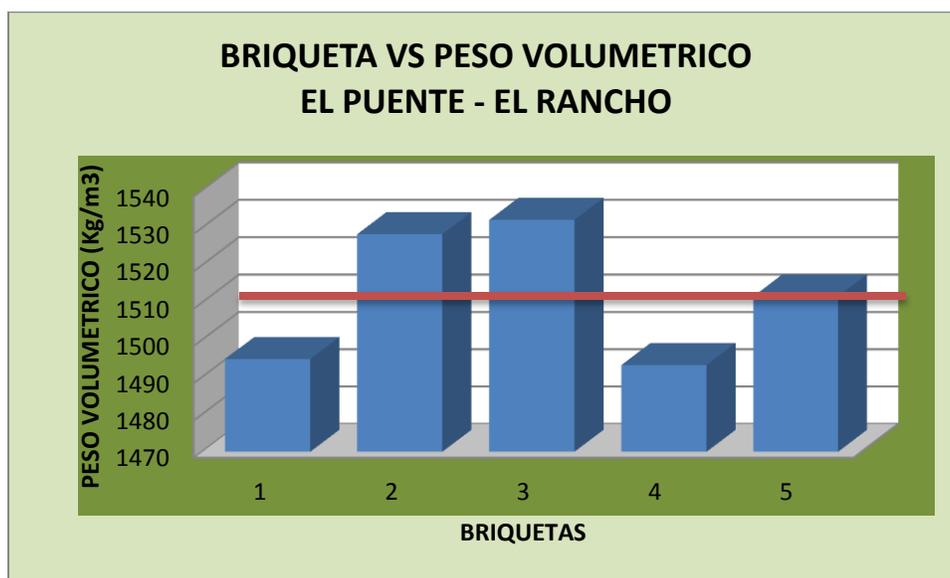
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N° 41. Resultados de Pesos Volumétricos.**

<b>PESOS VOLUMETRICOS RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA</b>				
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: EL RANCHO</b>				
<b>Briqueta N°</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>Volumen (cm3)</b>	<b>Pesos Volumétricos (gr/cm3)</b>	<b>Pesos Volumétricos (Kg/ m3)</b>
1	186.86	125	1.49488	1494.88
2	191.04	125	1.52832	1528.32
3	191.52	125	1.53216	1532.16
4	186.66	125	1.49328	1493.28
5	188.96	125	1.51168	1511.68
<b>PROMEDIOS:</b>			<b>1.51</b>	<b>1512.06</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 7. Histograma Comparativo de Resultados Peso Volumétrico.**



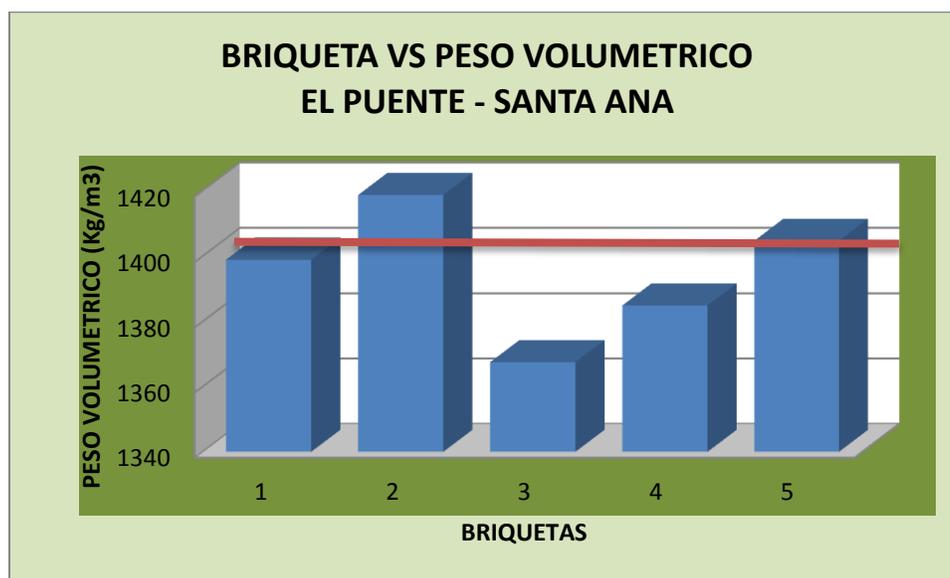
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N° 42. Resultados de Pesos Volumétricos.**

<b>PESOS VOLUMETRICOS RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA</b>				
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SANTA ANA</b>				
<b>Briquetas N°</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Pesos Volumétricos (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Pesos Volumétricos (Kg/ m<sup>3</sup>)</b>
1	174.86	125	1.39888	1398.88
2	177.33	125	1.41864	1418.64
3	170.94	125	1.36752	1367.52
4	173.11	125	1.38488	1384.88
5	175.58	125	1.40464	1404.64
<b>PROMEDIOS:</b>			<b>1.39</b>	<b>1394.91</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 8. Histograma Comparativo de Resultados Peso Volumétrico.**



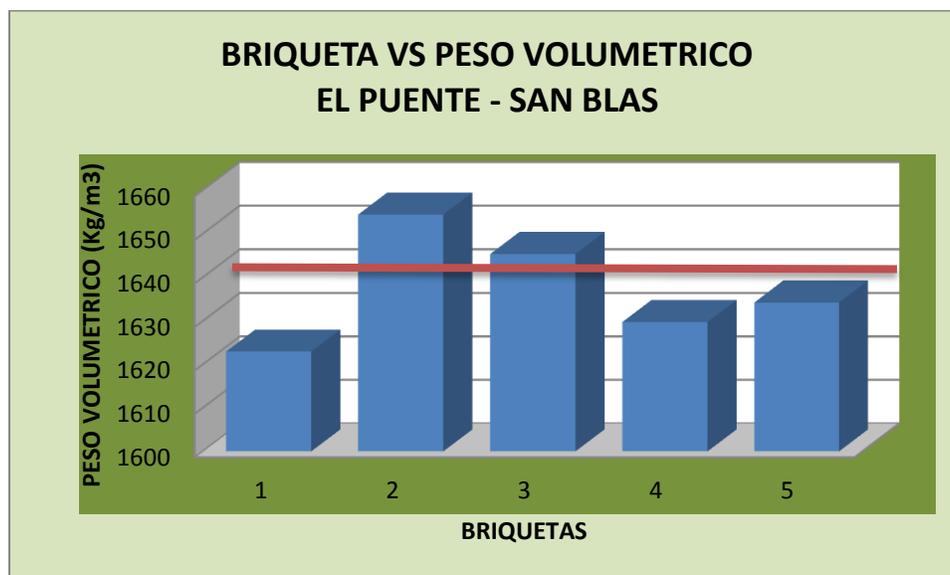
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N° 43. Resultados de Pesos Volumétricos.**

<b>PESOS VOLUMETRICOS RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA</b>				
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SAN BLAS</b>				
<b>Briqueta N°</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Pesos Volumétricos (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Pesos Volumétricos (Kg/ m<sup>3</sup>)</b>
1	202.87	125	1.62296	1622.96
2	206.8	125	1.6544	1654.40
3	205.67	125	1.64536	1645.36
4	203.72	125	1.62976	1629.76
5	204.28	125	1.63424	1634.24
<b>PROMEDIOS:</b>			<b>1.64</b>	<b>1637.34</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 9. Histograma Comparativo de Resultados Peso Volumétrico.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

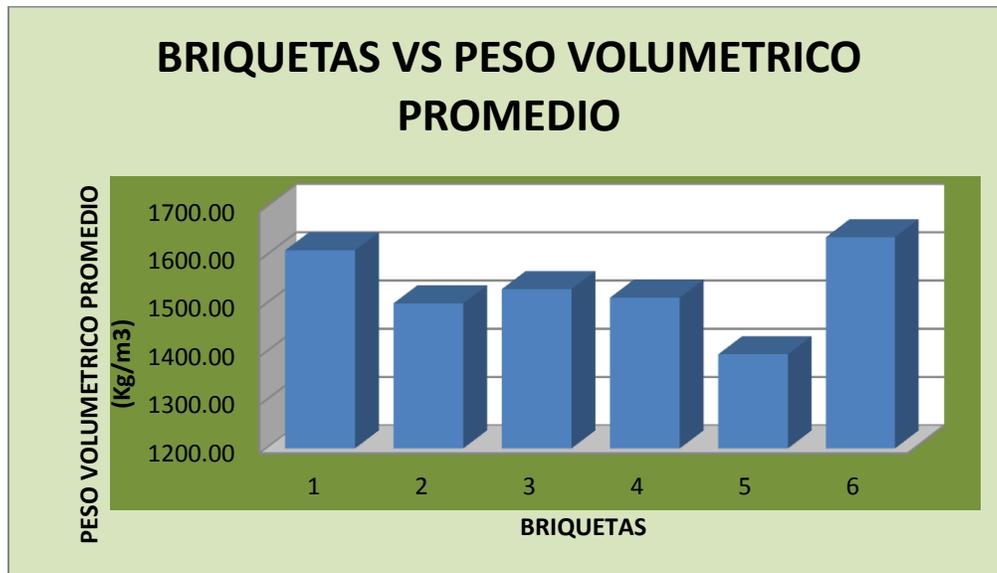
La siguiente tabla es de los resultados de valores promedios de los pesos volumétricos para las diferentes tipos de cementos y arenas utilizadas en la investigación.

**Tabla N° 44. Resultados de Pesos Volumétricos Promedio.**

PESOS VOLUMETRICOS PROMEDIO RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA		
PESOS VOLUMETRICOS PROMEDIO		
BRIQUETAS CUBICAS	Pesos Volumétricos (gr/cm <sup>3</sup> )	Pesos Volumétricos (Kg/ m <sup>3</sup> )
CEMENTO: FANCESA - ARENA: EL RANCHO	1.61	1610.19
CEMENTO: FANCESA - ARENA: SANTA ANA	1.5	1500.26
CEMENTO: FANCESA - ARENA: SAN BLAS	1.53	1529.65
CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: EL RANCHO	1.51	1512.06
CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SANTA ANA	1.39	1394.91
CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SAN BLAS	1.64	1637.34
<b>PROMEDIO DE LOS PESOS VOLUMETRICOS PROMEDIO</b>	<b>1.53</b>	<b>1530.74</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Gráfico N° 10. Histograma de Resultados Peso Volumétrico Promedio.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

#### **- RESISTENCIA A COMPRESION.**

Para el cálculo de la resistencia a compresión fueron ensayadas 5 briquetas cubicas de (5x5x5)cm de rellenos de densidad controlada (RDC 200 – 0.95) para cada combinación de arena y cemento lo que hace un total de 30 briquetas, la prueba de resistencia a compresión se la realizo en la prensa hidráulica con la que cuenta el laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad utilizando un anillo de 5000Kg y un extensómetro de 0.001mm, las muestras fueron ensayadas a los 7 días de edad y proyectadas a los 28 días.

En el cálculo de la resistencia a compresión obtenemos los siguientes resultados:

**Tabla N° 45. Resultados de Resistencia a Compresión.**

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION DE BRIQUETAS CUBICAS DE RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA.</b>								
Dosificación RDC: 200 - 0.95					Identificación: 5 Briquetas			
Cemento: FANCESA IP 30					Tipo de Arena: Chancada			
Procedencia de la Arena: EL RANCHO.								
Briqueta N°	Capacidad del Anillo (Kg)	Lectura del Extensómetro	Edad (días)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Lectura (KN)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
1	5000	17.5	7	25.00	2	238.39	12.29	<b>17.06</b>
2	5000	16	7	25.00	2	218.03	11.24	<b>15.60</b>
3	5000	15.6	7	25.00	2	212.61	10.96	<b>15.21</b>
4	5000	15	7	25.00	3	326.00	13.04	<b>18.10</b>
5	5000	16.1	7	25.00	4	400.00	16.00	<b>22.21</b>
Resistencias Promedio:							12.71	<b>17.64</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 11. Histograma Comparativo de Resistencias a Compresión.**



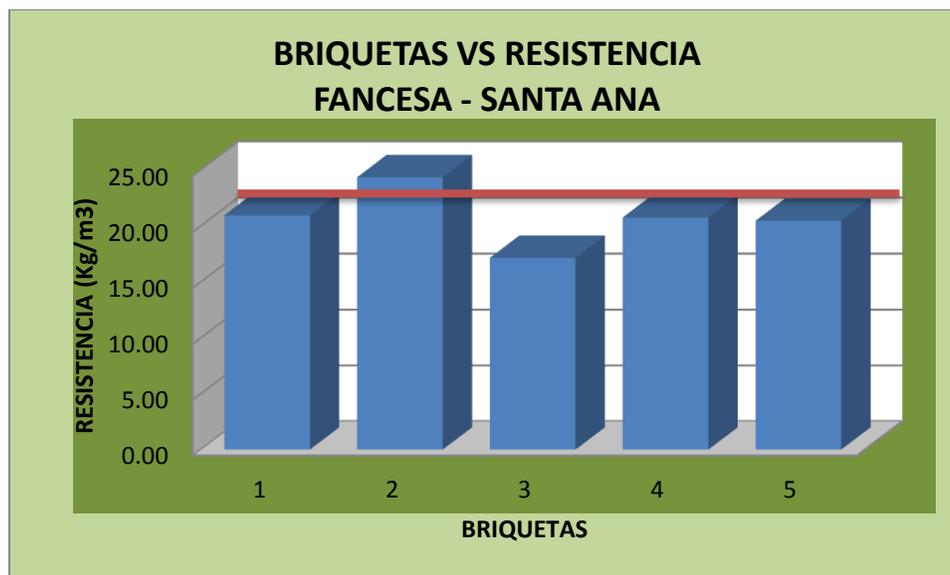
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N° 46. Resultados de Resistencia a Compresión.**

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION DE BRIQUETAS CUBICAS DE RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA.</b>								
Dosificación RDC: 200 - 0.95					Identificación: 5 Briquetas			
Cemento: FANCESA IP 30					Tipo de Arena: Natural			
Procedencia de la Arena: SANTA ANA.								
Briqueta N°	Capacidad del Anillo (Kg)	Lectura del Extensómetro	Edad (días)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Lectura (KN)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
1	5000	21.5	7	25.00	3	292.66	15.09	<b>20.95</b>
2	5000	25	7	25.00	3	340.15	17.53	<b>24.33</b>
3	5000	17.6	7	25.00	2	239.74	12.36	<b>17.16</b>
4	5000	21.3	7	25.00	3	289.95	14.95	<b>20.75</b>
5	5000	21	7	25.00	3	285.88	14.74	<b>20.46</b>
Resistencias Promedio:							14.93	<b>20.73</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 12. Histograma Comparativo de Resistencias a Compresión.**



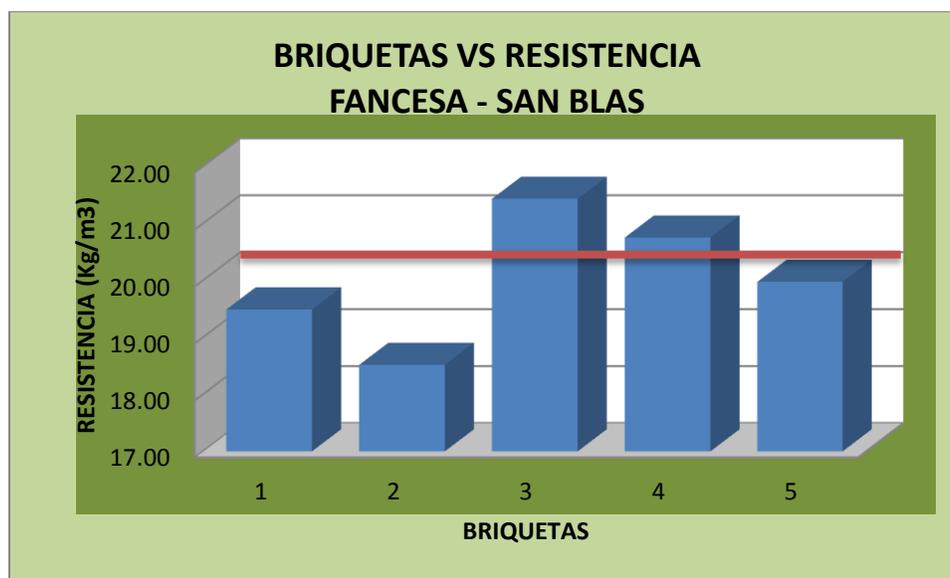
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N° 47. Resultados de Resistencia a Compresión.**

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION DE BRIQUETAS CUBICAS DE RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA.</b>								
Dosificación RDC: 200 - 0.95 Cemento: FANCESA IP 30 Procedencia de la Arena: SAN BLAS.					Identificación: 5 Briquetas Tipo de Arena: Natural			
Briqueta N°	Capacidad del Anillo (Kg)	Lectura del Extensómetro	Edad (días)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Lectura (KN)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
1	5000	20	7	25.00	3	272.31	14.04	<b>19.49</b>
2	5000	19	7	25.00	3	258.74	13.34	<b>18.52</b>
3	5000	22	7	25.00	3	299.45	15.44	<b>21.43</b>
4	5000	21.3	7	25.00	3	289.95	14.95	<b>20.75</b>
5	5000	20.5	7	25.00	3	279.09	14.39	<b>19.98</b>
Resistencias Promedio:							14.43	<b>20.03</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 13. Histograma Comparativo de Resistencias a Compresión.**



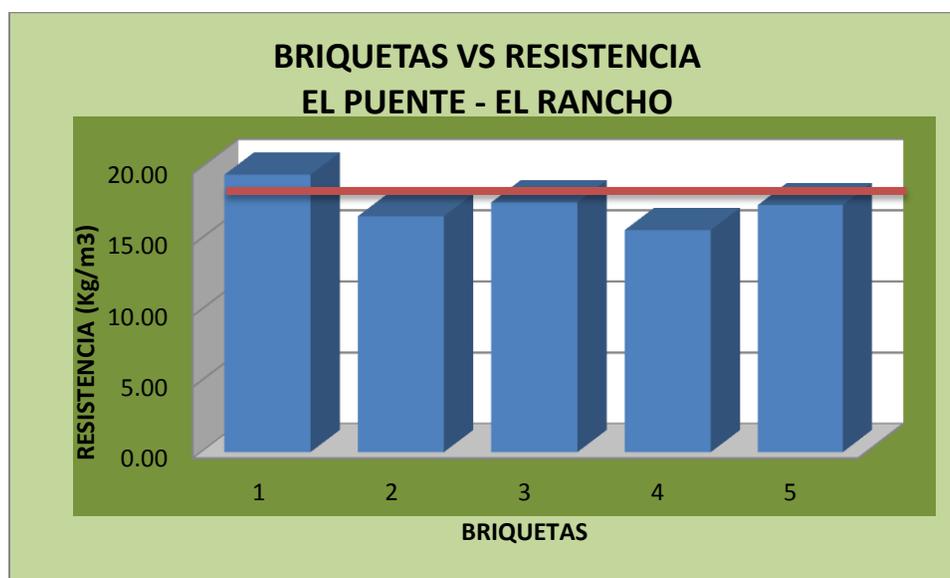
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N° 48. Resultados de Resistencia a Compresión.**

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION DE BRIQUETAS CUBICAS DE RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA.</b>								
Dosificación RDC: 200 - 0.95					Identificación: 5 Briquetas			
Cemento: EL PUENTE IP 30					Tipo de Arena: Chancada			
Procedencia de la Arena: EL RANCHO.								
Briqueta N°	Capacidad del Anillo (Kg)	Lectura del Extensómetro	Edad (días)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Lectura (KN)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
1	5000	20	7	25.00	3	272.31	14.04	<b>19.49</b>
2	5000	17	7	25.00	2	231.60	11.94	<b>16.57</b>
3	5000	18	7	25.00	2	245.17	12.64	<b>17.55</b>
4	5000	16	7	25.00	2	218.03	11.24	<b>15.60</b>
5	5000	17.8	7	25.00	2	242.46	12.50	<b>17.35</b>
Resistencias Promedio:							12.47	<b>17.31</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 14. Histograma Comparativo de Resistencias a Compresión.**



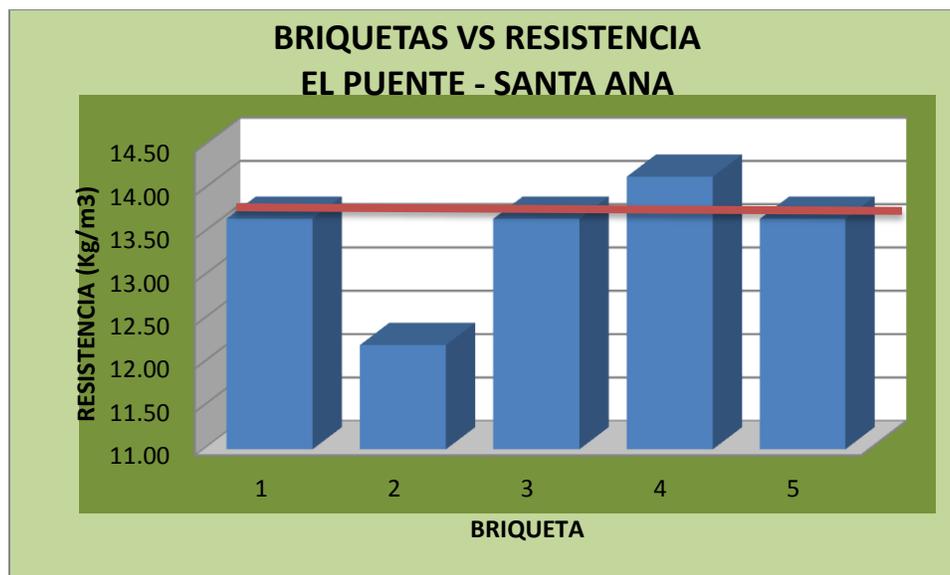
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N° 49. Resultados de Resistencia a Compresión.**

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION DE BRIQUETAS CUBICAS DE RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA.</b>								
Dosificación RDC: 200 - 0.95					Identificación: 5 Briquetas			
Cemento: EL PUENTE IP 30					Tipo de Arena: Natural			
Procedencia de la Arena: SANTA ANA.								
Briqueta N°	Capacidad del Anillo (Kg)	Lectura del Extensómetro	Edad (días)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Lectura (KN)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
1	5000	14	7	25.00	2	190.90	9.84	<b>13.66</b>
2	5000	12.5	7	25.00	2	170.54	8.79	<b>12.20</b>
3	5000	14	7	25.00	2	190.90	9.84	<b>13.66</b>
4	5000	14.5	7	25.00	2	197.68	10.19	<b>14.15</b>
5	5000	14	7	25.00	2	190.90	9.84	<b>13.66</b>
Resistencias Promedio:							9.70	<b>13.47</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 15. Histograma Comparativo de Resistencias a Compresión.**



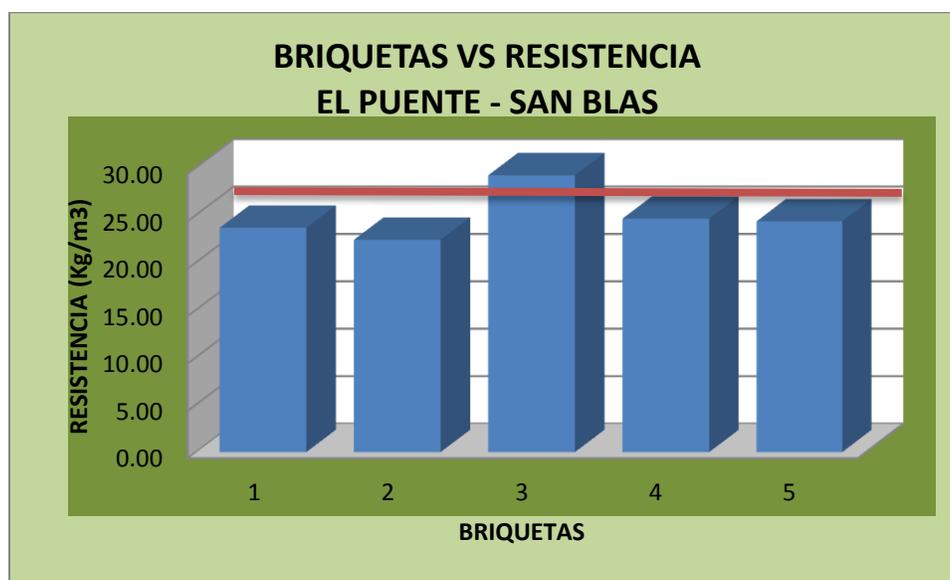
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N° 50. Resultados de Resistencia a Compresión.**

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION DE BRIQUETAS CUBICAS DE RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA.</b>								
Dosificación RDC: 200 - 0.95					Identificación: 5 Briquetas			
Cemento: EL PUENTE IP 30					Tipo de Arena: Natural			
Procedencia de la Arena: SAN BLAS.								
Briqueta N°	Capacidad del Anillo (Kg)	Lectura del Extensómetro	Edad (días)	Sección (cm <sup>2</sup> )	Lectura (KN)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Proyección 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )
1	5000	24.3	7	25.00	3	330.66	17.04	<b>23.65</b>
2	5000	23	7	25.00	3	313.02	16.13	<b>22.39</b>
3	5000	30	7	25.00	4	408.00	21.03	<b>29.19</b>
4	5000	25.3	7	25.00	3	344.23	17.74	<b>24.63</b>
5	5000	25	7	25.00	3	340.15	17.53	<b>24.33</b>
Resistencias Promedio:							17.89	<b>24.84</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 16. Histograma Comparativo de Resistencias a Compresión.**



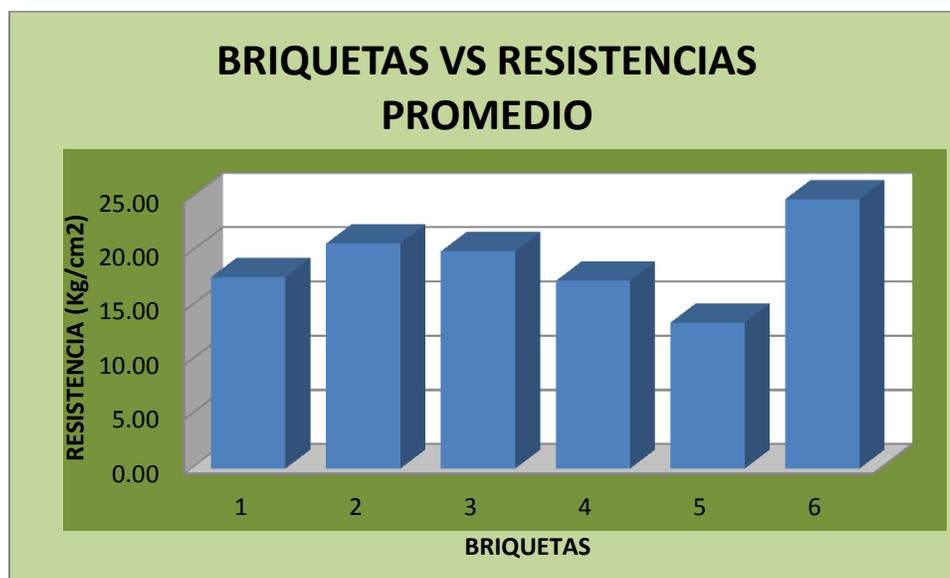
*Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla N° 51. Resultados Promedio de Resistencia a Compresión.*

RESISTENCIAS PROMEDIO RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA				
RESISTENCIAS A COMPRESION PROMEDIO				
BRIQUETAS CUBICAS	RESISTENCIAS A LOS 7 DIAS (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIAS A LOS 7 DIAS (MPa)	RESISTENCIAS A LOS 28 DIAS (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIAS A LOS 28 DIAS (MPa)
CEMENTO: FANCESA - ARENA: EL RANCHO	12.61	1.24	17.64	1.73
CEMENTO: FANCESA - ARENA: SANTA ANA	14.93	1.46	20.73	2.03
CEMENTO: FANCESA - ARENA: SAN BLAS	14.43	1.41	20.03	1.96
CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: EL RANCHO	12.47	1.22	17.31	1.70
CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SANTA ANA	9.70	0.95	13.47	1.32
CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SAN BLAS	17.89	1.75	24.84	2.44
PROMEDIO DE LAS RESISTENCIAS PROMEDIO:	13.67	1.34	19.00	1.86

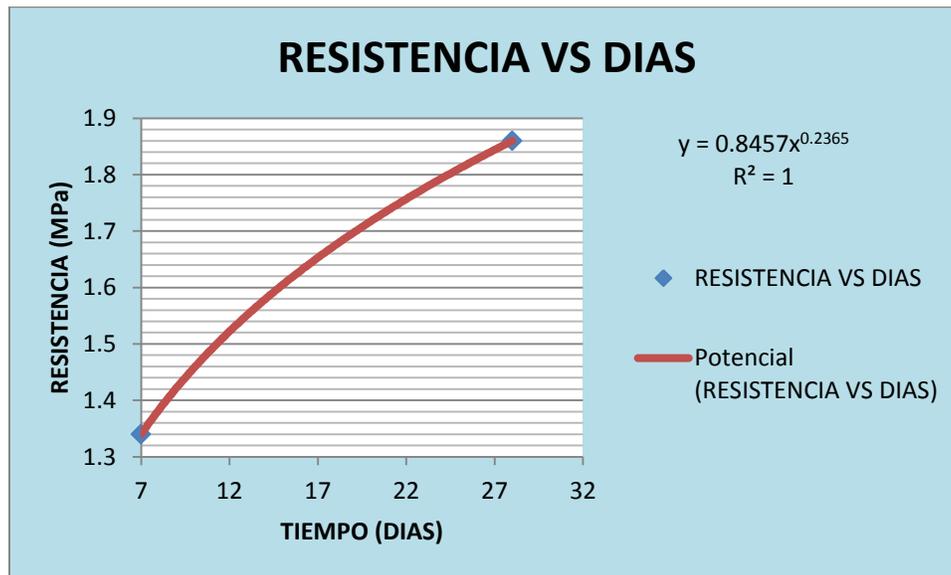
*Fuente: Elaboración Propia.*

*Gráfico N° 17. Histograma de Resistencias a Compresión Promedio.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 18. Gráfica de Resultados Resistencia vs Días.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

#### - CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Para el cálculo del CBR fueron ensayadas 2 probetas cilíndricas de rellenos de densidad controlada (RDC 200 – 0.95) de (15 x 15)cm para las diferentes combinaciones de agregados y cementos teniendo un total de 12 probetas, las cuales fueron ensayadas a los 7 días de edad utilizando la prensa hidráulica que se encuentra en el laboratorio de suelos y hormigones de la universidad y fueron proyectadas a los 28 días de edad en función a la ecuación de la gráfica obtenida entre la comparación de resistencia vs cbr.

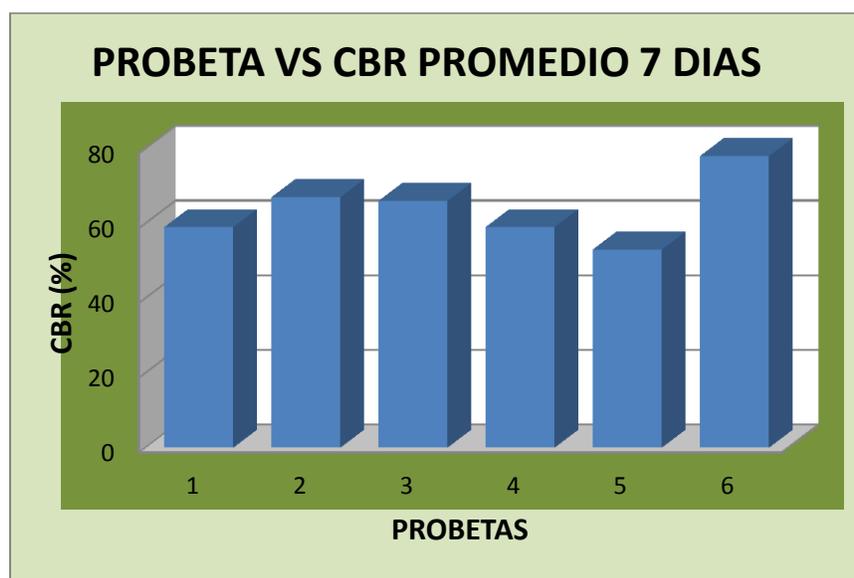
En el cálculo del California Bearing Ratio (CBR) obtenemos los siguientes resultados:

*Tabla N° 52. Resultados Capacidad de Soporte CBR a los 7 días.*

<b>CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) A LOS 7 DIAS</b>			
<b>RDC 200 - 0.95</b>			
<b>Probetas Cilíndricas (15 X 15)</b>	<b>CBR % Probeta 1</b>	<b>CBR % Probeta 2</b>	<b>CBR % PROMEDIO</b>
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: EL RANCHO</b>	60.21	58.67	59
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: SANTA ANA</b>	65.49	68.91	67
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: SAN BLAS</b>	64.55	66.61	66
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: EL RANCHO</b>	59.89	57.56	59
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SANTA ANA</b>	53.31	53.31	53
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SAN BLAS</b>	72.77	82.58	78

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Gráfico N° 19. Histograma de Resultados Promedio de CBR a los 7 días.*



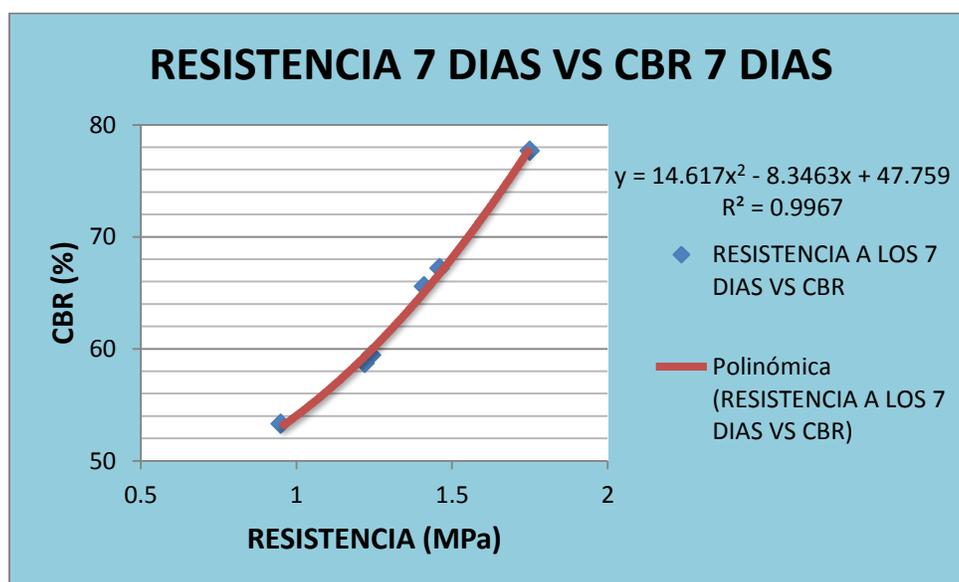
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla N° 53. Resultados Comparativos Resistencia vs CBR.**

<b>CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) A LOS 7 DIAS EN FUNCION A LA RESISTENCIA</b>		
<b>RDC 200 - 0.95</b>		
<b>Probetas Cilíndricas (15 X 15)</b>	<b>VALORES RESISTENCIA VS CBR 7 DIAS</b>	
	<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	<b>CBR (%)</b>
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: EL RANCHO</b>	1.24	59
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: SANTA ANA</b>	1.46	67
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: SAN BLAS</b>	1.41	66
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: EL RANCHO</b>	1.22	59
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SANTA ANA</b>	0.95	53
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SAN BLAS</b>	1.75	78
<b>PROMEDIO CBR A LOS 7 DIAS:</b>		<b>64</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N°20. Gráfico Comparativo Resistencia a Compresión vs CBR a los 7 días.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

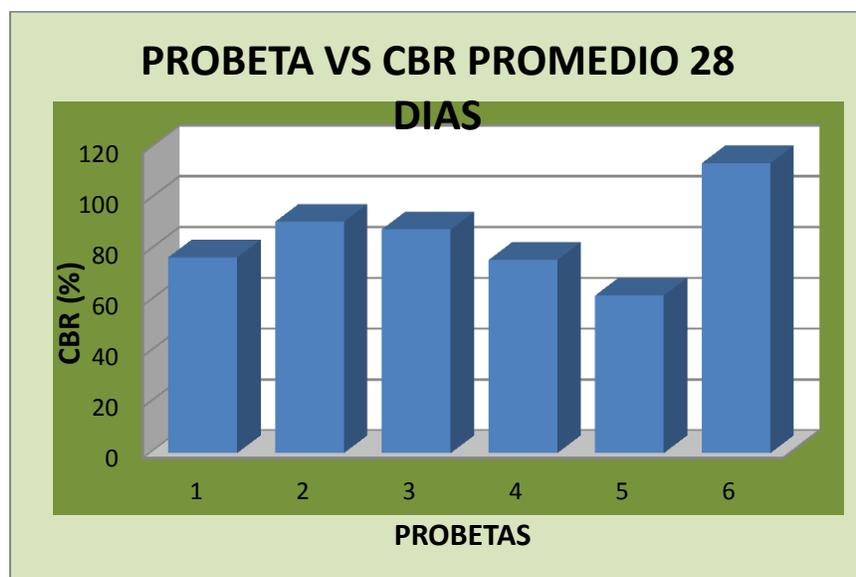
Al observar la perfecta correlación existente entre la resistencia a compresión y cbr, evidenciada en el **Gráfico N°20**, se realizó el cálculo del cbr a los 28 días utilizando la ecuación obtenida en la gráfica en función a la resistencia a compresión proyectada a los 28 a días de edad, donde obtenemos los siguientes resultados:

**Tabla N° 54. Resultados de CBR a los 28días en Función a la Resistencia.**

<b>CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) A LOS 28 DIAS EN FUNCION A LA RESISTENCIA</b>		
<b>RDC 200 - 0.95</b>		
<b>Probetas Cilíndricas (15 X 15)</b>	<b>VALORES DE CBR EN BASE A LA FUNCION DE LA RESISTENCIA</b>	
	<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	<b>CBR (%)</b>
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: EL RANCHO</b>	1.73	77
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: SANTA ANA</b>	2.03	91
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: SAN BLAS</b>	1.96	88
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: EL RANCHO</b>	1.7	76
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SANTA ANA</b>	1.32	62
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SAN BLAS</b>	2.44	114
<b>PROMEDIO CBR EN FUNCION DE LAS RESISTENCIAS:</b>		<b>85</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N° 21. Histograma de Resultados CBR Promedio a los 28 días.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.6.2. Análisis de los Resultados.

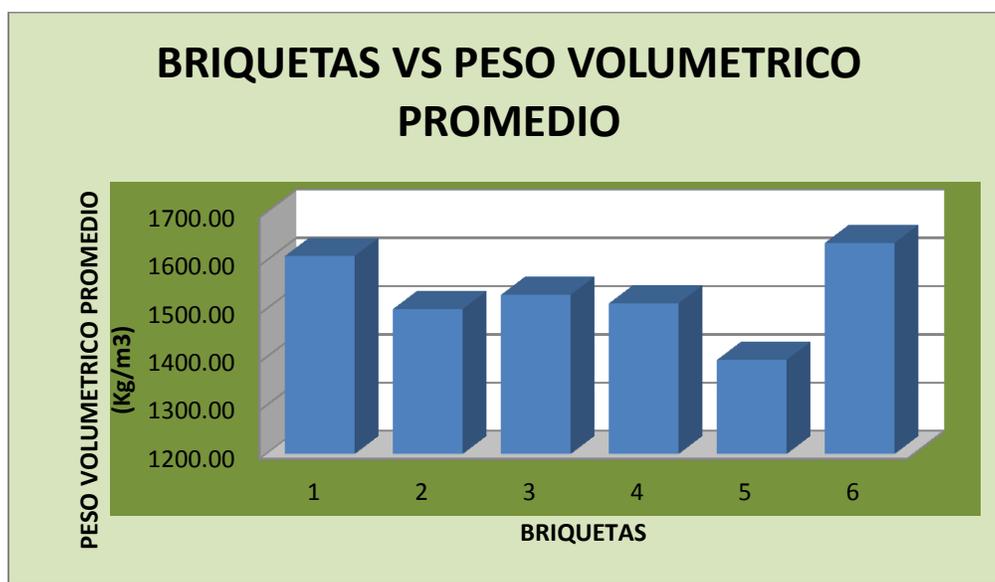
En esta parte de la investigación se realiza una comparación entre cada mezcla de relleno de densidad controlada (RDC 200 – 0.95), esta comparación nos ayudará de un modo más preciso a determinar las características en cuanto a Peso Volumétrico, Resistencia a Compresión y CBR, determinando que tipo de mezcla de relleno de densidad controlada se comporta mejor ante estas variables.

A continuación se presentan los resultados para su análisis:

*Tabla N° 44. Resultados de Pesos Volumétricos Promedio.*

PESOS VOLUMETRICOS PROMEDIO RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA		
PESOS VOLUMETRICOS PROMEDIO		
BRIQUETAS CUBICAS	Pesos Volumétricos (gr/cm3)	Pesos Volumétricos (Kg/ m3)
CEMENTO: FANCESA - ARENA: EL RANCHO	1.61	1610.19
CEMENTO: FANCESA - ARENA: SANTA ANA	1.5	1500.26
CEMENTO: FANCESA - ARENA: SAN BLAS	1.53	1529.65
CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: EL RANCHO	1.51	1512.06
CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SANTA ANA	1.39	1394.91
CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SAN BLAS	1.64	1637.34
<b>PROMEDIO DE LOS PESOS VOLUMETRICOS PROMEDIO</b>	<b>1.53</b>	<b>1530.74</b>

*Gráfico N° 10. Histograma de Resultados Peso Volumétrico Promedio.*



Con ayuda de la Tabla N° 44 y el Gráfico N°10, se puede establecer que el comportamiento que presentan las briquetas de relleno de densidad controlada (RDC 200 – 0.95) en función al Peso Volumétrico, pudiendo determinar que el promedio del peso volumétrico con un porcentaje de aire del 29% es de 1530.74 kg/m<sup>3</sup>, encontrándose dentro del rango de rellenos de densidad controlada que oscila entre (1200 a 1800 Kg/ m<sup>3</sup>).

Se puede ver que la briketa de la mezcla de relleno de densidad controlada con mayor peso volumétrico es de la combinación de cemento El Puente y arena natural San Blas (Rio Guadalquivir) con un peso volumétrico promedio de 1637.34 Kg/m<sup>3</sup> y la de menor peso volumétrico es de la combinación de cemento El Puente y arena Santa Ana (Rio Santa Ana) con un peso volumétrico promedio de 1394.91 Kg/m<sup>3</sup>.

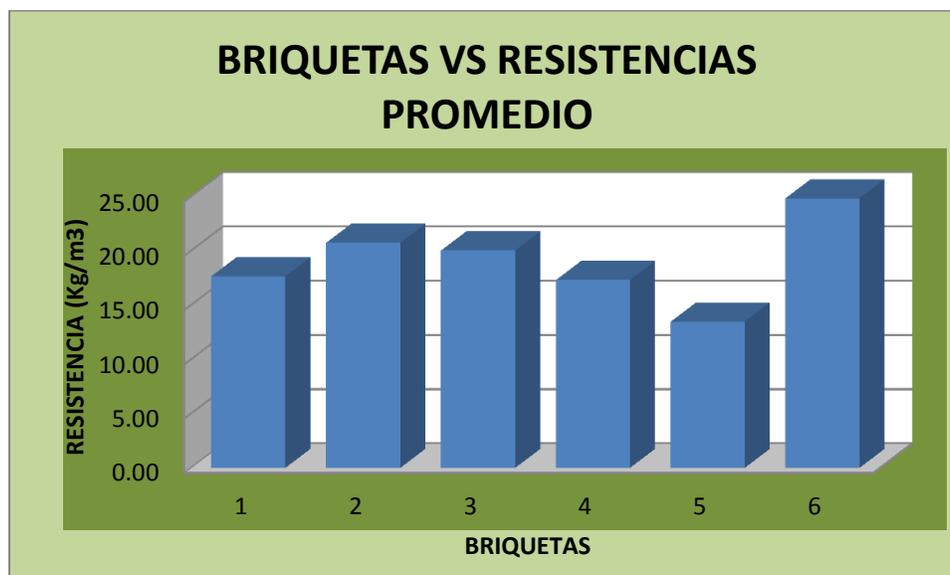
Sabiendo que el peso volumétrico de un mortero de cemento portland y arena es de 2100 Kg/m<sup>3</sup>, se puede ver que existe una diferencia importante en relación al peso volumétrico entre un relleno de densidad controlada que es en promedio de 1530.74 Kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla N° 51. Resultados Promedio de Resistencia a Compresión.**

<b>RESISTENCIAS PROMEDIO RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA</b>				
<b>RESISTENCIAS A COMPRESION PROMEDIO</b>				
<b>BRIQUETAS CUBICAS</b>	<b>RESISTENCIAS A LOS 7 DIAS (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>RESISTENCIAS A LOS 7 DIAS (MPa)</b>	<b>RESISTENCIAS A LOS 28 DIAS (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>RESISTENCIAS A LOS 28 DIAS (MPa)</b>
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: EL RANCHO</b>	<b>12.61</b>	<b>1.24</b>	<b>17.64</b>	<b>1.73</b>
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: SANTA ANA</b>	<b>14.93</b>	<b>1.46</b>	<b>20.73</b>	<b>2.03</b>
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: SAN BLAS</b>	<b>14.43</b>	<b>1.41</b>	<b>20.03</b>	<b>1.96</b>
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: EL RANCHO</b>	<b>12.47</b>	<b>1.22</b>	<b>17.31</b>	<b>1.70</b>
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SANTA ANA</b>	<b>9.70</b>	<b>0.95</b>	<b>13.47</b>	<b>1.32</b>
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SAN BLAS</b>	<b>17.89</b>	<b>1.75</b>	<b>24.84</b>	<b>2.44</b>
<b>PROMEDIO DE LAS RESISTENCIAS PROMEDIO:</b>	<b>13.67</b>	<b>1.34</b>	<b>19.00</b>	<b>1.86</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

*Gráfico N° 17. Histograma de Resistencias a Compresión Promedio.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

Mediante la Tabla N° 51 y el Gráfico N° 17 respectivamente se puede establecer que el comportamiento que presentan las briquetas de relleno de densidad controlada (RDC 200 – 0.95) en función a la Resistencia a la Compresión, pudiendo determinar que el promedio de la resistencia a la compresión para un relleno de densidad controlada de contenido unitario de cemento de 200 Kg/m<sup>3</sup> y relación agua/cemento 0.95 a los 28 días es de 19 kg/cm<sup>2</sup> equivalente a 1.86 Mpa encontrándose dentro del rango aceptable de resistencia a la compresión para sub base de pavimentos.

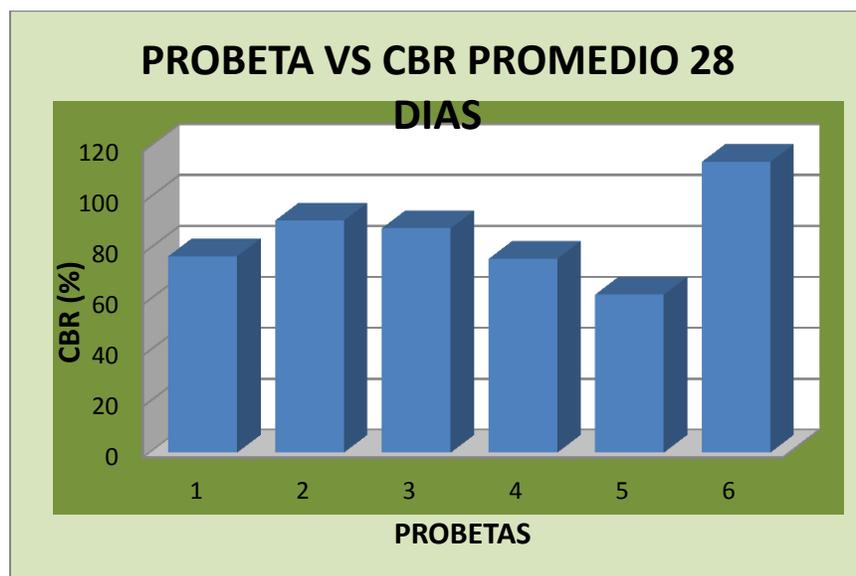
Se puede observar que la briketa de la mezcla de relleno de densidad contralada con mayor resistencia a la compresión es de la combinación de cemento El Puente y arena natural San Blas (Río Guadalquivir) con una resistencia promedio obtenida en laboratorio de 1.75 MPa a los 7 días de edad y 2.44 MPa proyectada a los 28 días y la de menor resistencia a compresión es de la combinación de cemento El Puente y arena natural Santa Ana (Río Santa Ana) con una resistencia promedio de 0.95 MPa ensayada a los 7 días de edad y 1.32 MPa proyectada a los 28 días .

*Tabla N° 54. Resultados de CBR a los 28 días en Función a la Resistencia.*

<b>. CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) A LOS 28 DIAS EN FUNCION A LA RESISTENCIA</b>		
<b>RDC 200 - 0.95</b>		
<b>Probetas Cilíndricas (15 X 15)</b>	<b>VALORES DE CBR EN BASE A LA FUNCION DE LA RESISTENCIA</b>	
	<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	<b>CBR (%)</b>
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: EL RANCHO</b>	1.73	77
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: SANTA ANA</b>	2.03	91
<b>CEMENTO: FANCESA - ARENA: SAN BLAS</b>	1.96	88
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: EL RANCHO</b>	1.7	76
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SANTA ANA</b>	1.32	62
<b>CEMENTO: EL PUENTE - ARENA: SAN BLAS</b>	2.44	114
<b>PROMEDIO CBR EN FUNCION DE LAS RESISTENCIAS:</b>		<b>85</b>

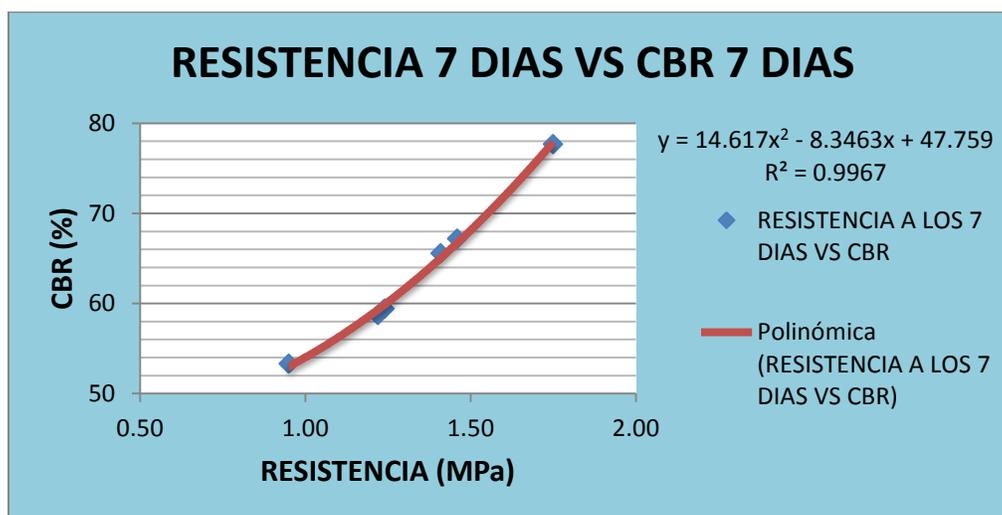
*Fuente: Elaboración Propia.*

*Gráfico N° 21. Histograma de Resultados CBR Promedio a los 28 días.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico N°20. Gráfico Comparativo Resistencia a Compresión vs CBR a los 7 días.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

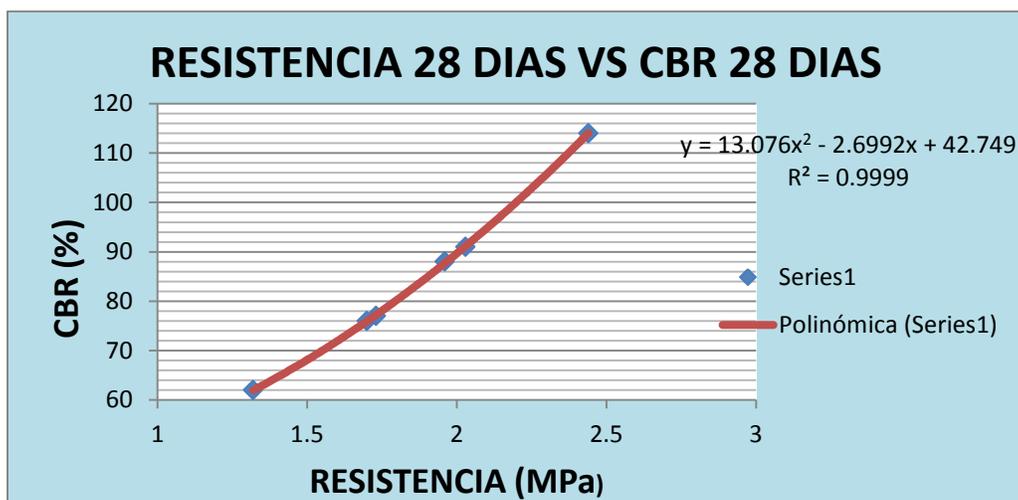
Mediante la Tabla N° 54 y Gráficos N° 20 y N° 21 de resultados se evidencia el comportamiento que presentan las probetas de relleno de densidad controlada (RDC 200 – 0.95) en función al CBR, pudiendo determinar que el promedio de los CBR para un relleno de densidad controlada de contenido unitario de cemento de 200 Kg/m<sup>3</sup> y relación agua/cemento 0.95 y proyectado a los 28 días mediante la ecuación de la correlación polinómica de la gráfica obtenida entre la Resistencia a Compresión a los 7 días vs CBR a los 7 días ( $y = 14.617x^2 - 8.3463x + 47.759$ ) la cual cuenta con un alto valor de precisión ( $R^2 = 0.9967$ ) es del 85% de capacidad de soporte CBR, siendo superior al rango aceptable de CBR para sub base de pavimentos.

Se establece que la probeta de la mezcla de relleno de densidad controlada con mayor porcentaje de CBR es de la combinación de cemento El Puente y arena natural San Blas (Rio Guadalquivir) y la de menor porcentaje de CBR es de la combinación de cemento El Puente y arena natural El Santa Ana (Rio Santa Ana).

Se puede analizar que la Probeta de relleno de densidad controlada de la combinación de cemento El Puente y arena San Bas obtiene un porcentaje de CBR mayor al 100%, considerando como material de referencia a la piedra triturada con un CBR de 100% podemos analizar que las probetas de esta combinación tienen una capacidad de soporte mayor a la de la piedra triturada.

Mediante la gráfica Resistencia a la Compresión vs CBR se puede evidenciar una casi perfecta correlación polinómica. Esto permitiría inferir el valor de soporte CBR simplemente determinando su resistencia a compresión.

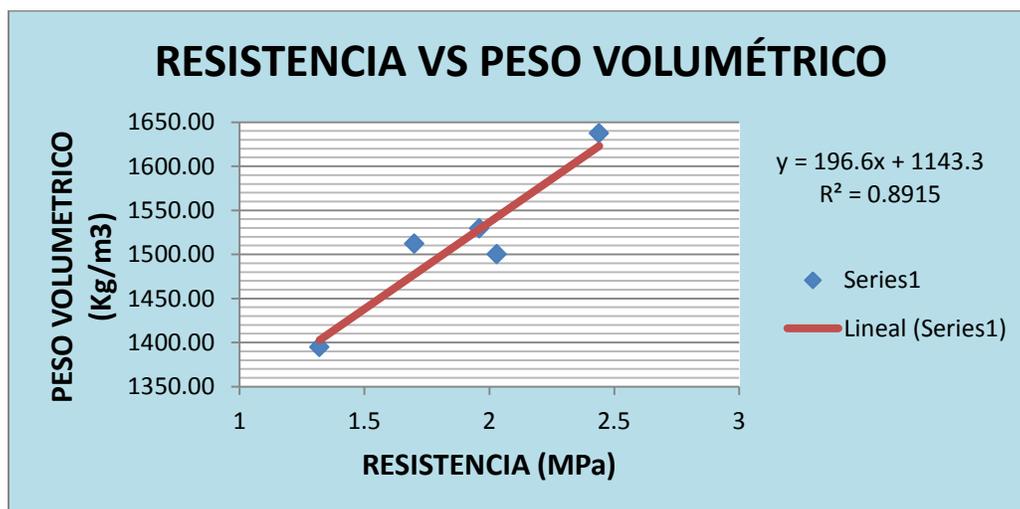
**Gráfico N°21. Gráfica entre la relación Resistencia a la Compresión vs CBR.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

Mediante la Gráfica N° 21 de Resistencia a la Compresión vs CBR, se puede determinar que la capacidad de soporte CBR aumenta proporcionalmente en función a la Resistencia a la Compresión, es decir mientras mayor sea la Resistencia a la Compresión del relleno de densidad controlada mayor será su Capacidad de Soporte CBR.

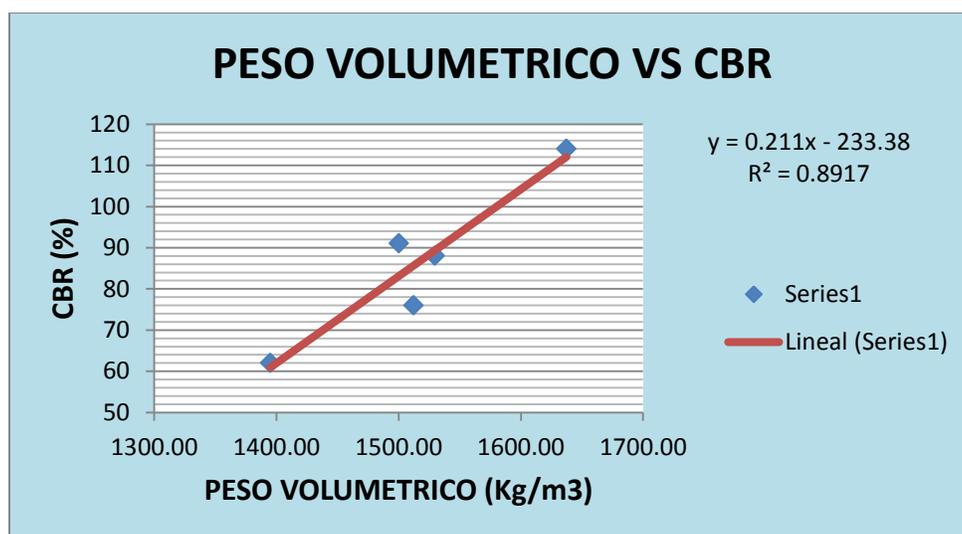
**Gráfico N°22. Gráfica entre la relación de la Resistencia vs Peso Volumétrico.**



Mediante la gráfica Resistencia a la Compresión vs Peso Volumétrico, se puede determinar que la Resistencia a la Compresión y el Peso Volumétrico del relleno de densidad controlada están ligados de alguna forma, si bien su porcentaje de correlación no es muy elevado para aseverarlo, pero presenta un regresión importante de casi el 90%.

Entonces se puede decir que mientras más alto sea el Peso Volumétrico de un relleno de densidad controlada existe un 90% de probabilidad de que la Resistencia a la Compresión sea mayor con respecto a otro de menor Peso Volumétrico que tengan las mismas proporciones de mezcla y dosificación.

**Gráfico N°23. Grafica entre la relación del Peso Volumétrico vs Capacidad de Soporte CBR.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

Mediante la gráfica Peso Volumétrico vs Capacidad de Soporte CBR se pretende determinar si existe una relación entre las dos variables, donde según los resultados de la regresión lineal se puede determinar que existe un alto porcentaje de correlación entre ambas variables de casi el 90%. Entonces es posible afirmar que existe mucha probabilidad de que la Capacidad de Soporte CBR de un relleno de densidad controlada sea más elevado si su Peso Volumétrico es mayor con respecto a otro relleno de densidad controlada de menor Peso Volumétrico.

Entonces según los cálculos y gráficas se infiere que las tres variables; Resistencia a la Compresión, Peso Volumétrico y CBR están íntimamente ligadas y que cuando mayor sea alguna de las tres variables las otras dos también serán mayores.

También se puede establecer que las tres variables cumplen con los requerimientos para comportarse de buena manera como sub base de pavimentos.

Si bien las todas las mezclas de rellenos de densidad controlada utilizadas en la investigación tienen las mismas proporciones de agregados y dosificaciones, se evidencia que existen diferencias en cuanto a Peso Volumétrico, Resistencia a Compresión y CBR para las diferentes combinaciones de agregados finos y cementos.

### **Ventajas y Desventajas del Uso del Aditivo Espumígeno en Rellenos de Densidad Controlada como Sub Base de Pavimentos.**

#### **VENTAJAS:**

- El aditivo espumígeno esponja el material, tiende a ocupar espacios vacíos, es decir adquiere una densidad igual al espacio que le permite.
- En el caso específico para reposición de material de capas sub base de pavimentos debajo de losas ya existentes, con la ayuda del aditivo espumígeno se puede asegurar el adecuado relleno y reposición de material y con el uso del aditivo espumígeno es la única forma de garantizar tal fin.
- No necesita compactación adicional, ya que es autocompactante.
- No necesita buscar una forma de colocado para que exista homogeneidad porque ya de por si el aditivo espumígeno con el relleno fluido se vuelve homogéneo.
- Con la incorporación del aditivo se obtienen mezclas más compactas.
- Con la incorporación del aditivo se refuerzan las propiedades termo acústicas de la mezcla endurecida.
- Se obtienen hormigones más resistentes a los ciclos de congelamiento y deshielo.
- El aditivo espumígeno ayuda a que el material presente poca o nula contracción.
- Los rellenos fluidos sin la incorporación de aditivo presentan mayor segregación.
- Los rellenos fluidos no presenta asentamientos.

**DESVENTAJAS:**

- Los rellenos de densidad controlada presentan un mayor costo respecto a un relleno común.
- El aditivo espumígeno es difícil de encontrar en nuestro medio, hay que hacer un pedido especial a países vecinos donde su uso es más común.

**Evaluación Comparativa de Precios Unitarios Sub Base Granular y Relleno de Densidad Controlada.***Tabla N° 55. Tabla Comparativa de Costos.*

Evaluación Comparativa de Costos Precios Unitarios. PRESUPUESTO GENERAL						
Fecha: 24/jun/2015						
Tipo de cambio: 6,96						
N°	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)	
1	Relleno de Densidad Controlada con aditivo espumígeno para sub base	m <sup>3</sup>	1,00	576,54	576,54	
2	Sub Base con material Granular	m <sup>3</sup>	1,00	162,62	162,62	

*Fuente: Elaboración Propia.*

- Realizando un análisis comparativo de costos se concluye que un m<sup>3</sup> de relleno de densidad controlada resulta más caro que un m<sup>3</sup> de material granular para capa sub base.
- Vale la pena aclarar que el uso del relleno de densidad controlada no es para conformación de capas sub base, es para rellenar espacios de material faltante en capas sub base.
- Para tomar una decisión adecuada del uso de rellenos de densidad controlada elaborados con aditivos espumígenos como rellenos de material en sub base de pavimentos, debe hacerse un análisis costo beneficio considerando las ventajas que presenta el relleno de densidad controlada elaborado con aditivo espumígeno y en base a este análisis tomar la mejor decisión.

### **Aplicación en Obra del Presente Trabajo de Investigación - Caso Particular.**

La aplicación del presente trabajo de investigación es para casos especiales donde no hay una forma común de colocar material de sub base debajo una losa hidráulica o pavimento, no es para formar capas de sub base normales ósea de conformación de sub base, son para rellenar espacios dejados por material de sub base ante la pérdida de finos o el asentamiento de materiales de capas inferiores, es de esta manera la aplicación del relleno de densidad controlada en cuestión de pavimento y en cuestión de drenaje para rellenos de la tubería como es difícil rellenar con material compactado se está haciendo común usar la utilización de rellenos de densidad controlada para facilitar el trabajo y ganar tiempo aunque tenga mayor costo.

Existen varios casos particulares para solucionar problemas de relleno de material faltante, mediante la utilización del relleno de densidad controlada en sub base de pavimentos, un caso muy particular donde se está proponiendo la aplicación del relleno de densidad controlada elaborado con aditivo espumígeno como material de relleno para capas sub base, como alternativa de solución debido al lavado de finos de capa sub base por el ingreso de agua en esta capa, es en el tramo San José – Tapera – Roboré de nuestro país donde se puede ver en las siguientes fotos la falla por asentamiento de la berma:

#### **FALLASEN LA JUNTA ENTRE LOSA DE HORMIGÓN Y BERMA DE SUELO CEMENTO**



Losa de hormigón vista, debido a la falla de la berma la cual presenta un desplazamiento de al menos 30 cm, por lo cual se tiene una zona muy vulnerable a que el agua pueda ingresar a la sub-base como lo viene haciendo en algunos tramos lavando finos y dejando material faltante en la sub base y también resulta vulnerable el cuerpo de terraplén.

### FALLAS EN LA JUNTA ENTRE LOSA DE HORMIGÓN Y BERMA DE SUELO CEMENTO



Grieta que tiene una separación variable de 5 a 10 cm, además que se tiene un hundimiento de las bermas.

La berma es de suelo cemento y cubierta con un tratamiento superficial doble, superficialmente se observa que tiene una grieta transversal la cual se repite cada 1.5 a 2.0 m a lo largo de dicho elemento

Este es uno de los varios casos particulares donde se podría aplicar relleno de densidad controlada en sub base de pavimentos como alternativa de solución, en este caso ante la pérdida de material de capa sub base por la presencia de agua y el lavado de finos, aplicando este del relleno de densidad controlada en reemplazo de material faltante de sub base de manera lateral es decir por debajo de capa de rodadura o losa hidráulica que no ha sufrido ningún tipo de rajadura o falla, sin la necesidad de levantar la losa hidráulica o capa de rodadura del pavimento rígido para la reposición de material de sub base luego tener que compactar, etc. Es decir aplicando un método no destructivo en el pavimento y al ser el relleno de densidad controlada un material autocompactante no necesita una compactación adicional.

Por otra parte el relleno de densidad controlada garantiza el buen comportamiento de la capa sub base ya que una vez endurecido este material, presenta un mejor comportamiento y mejores propiedades que las de un relleno tradicional hecho con materiales granulares.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 4.1. CONCLUSIONES.

- La aplicación del presente trabajo de investigación es para casos especiales donde no hay una forma común de colocar material de sub base debajo una losa hidráulica o pavimento, no es para formar capas de sub base normales o sea de conformación de sub base, son para rellenar espacios dejados por material de sub base ante la pérdida de finos o el asentamiento de materiales de capas inferiores, es de esta manera la aplicación del relleno de densidad controlada en cuestión de pavimento y en cuestión de drenaje para rellenos de la tubería. Como es difícil rellenar con material compactado se está haciendo común usar la utilización de rellenos de densidad controlada para facilitar el trabajo y ganar tiempo aunque tenga mayor costo.
- La granulometría de los tres agregados finos cumplen con los requisitos de la Norma ASTM C-33.
- Haciendo un análisis de resultados mediante gráficos y en cierta medida con la ayuda de la estadística, nos ha ayudado a establecer la variación de Resistencias a Compresión de los rellenos de densidad controlada (RDC 200 – 0.95) con contenido unitario de cemento de 200 (Kg/m<sup>3</sup>) y relación agua/cemento 0.95, utilizando las diferentes combinaciones de agregados finos y cementos. Podemos observar que la combinación que mejor se comporta es la de cemento El Puente con la arena natural obtenida de la zona de San Blas (Río Guadalquivir) que proyectada a los 28 días nos dio una resistencia de 24.84 Kg/cm<sup>2</sup> es decir 2.44 MPa. Y la Resistencia a la Compresión más desfavorable y no recomendada para ser utilizada como sub base de pavimentos es la combinación de cemento El Puente con arena natural procedente de la zona de Santa Ana (Río Santa Ana) obteniendo un valor de Resistencia a Compresión a los 28 días de 13.47 Kg/cm<sup>2</sup> es decir 1.32 MPa.
- La Resistencia a Compresión Promedio a los 28 días es de fue de 1.86 Mpa, lo que la hace apta para comportarse como sub base de pavimento.
- Se puede evidenciar gran diferencia en relación a los Pesos Volumétricos entre un relleno de densidad controlada que es un mortero de Cemento Portland, arena y aditivo

espumígeno incorporado y su valor de peso volumétrico promedio es de 1530 Kg/m<sup>3</sup>, respecto a un mortero tradicional de cemento portland y arena que es de 2100 kg/m<sup>3</sup>.

- Los valores de Capacidad de Soporte (CBR) están estrechamente ligados a la Resistencia a la Compresión por lo que se puede decir que pueden ser obtenidos en función a la ecuación encontrada en la gráfica Resistencia a la Compresión vs CBR,  $y = 13.076x^2 - 2.6992x + 42.749$  la cual tiene una excelente correlación  $R^2 = 0.9999$ .
- El Relleno de Densidad Controlado de la combinación de cemento El Puente y arena natural San Blas (Río Guadalquivir) obtiene el mayor Peso Volumétrico, al igual que Resistencia a Compresión y Capacidad de Soporte CBR, siendo el más aconsejable para usar como sub base de pavimentos.
- El Relleno de Densidad Controlado de la combinación de cemento El Puente y arena natural Santa Ana (Rio Santa Ana) obtiene el más bajo Peso Volumétrico, al igual que Resistencia a Compresión y Capacidad de Soporte CBR, siendo el menos aconsejable para usarlo como sub base de pavimentos.
- Entonces según los cálculos y graficas podemos decir que las tres variables; Resistencia a la Compresión, Peso Volumétrico y CBR están íntimamente ligadas y que cuando mayor sea alguna de las tres variables, las otras dos también serán mayores.
- Se puede concluir diciendo que los valores obtenidos en los diferentes ensayos de control de las mezclas de rellenos de densidad controlada indican que se éstas se comportan de buena manera como sub base de pavimentos, garantizando la estabilidad y el perfecto funcionamiento de las mismas.
- Cabe hacer notar que los ensayos de CBR fueron realizados sólo con fines ingenieriles ya que todas las especificaciones del mundo para materiales de capas sub base la prueba de resistencia especificada es el CBR, y a sabiendas que no se realizan ensayos de CBR en morteros y hormigones. Este ensayo se realizó también para demostrar la relación existente entre la resistencia a compresión con el CBR.
- Realizando un análisis comparativo de costos se concluye que un m<sup>3</sup> de relleno de densidad controlada resulta más caro que un m<sup>3</sup> de material granular para capa sub base.
- Para tomar una decisión adecuada del uso de rellenos de densidad controlada elaborados con aditivos espumígenos como rellenos de material en sub base de pavimentos, debe hacerse un análisis costo beneficio considerando las ventajas que presenta el relleno

de densidad controlada elaborado con aditivo espumígeno y en base a este análisis tomar la mejor decisión.

#### **4.2. RECOMENDACIONES.**

- Es de vital importancia tener mucho cuidado a la hora de dosificar los rellenos de densidad controlada, ya que cualquier error en el pesaje de las proporciones de la muestras pueden hacer variar de manera significativa nuestros requerimientos y desviar nuestros objetivos.
- Se recomienda lavar bien los agregados a la hora de realizar los ensayos de laboratorio, para que no exista alteración en el resultado final.
- Los equipos utilizados para los diferentes ensayos de control de las briquetas y probetas de rellenos de densidad controlada son de vital importancia ya que los mismos, deben ser precisos y exactos en los resultados que arrojan, pues le darán la confiabilidad y aceptación o rechazo al trabajo para el cual están siendo usados.
- Lastimosamente, el laboratorio de nuestra Carrera carece de estos equipos, esto a su vez se convierte en un inconveniente para los estudiantes que se sienten interesados en campos como la investigación de nuevas teorías dentro de la Ingeniería Civil, sería bueno que este tema se convierta en un foco de atención para las autoridades dentro de la carrera y de este modo caminar hacia una calidad académica cada vez mejor.
- En cuanto a la investigación encarada, consideramos que se dio un gran paso hacia lo que podría ser un emprendimiento novedoso en el campo de la investigación, lo que se recomienda es que se puedan encarar emprendimientos que puedan profundizar esta idea, en busca de nuevas interrogantes y respuestas.
- Se insta a los estudiantes de Ingeniería Civil, indagar en nuevos temas de investigación no quedándose estancos en rutinas disciplinarias que si bien son la base, no deben convertirse en el culmen de sus capacidades intelectuales e interrogativas.
- Este trabajo puede servir como soporte para referencias bibliográficas, siempre y cuando los métodos y teorías planteadas se sometan a comparaciones y verificaciones correspondientes, para una mayor seguridad del lector.