



# **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

## **TESIS PROFESIONAL**

**Caracterización de los agregados pétreos para  
concreto hidráulico del banco de San Lázaro Etlá,  
Oaxaca**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA:

**ANTONIO ARAGÓN LÓPEZ**

ASESOR:

**DR. ESTEBAN LÓPEZ VÁZQUEZ**

COMISIÓN REVISORA:

**ING. ANTONIA LÓPEZ SÁNCHEZ**

**M.C. SAMUEL RAMÍREZ ARELLANES**

**ING. JESÚS ELÍAS NARVÁEZ PASCUAL**



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

**Instituto Tecnológico de Oaxaca**  
**DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

"2019, año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

**OAXACA DE JUAREZ, OAX., 28-FEBRERO-2019**  
**DEPENDENCIA:** DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
**OFICIO:** DEP-TU-020-2019

**ASUNTO:** Autorización de impresión.

**C. ANTONIO ARAGÓN LÓPEZ**  
**PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
PRESENTE.

De acuerdo al Reglamento de la Dirección General de Educación Superior Tecnológica dependiente de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le (s) hizo respecto a su TRABAJO PROFESIONAL presentada (o) con el tema:

**CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO DEL BANCO DE SAN LÁZARO ETLA, OAXACA.**

Esta Coordinación de Apoyo a la Titulación, le (s) concede la autorización para que proceda (n) a la impresión del (a) mismo (a).

**Atentamente**

"TECNOLOGIA PROPIA E INDEPENDENCIA ECONOMICA"

  
M.C. JUANA ISABEL RAMÍREZ HERNÁNDEZ  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

C.p.- División de Estudios Profesionales.  
Departamento de Servicios Escolares.- Oficina de Titulación  
Minuta.

C.p.- Expediente.  
JJRH \*mjcg



INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE OAXACA  
DIV. DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
COORD. DE APOYO A LA TITULACIÓN



A.V. Ing. Víctor Bravo Ahuja # 125 esq. Clz. Tecnológico. C.P. 68030. Oaxaca, Oax.  
Tels (951) 5015016, Conmt. Ext. 217-218, e-mail: jefatura.division@itoaxaca.edu.mx  
[www.itoaxaca.edu.mx](http://www.itoaxaca.edu.mx)



Instituto Tecnológico de Oaxaca  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

"2019, año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Oaxaca de Juárez, Oax., 25 de enero de 2019

JEFATURA  
OFICIO No. DCT-0064/2019

ASUNTO: Se comunica DICTAMEN Sobre Revisión  
de trabajo Profesional.

**L.A. MAYTE JEANETT CARRASCO GARCÍA**  
**COORDINADORA DE APOYO A LA TITULACIÓN**

**Edificio**

Por este conducto, la COMISIÓN REVISORA del trabajo profesional con el tema:

"CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO DEL BANCO DE SAN LÁZARO ETLA, OAXACA."

Presentado por: C. Antonio Aragón López.  
Número de control: 09160033  
Pasante de la carrera de: Ingeniería Civil  
Opción de Titulación: I (TESIS PROFESIONAL)

Informa que después de haber efectuado la revisión correspondiente, se DICTAMINA lo siguiente:

**SE AUTORIZA IMPRESIÓN DE TRABAJO PROFESIONAL.**

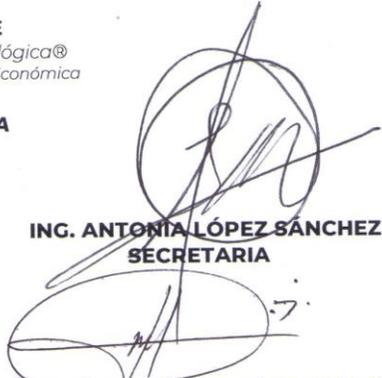
**ATENTAMENTE**

Excelencia en Educación Tecnológica®  
Tecnología Propia e Independencia Económica

**COMISIÓN REVISORA**

  
**DR. ESTEBAN LÓPEZ VAZQUEZ**  
**PRESIDENTE**

  
**M.C. SAMUEL RAMÍREZ ARELLANES**  
**VOCAL**

  
**ING. ANTONIA LÓPEZ SÁNCHEZ**  
**SECRETARIA**

  
**ING. JESÚS ELÍAS NARVÁEZ PASCUAL**  
**VOCAL SUPLENTE**

C.c.p. Expediente.  
LAMS/ka\*



Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja # 125 esq. Clz. Tecnológico. C.P. 68030. Oaxaca, Oax.,

Tels. (951) 5015016, Conmt. Ext. 272

[www.oaxaca.tecnm.mx](http://www.oaxaca.tecnm.mx)

# ÍNDICE

|   | Pág. |
|---|------|
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....                                     | 1    |
| 1.1. Introducción .....   | 1    |
| 1.2. Planteamiento del problema .....                             | 1    |
| 1.3. Justificación .....  | 1    |
| 1.4. Objetivo general.....  | 2    |
| 1.5. Objetivos específicos.....                                   | 2    |
| CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....                                    | 3    |
| 2.1. El concreto hidráulico.....                                  | 3    |
| 2.2. Componentes del concreto .....                               | 4    |
| 2.2.1. Cemento .....  | 5    |
| 2.2.2. Agua.....  | 6    |
| 2.2.3. Aire .....   | 7    |
| 2.2.4. Aditivos.....  | 7    |
| 2.2.5. Agregados pétreos .....                                    | 8    |
| 2.2.5.1. El agregado grueso .....                                 | 10   |
| 2.2.5.2. El agregado fino.....                                    | 11   |
| 2.2.5.3. Pruebas de los agregados.....                            | 11   |
| 2.2.5.3.1. Muestreo .....   | 11   |
| 2.2.5.3.2. Prueba de granulometría .....                          | 12   |
| 2.2.5.3.3. Peso volumétrico.....                                  | 16   |
| 2.2.5.3.4. Prueba para determinar la humedad y la absorción.....  | 18   |
| 2.2.5.3.5. Densidad.....  | 19   |
| 2.2.5.3.6. Prueba de los ángeles.....                             | 19   |
| 2.2.5.3.7. Relación Grava – Arena .....                           | 22   |
| 2.3. La importancia de los agregados en el diseño de mezclas..... | 22   |
| 2.3.1. Los agregados pétreos en el Método del ACI.....            | 24   |
| 2.4. Los agregados pétreos en el concreto fresco.....             | 25   |

|   |    |
|---|----|
| 2.4.1. La segregación.....                                    | 25 |
| 2.4.2. La exudación.....                                      | 26 |
| 2.4.3. La trabajabilidad o manejabilidad .....                | 27 |
| 2.4.4. Masa unitaria.....                                     | 27 |
| 2.4.5. Contenido de aire .....                                | 28 |
| 2.4.6. Proceso de fraguado .....                              | 28 |
| 2.4.7. Muestreo de concreto.....                              | 28 |
| 2.4.8. Revenimiento .....                                     | 29 |
| 2.5. Concreto endurecido.....                                 | 29 |
| 2.5.1. Resistencia.....                                       | 30 |
| 2.6. Normatividad.....  | 31 |
| CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS .....                    | 32 |
| 3.1. Muestreo.....  | 33 |
| 3.2 Granulometría .....                                       | 35 |
| 3.2.1. Granulometría del agregado grueso .....                | 35 |
| 3.2.1.1. Módulo de finura del agregado grueso.....            | 54 |
| 3.2.2. Granulometría del agregado fino .....                  | 59 |
| 3.2.2.1. Módulo de finura.....                                | 64 |
| 3.3 Peso volumétrico seco suelto.....                         | 66 |
| 3.3.1 Peso volumétrico seco suelto del agregado grueso.....   | 66 |
| 3.3.2 Peso volumétrico seco suelto del agregado fino .....    | 69 |
| 3.4 Peso volumétrico seco compacto .....                      | 72 |
| 3.4.1 Peso volumétrico seco compacto del agregado grueso..... | 72 |
| 3.4.2. Peso volumétrico seco compacto del agregado fino ..... | 76 |
| 3.5 Densidad relativa.....                                    | 81 |
| 3.5.1 Densidad relativa del agregado grueso.....              | 81 |
| 3.5.1 Densidad relativa del agregado fino .....               | 86 |
| 3.6 Absorción.....  | 92 |
| 3.6.1 Absorción del agregado grueso.....                      | 92 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.6.2 Absorción del agregado fino .....                           | 95  |
| 3.7 Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino..... | 98  |
| 3.8 Prueba de desgaste de los ángeles .....                       | 100 |
| 3.9 Relación grava – arena .....                                  | 105 |
| CONCLUSIONES .....  | 112 |
| BIBLIOGRAFÍA.....   | 114 |

# **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Introducción**

El conocimiento de la calidad de los materiales es imprescindible en el campo del diseño, construcción y supervisión de obras, por lo que es necesario realizar un control de la calidad de estos que permita conocer los componentes, propiedades y características, según lo requieran. Los agregados por ejemplo son un componente dinámico dentro de la mezcla, aunque la variación en sus características puede ocurrir también durante los procesos de explotación, manejo y transporte, y puesto que forman la mayor parte del volumen del material, se consideran componentes críticos en el concreto y tienen un efecto significativo en el comportamiento de las estructuras.

En esta investigación en particular se estudian las propiedades físicas y químicas de los agregados pétreos. La necesidad de contar con un concreto de calidad hace indispensable conocer a detalle sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos, especialmente de los agregados. Este procedimiento deberá ser realizado por personal técnico, dirigido por un especialista encargado del control de calidad de materiales, auxiliándose de un conjunto de normas y especificaciones que rijan los procedimientos de ensayo de laboratorio. Debido a ello, es necesario contar con las normas mexicanas ya que nos sirve como guía para el trabajo de laboratorio, realizado como parte del control de calidad de los materiales de construcción.

## **1.2. Planteamiento del problema**

En la ejecución de proyectos de obras civiles o de construcción, la materia prima utilizada es el concreto hidráulico el cual debe cumplir con unas especificaciones de construcción.

La calidad de un concreto es un factor determinante en la seguridad de una estructura, pero esta no se obtiene únicamente con un correcto diseño de mezcla para una obra, un eficiente mezclado y colocación, porque a un cumpliendo con estos requisitos, los resultados de laboratorio muestran variaciones considerables en la resistencia de un concreto hecho bajo un mismo diseño.

Por lo que considerando que la explotación de agregados se lleva a cabo con un mínimo y a veces ningún control de calidad que aseguren que el material obtenido cumple con los requisitos de las normas técnicas empleadas en nuestro país.

## **1.3. Justificación**

Con el fin de optimizar costos en las obras se hace un diseño de mezclas y se prepara el concreto en el sitio a utilizar, este diseño de mezclas debe cumplir con unas características o especificaciones. La importancia de obtener concreto estable, de durabilidad optima, con las proporciones adecuadas con ayuda de los agregados, es la razón principal del enfoque de esta investigación. El concreto, se produce a partir de un diseño de mezcla que consiste en la selección de los constituyentes disponibles, es decir; cemento, agregados y agua, y su dosificación

en cantidades relativas para producir una masa volumétrica con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiriera las propiedades de resistencia, durabilidad, estabilidad de volumen y apariencia adecuadas.

Por lo que al menos tres cuartas partes del volumen del concreto están ocupadas por agregados. En donde los agregados no solo pueden limitar la resistencia del concreto, puesto que agregados débiles no pueden sustituir un concreto resistente, sino que además sus propiedades afectan en gran medida tanto la durabilidad.

Por lo que los agregados son más baratos que el cemento y, por lo tanto, es más económico poner la mayor cantidad posible de agregados y la menor de cemento. La necesidad de contar con un concreto de calidad hace indispensable conocer a detalle sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos.

#### **1.4. Objetivo general**

Determinar las principales características físicas y químicas de los agregados pétreos para un concreto hidráulico, del banco de San Lázaro, Etlá, Oaxaca.

#### **1.5. Objetivos específicos**

Realizar las pruebas pertinentes para los agregados pétreos los cuales son:

- Análisis granulométrico grueso y fino
- Peso volumétrico
- Prueba para determinar la humedad y la absorción
- Densidad
- Prueba de los ángeles
- Relación Grava – Arena

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. El concreto hidráulico

El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados. El mejor proporcionamiento para una mezcla de concreto es la combinación más económica de los materiales disponibles, que produzcan un concreto con buena trabajabilidad para su colocación y acabado, resistencia a la abrasión, durabilidad y resistencia estructural requerida.<sup>1</sup>

El concreto hidráulico es una combinación de cemento Portland, agregados pétreos, agua y en ocasiones aditivos, para formar una mezcla moldeable que al fraguar forma un elemento rígido y resistente. Con respecto a la norma N-CMT-2-02-005/04, de acuerdo con su función, el concreto hidráulico se clasifica como<sup>2</sup>:

#### 1- *Concreto hidráulico clase 1*

Es el concreto cuya masa volumétrica, en estado fresco, está comprendida entre dos mil doscientos y dos mil cuatrocientos kilogramos por metro cúbico, determinada de acuerdo con lo indicado en el Manual M•MMP•2•02•053.

Al alcanzar su fraguado final, tendrá una resistencia a la compresión ( $f'c$ ) igual a 24.5 MPa (250 kg/cm<sup>2</sup>) o mayor.

#### 2- *Concreto hidráulico clase 2*

Es el concreto cuya masa volumétrica, en estado fresco, está comprendida entre mil ochocientos y dos mil doscientos kilogramos por metro cúbico, determinada de acuerdo con lo indicado en el Manual M•MMP•2•02•053.

Al llegar a su fraguado final, tendrá una resistencia a la compresión ( $f'c$ ) menor de 24.5 MPa (250 kg/cm<sup>2</sup>).

De acuerdo con su forma de elaboración, el concreto hidráulico se clasifica como<sup>3</sup>:

- *Concreto hidráulico hecho en obra*  
Se fabrica en la obra mediante un equipo mecánico ligero denominado revolvedora, dosificando generalmente sus componentes en volumen, o bien con equipos mayores como plantas dosificadoras, donde el proporcionamiento se hace por masa.
- *Concreto premezclado*  
Se dosifica o premezcla en una planta, por lo general no ubicada dentro de la obra, y posteriormente se le transporta en camiones mezcladores o de volteo al sitio requerido. La dosificación siempre se hace en masa. Si la planta sólo dosifica, ésta introduce los materiales a un equipo revolvedor

<sup>1</sup> IMCYC, 1994, Construcción de losas y pisos de concreto ACI-302, p. 27.

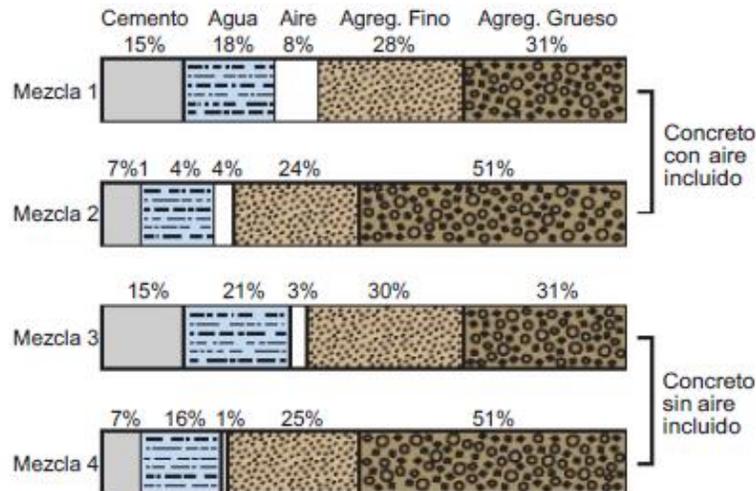
<sup>2</sup> SCT, N-CMT-2-02-005/04, CMT. Características de los materiales, Materiales para estructuras, Materiales para concreto hidráulico, Calidad del concreto hidráulico, pp. 1 y 2.

<sup>3</sup> SCT, N-CMT-2-02-005/04, CMT. Características de los materiales, Materiales para estructuras, Materiales para concreto hidráulico, Calidad del concreto hidráulico, p. 2.

mecánico automotor, con capacidad promedio de seis metros cúbicos, el cual, durante el trayecto de la planta a la obra, realiza el mezclado.

## 2.2. Componentes del concreto

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, los agregados, normalmente arena y grava, creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua (figura 1).<sup>4</sup>



**Figura 1. Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes.**

*Fuente: Kosmatka, 2004, Diseño y control de mezclas de concreto, p. 1.*

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los dos. En un concreto adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta. Los materiales se supervisan para verificar que se cumplan los requisitos de la especificación y que sean almacenados, manejados y utilizados apropiadamente en la obra. Antes de incorporar cualquier material o producto nuevo en el diseño de la mezcla de concreto es esencial conocer su compatibilidad con todos los demás componentes del concreto y saber si bajo las condiciones y el uso previsto se alcanzarán todas las características deseadas. Si se utilizan cemento, agua y agregados obtenidos de una fuente específica, el concreto mezclado y curado en ciertas condiciones, tendrá resistencia y muchas otras propiedades importantes que son inversamente proporcionales a la relación agua/cemento. Por lo tanto, es preciso el uso de la mínima cantidad de agua necesaria para producir el revenimiento y la trabajabilidad requeridas. El cemento y los agregados utilizados pueden afectar significativamente la resistencia producida con una cierta relación agua/cemento.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Kosmatka, 2004, Diseño y Control de mezclas de Concreto, p. 1.

<sup>5</sup> Kosmatka, 2004, Diseño y Control de mezclas de Concreto, p. 2.

### 2.2.1. Cemento

El cemento es un material aglutinante que presenta las propiedades de adherencia y cohesión, que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí. Este material tiene la propiedad de fraguar y endurecerse en presencia de agua, presentando un proceso químico que es el calor de hidratación. El cemento Portland hidráulico es la mezcla de materiales arcillosos y otros materiales que contienen sílice, alúmina y óxidos de hierro, procesados a altas temperaturas y mezclados con yeso.<sup>6</sup>

También contiene requisitos adicionales que permiten aplicar, a opción del comprador, condiciones de “baja calidad”, fraguado falso, resistencia a compresión a los 28 días, calor de hidratación y resistencia a los sulfatos.<sup>7</sup>

Según los materiales que los componen, los cementos Portland se clasifican como<sup>8</sup>:

- Tipo CPO (cemento Portland ordinario) el producido mediante la molienda del Clinker portland y sulfato de calcio. Cuando el proyecta no establezca el tipo de cemento Portland por usar en cada caso, se entenderá que se trata de cemento tipo CPO.
- Tipo CPP (cemento Portland puzolánico) el que resulta de la molienda conjunta del clinker Portland, puzolanas y sulfato de calcio.
- Tipo CPEG (cemento Portland con escoria granulada de alto horno) el producido mediante la molienda conjunta del clinker Portland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.
- Tipo CPC (cemento Portland compuesto) el que se obtiene de la molienda conjunta del clinker Portland, puzolanas, escoria de alto horno, caliza y sulfato de calcio. En este tipo de cemento se caliza puede ser el único componente adicional al clinker Portland con el sulfato de calcio.
- Tipo CPS (cemento Portland con humo de sílice) el que resulta de la molienda conjunta del clinker Portland, humo de sílice y sulfato de calcio.
- Tipo CEG (cemento con escoria granulada de alto horno) el producido mediante la molienda conjunta del clinker Portland, sulfato de calcio y mayoritariamente escoria granulada de alto horno.

El supervisor de campo verifica el recibo de los pedidos contra las notas de aceptación y examina el cemento por si hay cualquier signo de pérdida, contaminación o exposición a humedad durante el transporte. Las muestras para la prueba deberán tomarse en cantidades de por lo menos 4.5 kg cada una. Si el cemento viene en sacos, se debe tomar una pequeña cantidad de un saco de cada cien sacos o fracción de cien. La muestra de cemento se debe colocar en un recipiente metálico seco y limpio, y la tapa cerrarse herméticamente para eliminar

---

<sup>6</sup> Osorio, 2003, Manual de control de calidad del concreto en la obra, p. 10.

<sup>7</sup> IMCYC, 1994, Manual para supervisar obras de concreto (ACI 311-92), p. 25.

<sup>8</sup> SCT, N.CMT.2.02.001/02. pp. 2 y 3.

el aire y la humedad. Cuando el cemento se transporta, las muestras se pueden tomar por los siguientes métodos<sup>9</sup>:

- Usando un tubo rasurado de muestreo.
- Sacando por la compuerta de descarga una cantidad considerable de cemento, de la cual se forma una muestra compuesta.

### 2.2.2. Agua

Es un ingrediente fundamental en la elaboración de concreto debido a que desempeña diferentes funciones importantes en el concreto.<sup>10</sup>

El agua empleada en el mezclado del concreto deberá estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser nocivas para el concreto o el refuerzo.<sup>11</sup>

No deberá utilizarse agua no potable en el concreto, a menos que se cumpla la selección de las proporciones del concreto debe basarse en mezclas de concreto utilizando agua de la misma fuente.<sup>12</sup>

Puede usarse agua no potable si produce a los 7 y 28 días, una resistencia por lo menos al 90% de las resistencias obtenidas en mezclas similares, hechas con agua destilada y sometidas a prueba de acuerdo con los métodos estándar de prueba de resistencia a la compresión de mortero con cemento hidráulico. La norma ASTM C94 permite usar el agua de lavado que queda dentro de la mezcladora para la mezcla siguiente, siempre y cuando se pueda medir su cantidad con precisión.<sup>13</sup>

El agua se utiliza en el concreto en tres casos<sup>14</sup>:

- a) Como agua de mezclado.
- b) Como agua de curado.
- c) Como agua de lavado para herramienta y equipo.

La importancia de estudiar el agua en el cemento radica en que puede presentar impurezas, como azúcar, ácidos, materia vegetal y aceites que retardan la hidratación. El efecto de las impurezas del agua depende del tipo, fabricante y contenido del cemento. La norma oficial *NMX-C-122-ONNCCE-2004*<sup>15</sup> establece las cantidades de impurezas máximas que son tolerables en el agua de mezclado en la elaboración del concreto.<sup>16</sup>

---

<sup>9</sup> IMCYC, 1994, Manual para supervisar obras de concreto (ACI 311-92), p. 26.

<sup>10</sup> Osorio, 2003, Manual de control de calidad del concreto en la obra, pp. 14 y 15.

<sup>11</sup> IMCYC, 2004, Reglamento para las construcciones de concreto estructural (ACI 318-02), p. 8.

<sup>12</sup> IMCYC, 2004, Reglamento para las construcciones de concreto estructural (ACI 318-02), p. 8.

<sup>13</sup> IMCYC, 1994, Manual para supervisar obras de concreto (ACI 311-92), p. 34.

<sup>14</sup> IMCYC, (1992), Concreto para técnicos de la construcción, p. 12.

<sup>15</sup> ONNCCE, 2004, NMX-C-122-ONNCCE-2004, Industria de la construcción – Agua para concreto - Especificaciones.

<sup>16</sup> IMCYC, (1992), Concreto para técnicos de la construcción, p. 12.

### **2.2.3. Aire**

Uno de los componentes del concreto es el aire (en forma de burbujas), que hace que el concreto sea un material poroso. El contenido de aire promedio para un concreto de alta resistencia debe ser del 6% para una exposición severa y un 5% para una exposición moderada. La exposición moderada se refiere al servicio en un clima donde se espera un congelamiento, pero donde el concreto no estará expuesto continuamente a la humedad o al aire libre a largos períodos antes del congelamiento. Las condiciones de exposición severa incluyen contacto con sustancias químicas provocadas por el deshielo o por un contacto continuo con la humedad o por aire libre. El propósito de vibrar el concreto es movilizarlo, lo suficiente para que adquiera la plasticidad, que le permita eliminar las burbujas de aire y haga que las partículas de agregados se unan por gravitación y forme una masa homogénea. El aire incluido debe ser usado en todo concreto que este expuesto a congelación y deshielo y a productos químicos descongelantes y puede emplearse para mejorar la trabajabilidad en donde no se quiera, siempre y cuando que este sea implementado bajo una selecta supervisión por parte del personal que elabora la dosificación que se haya recomendado.<sup>17</sup>

### **2.2.4. Aditivos**

Los aditivos químicos son materiales que se añaden al concreto inmediatamente antes o durante el mezclado, con el propósito de modificar convenientemente su comportamiento en el estado fresco o de inducir mejoras en determinadas propiedades del concreto endurecido. Los principales aditivos químicos utilizados en la fabricación de concreto hidráulico son<sup>18</sup>:

- Aditivos reductores de agua  
Se utilizan para disminuir la cantidad de agua de la mezcla, incrementar la resistencia del concreto reduciendo la relación agua/cemento, sin alterar su consistencia original, o bien para aumentar la trabajabilidad sin disminuir la resistencia.
- Aditivos retardantes  
Se utilizan para retardar el fraguado del concreto aumentando así el tiempo de manejo antes de su colocación.
- Aditivos acelerantes  
Se utilizan para acelerar el fraguado del concreto permitiendo obtener mayor resistencia a corta edad.
- Aditivos reductores de agua y retardantes  
Producen efectos combinados de los aditivos reductores de agua y retardantes.
- Aditivos reductores de agua y acelerantes

---

<sup>17</sup> IMCYC, 1994, Manual para supervisar obras de concreto (ACI 311-92), p. 34.

<sup>18</sup> SCT, N.CMT.2.02.004/04, pp 1 y 2.

Producen efectos combinados de los aditivos reductores de agua y acelerantes.

- Aditivos reductores de agua de alto rango

Proporcionan una reducción de agua mayor de la que producen los aditivos reductores de agua.

- Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes

Proporcionan una reducción mayor de agua que los aditivos reductores de agua y se combinan con los efectos de los retardantes de fraguado.

- Aditivos superplastificantes

Proporcionan un incremento mínimo de nueve centímetros en el revenimiento, para producir un concreto fluido con revenimiento superior a diecinueve centímetros, sin pérdida de cohesión ni retardo en el tiempo de fraguado.

- Aditivos superfluidificantes y retardantes

Proporcionan un incremento mínimo de nueve centímetros en el revenimiento, para producir un concreto fluido con revenimiento superior a diecinueve centímetros, sin pérdida de cohesión y con retardo en el tiempo de fraguado.

- Aditivos inclusores de aire

Se agregan al concreto durante su elaboración, con el fin de incorporar aire en él, mejorando su trabajabilidad y disminuyendo la segregación y el sangrado.

### **2.2.5. Agregados pétreos**

Los agregados son partículas incorporadas al concreto que ocupan un espacio y que en combinación con el cemento y el agua proporcionan resistencia mecánica al concreto en estado endurecido. La calidad de los agregados está determinada por el origen, por su distribución granulométrica, densidad, forma y textura (figura 2); los agregados se clasifican en agregado grueso y agregado fino, fijado por valores en tamaño.<sup>19</sup>

Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto.<sup>20</sup>

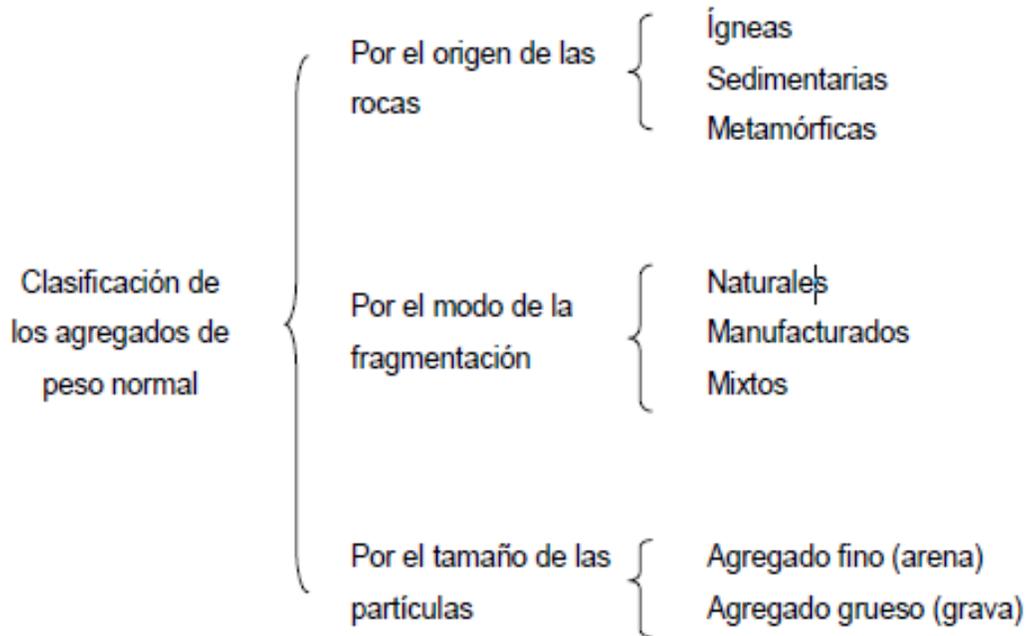
Los agregados fino y grueso deben ser de buena calidad, libres de contaminación y uniformes en granulometría y contenido de humedad.<sup>21</sup>

---

<sup>19</sup> Osorio, 2004, Manual de control de calidad del concreto en la obra, p. 13.

<sup>20</sup> Kosmatka, 2004, Diseño y Control de mezclas de Concreto, p. 103.

<sup>21</sup> IMCYC, 1994, Guía para la medición, mezclado, transporte y colocación del concreto, p. 3.



**Figura 2. Clasificación de los agregados de peso normal.**

*Fuente: CFE, 1997, Manual de tecnología del concreto, p. 74.*

Las propiedades de los agregados dependen en gran parte de la calidad de la roca madre de la cual procede. Sin embargo, es posible, conocer sus propiedades por medio de ensayos de laboratorio que son<sup>22</sup>:

*Propiedades químicas:*

- Epitaxia (reacción química, adherencia agregado – pasta).
- Reacción álcali-agregado.

*Propiedades físicas:*

- Análisis granulométrico.
- Densidad.
- Absorción.
- Forma.
- Textura.
- Masa unitaria.

*Propiedades mecánicas:*

- Dureza.
- Resistencia.
- Adherencia.

<sup>22</sup> Osorio, 2004, Manual de control de calidad del concreto en la obra, p. 14.

### 2.2.5.1. El agregado grueso

Es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica, si bien los efectos que la granulometría de la grava produce sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena. Para analizar la composición granulométrica de la grava en conjunto, se le criba por mallas cuyas aberturas se seleccionan de acuerdo con el intervalo dimensional dado por su tamaño máximo, buscando dividir este intervalo en suficientes fracciones que permitan juzgar su distribución de tamaños a fin de compararla con los límites granulométricos que le sean aplicables. La composición granulométrica de la grava es menos influyente que la de la arena en la manejabilidad de las mezclas de concreto, lo cual concede ciertas libertades para integrar la curva granulométrica de la grava total, incluso fuera de los límites granulométricos establecidos, cuando existen deficiencias de tamaños, difíciles de subsanar. En tales circunstancias, el juicio para establecer dicha curva suele apoyarse en pruebas que demuestren la obtención de mezclas de concreto manejables y cohesivas con grava de la granulometría propuestas y que una vez endurecido el concreto obtenga las propiedades requeridas a un costo conveniente.<sup>23</sup>

Sin embargo, después de establecer la granulometría adecuada de la grava total, se le debe conservar uniforme para que no sea fuente de cambios imprevistos en las características y propiedades del concreto durante su producción. Para ello, es necesario dividir la grava en fracciones cuya separación por cribado se realice constantemente de manera precisa, con objeto de que cada fracción se mantenga dentro de los límites granulométricos que le correspondan, particularmente en lo relativo al contenido de subtamaños y sobre tamaños, ya que las excesivas variaciones de éstos dificultan el control de la uniformidad al hacer la integración granulométrica de la grava total en el concreto, es decir, puede haber un criterio relativamente flexible en cuanto al procedimiento para establecer la curva granulométrica de la grava total, buscando apegarse a los agregados disponibles, pero una vez definida y aceptada dicha curva, se deben proveer en obra los medios necesarios para asegurar su uniformidad en el curso de la producción del concreto y esto solamente es factible mediante el uso de procedimientos y equipos de eficacia comprobada para separar con razonable precisión la grava en un número adecuado de fracciones, cuya dosificación en el concreto se lleve a cabo con la exactitud normalmente requerida en las especificaciones.<sup>24</sup>

Con respecto a la norma N-CMT-2-02-002 puede ser grava natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, escorias de altos hornos enfriadas en aire o una combinación de dichos materiales, con partículas de tamaño máximo generalmente comprendido entre diecinueve milímetros ( $\frac{3}{4}$ " ) y setenta y cinco milímetros (3"), pudiendo contener fragmentos de roca y arena, dentro de las proporciones establecidas en la norma.<sup>25</sup>

---

<sup>23</sup> CFE, 1997, Manual de tecnología del concreto, pp. 105 y 109.

<sup>24</sup> CFE, 1997, Manual de tecnología del concreto, pp. 109 y 110.

<sup>25</sup> SCT, N-CMT-2-02-002, Características de los materiales, Materiales para estructuras, Materiales para concreto hidráulico, Calidad de agregados pétreos para concreto hidráulico, p. 2.

### **2.2.5.2. El agregado fino**

Generalmente consiste en arena natural o piedra triturada, se debe controlar para reducir al mínimo las variaciones en la granulometría, manteniendo uniformes las fracciones más finas y teniendo cuidado de evitar la excesiva eliminación de los finos durante el proceso. Si la relación de agregado fino a grueso se ajusta a las recomendaciones ACI 211.1 para el proporcionamiento de mezclas, se puede utilizar una amplia gama de granulometría de agregados finos. Sin embargo, las variaciones en granulometría durante la producción del concreto deben ser reducidas al mínimo y cumplir con los requisitos de la norma ASTM C33<sup>26</sup>, de tal forma que el módulo de finura del agregado fino se mantenga dentro del valor de diseño 0.20. Como se establece en la Norma ASTM C33, si este material es polvo de piedra, esencialmente libre de arcilla, se permiten porcentajes mayores más finas que la malla No. 200. Sin embargo, si se tiene lo contrario, las cantidades permisibles se deben reducir significativamente. La prueba californiana de equivalentes de arena se usa a veces para determinar cuantitativamente el tipo, cantidad y actividad de este material fino. Las cantidades excesivas de materiales más finos que la malla No. 200, aumentan el requerimiento de agua de mezclado, la velocidad de pérdida de revenimiento, la contracción por secado y reducen la resistencia.<sup>27</sup>

Un requisito igualmente importante es que la arena tenga un porcentaje adecuado de finos para mayor facilidad de acabado y de trabajabilidad. El porcentaje requerido depende principalmente de la calidad y composición de la pasta. El concreto con contenido de cemento muy alto, las arenas con granulometría gruesa son satisfactorias puesto que el cemento ayuda a proporcionar los finos necesarios; pero en concretos de bajo contenido de cemento se requieren las partículas de agregado fino para obtener buenas mezclas trabajables. En concreto con aire incluido, las deficiencias en granulometría de la arena afectan menos la trabajabilidad del concreto que en el carece de aire de tal condición. El cemento y los agregados utilizados pueden afectar significativamente la resistencia producida con una cierta relación agua/cemento.<sup>28</sup>

### **2.2.5.3 Pruebas de los agregados**

#### **2.2.5.3.1. Muestreo**

Esta norma mexicana *NMX-C-030-ONNCCE-2004*<sup>29</sup> establece el muestreo de agregados que se utilizan para la investigación preliminar de fuentes potenciales de suministro; el control de los agregados en la fuente de abastecimiento; el control de las operaciones en el sitio de uso y la aceptación o rechazo de los agregados.<sup>30</sup>

Las muestras para la investigación preliminar deben ser obtenidas por el responsable de la explotación. Las muestras para el control de los agregados en la

---

<sup>26</sup> ASTM, ASTM C 33 – 03, Especificación estándar para agregados para concreto.

<sup>27</sup> IMCYC, 1994, Guía para la medición, mezclado, transporte y colocación del concreto, p. 5.

<sup>28</sup> IMCYC, 1994, Manual para supervisar obras de concreto (ACI 311-92), p. 52.

<sup>29</sup> ONNCCE, 2004, NMX-C-030-ONNCCE-2004, Industria de la construcción – Agregados – Muestreo.

<sup>30</sup> ONNCCE, NMX-C-030-ONNCCE-2004, Industria de la construcción – Agregados – Muestreo, p. 3.

fuentes de abastecimientos o el control de las operaciones en el sitio de uso deben ser obtenidas por el productor o por otros grupos responsables de llevar a cabo el trabajo. Cuando las muestras vayan a ser probadas a pérdida por abrasión, debe tomarse del producto terminado y solo se trituran en el caso de que el tamaño no es el adecuado para el uso de los agregados. El mínimo de muestras de campo obtenidas de la producción debe ser suficiente para que los resultados de las pruebas sean confiables.<sup>31</sup>

#### **2.2.5.3.2. Prueba de granulometría**

Esta norma oficial mexicana *NMX-C-077-1997-ONNCE* establece el método para el análisis granulométrico de agregados fino y agregados gruesos, con el fin de determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños por medio de cribas.<sup>32</sup>

La granulometría o gradación se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de estas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices standard, dispuestos de mayor a menor (figura 3). Así por ejemplo la serie de tamices que se usa para los agregados del concreto se ha escogido de tal forma que la abertura del tamiz esté en relación de 1 a 2 con la abertura del siguiente tamiz. Con el fin de evitar segregación la muestra de agregado fino se reducirá, preferiblemente, al tamaño deseado. El tamizado se hará mediante la combinación de un movimiento lateral y otro vertical de cada criba, acompañada de sacudidas de tal manera que la muestra se mantenga en movimiento continuo sobre la superficie del tamiz. Los fragmentos que queden sobre los tamices no deberán manejarse a mano, ni añadirse pedazos de metal a ellos.<sup>33</sup>

El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. La granulometría y los límites de granulometría se expresan usualmente como el porcentaje de material que pasa cada malla. Existen varias razones por las que se especifican los límites de la granulometría y el tamaño máximo de agregado. La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción, y durabilidad del concreto. Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente a la uniformidad del concreto de una revoltura a otra.<sup>34</sup>

La importancia de la granulometría se aprecia mejor por medio de un arreglo de partículas de agregado de un solo tamaño ahogadas en pasta de cemento.<sup>35</sup>

---

<sup>31</sup> ONNCE, NMX-C-030-ONNCE-2004, Agregados – Muestreo, p. 5.

<sup>32</sup> ONNCE, NMX-C-077-1997-ONNCE, Industria de la construcción – Agregados para concreto – Análisis granulométrico – Método de prueba, p. 2.

<sup>33</sup> IMCYC, 1994, Manual para supervisar obras de concreto (ACI 311-92), p. 29.

<sup>34</sup> CFE, 1997, Manual de tecnología del concreto, p. 32.

<sup>35</sup> IMCYC, 1994, Concreto para técnicos de la construcción, p. 17.

| Fracción        | Malla       |                  | Variación permisible de la abertura promedio con respecto a la denominación de la malla | Abertura máxima permisible para no más del 5% de las aberturas de la malla | Abertura máxima individual permisible | Diámetro nominal del alambre <sup>[1]</sup> |
|-----------------|-------------|------------------|---|--|---------------------------------------|---|
|                 | Designación | Abertura nominal |   |  |                                       |   |
| Grava           | 3"          | 75,0             | ± 2,2   | 78,1   | 78,7                                  | 5,80  |
|                 | 2"          | 50,0             | ± 1,5   | 52,1   | 52,6                                  | 5,05  |
|                 | 1½"         | 37,5             | ± 1,1   | 39,1   | 39,5                                  | 4,59  |
|                 | 1"          | 25,0             | ± 0,8   | 26,1   | 26,4                                  | 3,80  |
|                 | ¾"          | 19,0             | ± 0,6   | 19,9   | 20,1                                  | 3,30  |
|                 | ½"          | 12,5             | ± 0,39  | 13,10  | 13,31                                 | 2,67  |
|                 | ⅜"          | 9,5              | ± 0,30  | 9,97   | 10,16                                 | 2,27  |
|                 | ¼"          | 6,3              | ± 0,20  | 6,64   | 6,78                                  | 1,82  |
| Arena con finos | Nº4         | 4,75             | ± 0,15  | 5,02   | 5,14                                  | 1,54  |
|                 | Nº10        | 2,0              | ± 0,070   | 2,135  | 2,215                                 | 0,900                                       |
|                 | Nº20        | 0,850            | ± 0,035   | 0,925  | 0,970                                 | 0,510                                       |
|                 | Nº40        | 0,425            | ± 0,019   | 0,471  | 0,502                                 | 0,290                                       |
|                 | Nº60        | 0,250            | ± 0,012   | 0,283  | 0,306                                 | 0,180                                       |
|                 | Nº100       | 0,150            | ± 0,008   | 0,174  | 0,192                                 | 0,110                                       |
|                 | Nº200       | 0,075            | ± 0,005   | 0,091  | 0,103                                 | 0,053                                       |

**Figura 3. Juego de mallas.**

*Fuente: SCT, 2006, métodos de muestreo y prueba de materiales, p. 2.*

Para una mejor visualización de la distribución del agregado, los resultados de un análisis granulométrico se grafican mediante una curva granulométrica, en la cual aparece sobre las ordenadas, en escala aritmética, el porcentaje que pasa a través de los tamices y sobre las abscisas, en escala logarítmica o en escala aritmética, la abertura de los tamices. Una curva tendida indica un material bien gradado o con todos los tamaños y corresponde a una gradación densa o cerrada, es decir, los espacios entre partículas son mínimos, no existe ni exceso ni defecto de un tamaño determinado. En cambio, una curva casi vertical indica un material mal gradado, en el que predominan solo unos pocos tamaños y corresponde a una gradación abierta donde aumentan los espacios vacíos.<sup>36</sup>

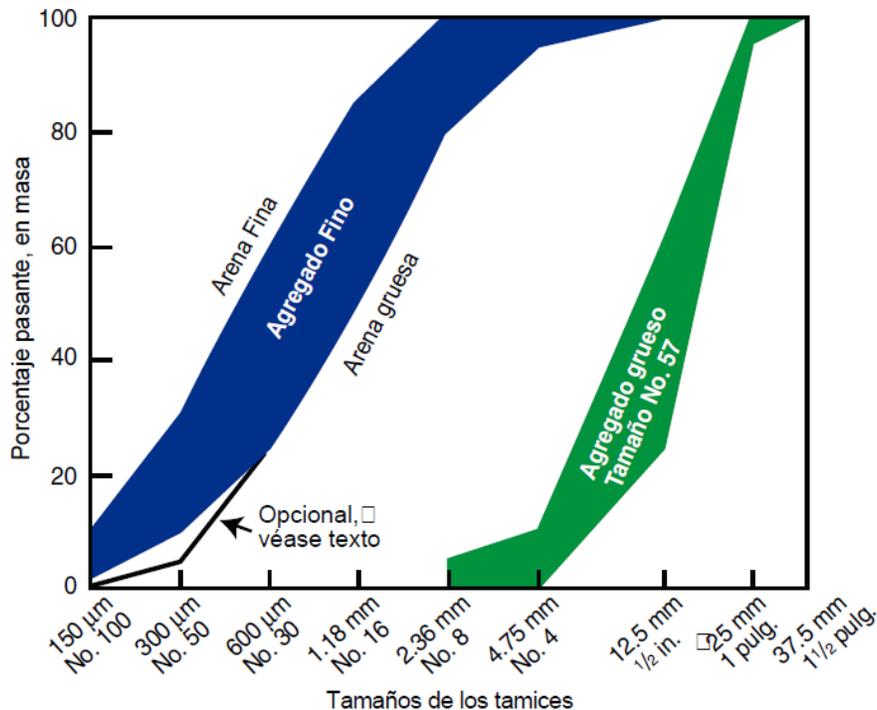
La granulometría del agregado consiste en obtener la masa retenida en cada tamiz, siguiendo el procedimiento de la norma ASTM C 136 - 01<sup>37</sup> o de la norma *MX-C- 111-ONNCCE-2004*<sup>38</sup>. El retenido se expresa como un porcentaje del total de la masa. De éste se tiene el por ciento acumulado por tamaño, se acostumbra a presentar en forma gráfica la granulometría para apreciar fácilmente su carácter fino o grueso (figura 4). Un agregado que no satisface la granulometría establecida en estas normas no se puede rechazar, solamente indica que se necesita mayor cantidad de pasta y que posiblemente el concreto podrá segregarse.<sup>39</sup>

<sup>36</sup> Gutiérrez, 1994, El concreto y otros materiales de construcción, p. 18.

<sup>37</sup> ASTM, ASTM C 136 – 01, Método de ensayo normalizado para determinar el análisis granulométrico de los áridos finos y gruesos.

<sup>38</sup> ONNCCE, MX-C- 111-ONNCCE-2004, Industria de la construcción – Agregados para concreto hidráulico – Especificaciones y métodos de prueba.

<sup>39</sup> IMCYC, (1992), Concreto para técnicos de la construcción, p. 17.



**Figura 4. Las curvas indican los límites especificados en la AASHTO M6, IRAM 1512, Nch 163, NMX-C-111, NTC 174 para el agregado fino y para un tamaño granulométrico de agregado grueso comúnmente utilizado.**

*Fuente: Kosmatka, 2004, Diseño y control de mezclas de concreto, p. 107.*

Es importante conocer y mantener la constante la granulometría para producir un concreto con varianza mínima. En algunas plantas de concreto se separa al agregado grueso en diferentes tamaños, para lograr este objetivo.<sup>40</sup>

#### 2.2.5.3.2.1. Granulometría de los agregados gruesos

De igual modo que en el caso de la arena, es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrico, si bien los efectos que la granulometría de la grava produce sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena. Para analizar la composición granulométrica de la grava en conjunto, se le criba por mallas cuyas aberturas se seleccionan de acuerdo con el intervalo dimensional dado por su tamaño máximo, buscando dividir este intervalo en suficientes fracciones que permitan juzgar su distribución de tamaños a fin de compararlas con los límites granulométricos que le sean aplicables. Para la utilización de la grava en la elaboración del concreto, se acostumbra a subdividirla en fracciones que se manejan y dosifican individualmente en proporciones adecuadas para integrar la curva granulométrica requerida en la grava total. La composición granulométrica de la grava es menos influyente que la de la arena en la manejabilidad de las mezclas de concreto, lo cual concede ciertas libertades para integrar la curva granulométrica de la grava total, incluso fuera de los límites granulométricos establecidos. El juicio para establecer dicha curva suele apoyarse

<sup>40</sup> IMCYC, (1992), Concreto para técnicos de la construcción, p. 17.

en pruebas que demuestren la obtención de mezclas de concreto manejables y cohesivas con grava de la granulometría propuesta y que una vez endurecido, el concreto obtenga las propiedades requeridas a un costo conveniente.<sup>41</sup>

#### **2.2.5.3.2.2. Granulometría de los agregados finos**

La granulometría más conveniente para el agregado fino depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de amplio rango en la granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm y de 0.15mm, afectan la trabajabilidad, la textura superficial y el sangrado del concreto.<sup>42</sup>

#### **2.2.5.3.2.3. Módulo de finura**

El módulo de finura tanto del agregado fino como del grueso se calcula, de acuerdo con ATM C 125, COVENIN 255, IRAM 1627, NCh 165, NMX-C-111-ONNCCE-2004, NTC 385, NTE 0694:83, NTP 400.011 y UNIT-NM 2, sumándose los porcentajes acumulados de la masa retenida en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividiéndose esta suma por 100. La serie especificada de tamices para la determinación del MF es: No.100, No.50, No.30, No.16, No. 8, No. 4,  $\frac{3}{8}$  pulg.,  $\frac{3}{4}$  pulg.,  $1 \frac{1}{2}$  pulg., 3 pulg. y 6 pulg. La serie especificada de tamices para la determinación del MF en la norma NMX-C-111-ONNCCE-2004 no incluye el tamiz de malla 6 pulg.<sup>43</sup>

El MF es un índice de finura del agregado, en donde los agregados con granulometrías diferentes pueden tener el mismo MF (figura 5). La degradación del agregado fino debido al rozamiento y a la abrasión decrece el MF y aumenta la cantidad de materiales más finos que No.200.<sup>44</sup>

El módulo de finura es un número índice aproximadamente proporcional al tamaño promedio de las partículas de un agregado dado; es decir, que mientras más gruesos sea éste, mayor será su módulo de finura, el módulo es útil para indicar si un agregado es más fino o grueso que otro. Se utiliza con propósito de registro y especificación y en particular, como medio para controlar la granulometría y la uniformidad. Se usa, además, en un método de cálculo para la dosificación de agregados. Cada nueva prueba deberá promediarse con, por lo menos, dos análisis inmediatamente precedentes del mismo material, para obtener un análisis más representativo de su comportamiento general que sirva de base para hacer ajustes en la mezcla, o determinar si se cumple los requisitos de granulometría. El número de análisis de tamices que deban hacerse para la calificación de los agregados depende principalmente de la homogeneidad del suministro, y, en

---

<sup>41</sup> CFE, 1997, Manual de tecnología del concreto, pp. 105, 106 y 109.

<sup>42</sup> CFE, 1997, Manual de tecnología del concreto, p. 35.

<sup>43</sup> Kosmatka, 2004, Diseño y Control de mezclas de Concreto, p. 109.

<sup>44</sup> Kosmatka, 2004, Diseño y Control de mezclas de Concreto, p. 109.

parte, de la cantidad que va a usarse de las unidades de transporte. En general, en una obra de tamaño moderno, la prueba de granulometría se hace una o dos veces al día, y en cualquier otro momento en que parezca que han ocurrido cambios de granulometría.<sup>45</sup>

| Tamiz              | Porcentaje de la fracción retenida, en masa | Porcentaje acumulado que pasa, en masa | Porcentaje retenido acumulado, en masa |
|--------------------|---|--|--|
| 9.5 mm (3/8 pulg.) | 0   | 100                                    | 0                                      |
| 4.75 mm (No. 4)    | 2   | 98                                     | 2                                      |
| 2.36 mm (No. 8)    | 13  | 85                                     | 15                                     |
| 1.18 mm (No. 16)   | 20  | 65                                     | 35                                     |
| 600 µm (No. 30)    | 20  | 45                                     | 55                                     |
| 300 µm (No. 50)    | 24  | 21                                     | 79                                     |
| 150 µm (No. 100)   | 18  | 3                                      | 97                                     |
| Charola            | 3   | 0                                      | —                                      |
| Total              | 100   |  | 283                                    |

Módulo de finura  
= 283 ÷ 100 = 2.83

**Figura 5. Determinación del módulo de finura de agregados finos.**

*Fuente: Kosmatka, 2004, Diseño y control de mezclas de concreto, p. 109.*

### 2.2.5.3.3. Peso volumétrico

El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen al que se hace referencia es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado. El peso volumétrico aproximado de un agregado usado en un concreto de peso normal varía desde aproximadamente 1,200 kg/m<sup>3</sup> a 1,760 kg/m<sup>3</sup>. El contenido de vacíos entre partículas afecta la demanda de mortero en el diseño de la mezcla. Los contenidos de vacíos varían desde aproximadamente 30% a 45% para los agregados gruesos hasta 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta el contenido de vacíos; mayores tamaños de agregado bien graduado y una granulometría mejorada hacen disminuir el contenido de vacíos. Los métodos para determinar el peso volumétrico de los agregados y el contenido de vacíos se dan en la norma ASTM C 29.<sup>46</sup>

#### 2.2.5.3.3.1. Peso volumétrico seco suelto

El peso volumétrico es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kilogramos por metro cúbico. De otra manera, la cantidad de material en kilogramos que se puede lograr por metro

<sup>45</sup> IMCYC, 1994, Manual para supervisar obras de concreto (ACI 311-92), p. 29.

<sup>46</sup> IMCYC, 1994, Diseño y control de mezclas de concreto, p. 38.

cúbico, al vaciar el material a un recipiente de volumen conocido y sin darle acomodo a las partículas. El PVSS Se usa para la convención de peso a volumen, es decir, para conocer el consumo de agregado por m<sup>3</sup> de concreto o capas de terracerías. Se clasifican en dos pesos volumétricos secos sueltos y sus procedimientos son los siguientes<sup>47</sup>:

- *Peso volumétrico seco suelto de la grava:*

Se vierte la grava en la medida dejándola caer de manera uniforme hasta llenarla, luego se enrasa de manera que el material no sobresalga en los bordes de la medida, se pesa y se calcula el peso volumétrico suelto.

- *Peso volumétrico seco suelto de la arena:*

Para esto se vierte la arena en una medida dejándola caer en un desplazamiento continuo desde una altura de 5 cm del borde. Terminando de llenar se quita la extensión y se recorre en los bordes hasta obtener la forma plana.

#### **2.2.5.3.3.2. Peso volumétrico seco compacto**

Es para el conocimiento del volumen de materiales aplicados y que están sujetos a acomodamientos o asentamientos provocados por el tránsito o por la acción del tiempo. El valor del peso volumétrico, para ambos casos deberá obtenerse con agregados secos a la intemperie. Su procedimiento de compactación con varilla es la siguiente<sup>48</sup>:

- *Peso volumétrico compacto de la grava:*

A diferencia de la anterior, es que las medidas se llenan en tres capas golpeándose con la varilla 25 veces cada una. Al igual que para la arena, no debe penetrar la varilla de la capa que se trabaja, ni debe fracturar la grava.

Su procedimiento de compactación por impactos es la siguiente<sup>49</sup>:

Aplicable a los agregados que tengan un tamaño máximo nominal mayor de 40 mm y hasta 100 mm. El recipiente debe llenarse en tres capas aproximadamente iguales y cada una de estas capas se compacta, colocando el recipiente sobre una base firme, tal como un piso de concreto pulido, levantando y dejando caer alternativamente dos lados diametralmente opuestos del recipiente, a una altura de 50 mm sobre el piso, de tal manera que golpee sobre éste firmemente. Mediante este procedimiento, las partículas del agregado se acomodan por si mismas hasta alcanzar una condición compacta. Cada una de las capas se compacta, dejando caer el recipiente 50 veces, alternando los golpes de cada lado. La superficie del agregado se nivela después con los dedos, de tal manera que las aristas de las partículas mayores del agregado grueso

---

<sup>47</sup> IMCYC, 1994, Diseño y control de mezclas de concreto, p. 39.

<sup>48</sup> IMCYC, 1994, Diseño y control de mezclas de concreto, p. 39.

<sup>49</sup> ONNCCE, NMX-C-073-ONNCCE-2004, Industria de la construcción – Agregados – Masa volumétrica – Método de prueba, p. 6.

que sobresalgan del nivel de la parte superior del recipiente compensen las depresiones situadas por debajo de él. Se determina la masa total del recipiente con el material, se calcula la masa neta del agregado en Kg. contenida en el recipiente.

#### **2.2.5.3.4. Prueba para determinar la humedad y la absorción.**

Es preciso efectuar pruebas para determinar el contenido de humedad y de absorción de los agregados, en los casos siguientes<sup>50</sup>:

- 1- Para determinar la cantidad de agua aportada por los agregados a la mezcla de cemento, o absorbida de ella, si no es compensado, aumentará el revenimiento del concreto hasta en 4 centímetros y disminuirá su resistencia a la compresión hasta en 20 Kg/cm<sup>2</sup>.
- 2- Si la medida de los agregados se hace por peso (o volumen), para determinar los ajustes necesarios en uno u otro, según el caso, que aseguren cantidades uniformes de agregados equivalentes a los saturados y superiormente secos.

Por otra parte, donde en lo que respecta a la humedad, los agregados pueden estar en uno de los cuatro estados que se indican<sup>51</sup>:

- *Secados al horno*, esto es, completamente secos y absorbentes.
- *Secados al aire*, esto es, superficialmente, pero con alguna humedad - interior menos que la cantidad requerida para saturar las partículas (llamada "capacidad de absorción"); por consiguiente, algo absorbentes.
- *Saturados y superficialmente secos: condición ideal, en el cual el agregado no entrega agua a la pasta ni la absorbe de ella.*
- *Húmedos o mojados*: cuando hay exceso de humedad en la superficie de las partículas

Es necesario, tan solo, conocer el contenido total, de humedad y la capacidad de absorción de los agregados; por consiguiente:

$$\text{Humedad libre o superficial} = \text{humedad total} - \text{capacidad de absorción.}$$

Cuando la humedad total es menor que la capacidad de absorción, la humedad superficial resulta negativa, y el agregado absorberá parte de mezclado.<sup>52</sup>

La absorción es el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante 24 h. a temperatura ambiente; este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas. Se expresa como por ciento de la masa seca y es índice de la porosidad del material.<sup>53</sup>

También se define como el incremento en la masa de un cuerpo sólido poroso, como resultado de la penetración de un líquido dentro de sus poros permeables.

---

<sup>50</sup> IMCYC, 1994, Manual para supervisar obras de concreto (ACI 311-92), p. 30.

<sup>51</sup> IMCYC, 1994, Manual para supervisar obras de concreto (ACI 311-92), p. 30.

<sup>52</sup> IMCYC, 1994, Manual para supervisar obras de concreto (ACI 311-92), pp. 30 y 31.

<sup>53</sup> ONNCCE, NMX-C-165-ONCCE-2014, Industria de la construcción – Agregados - Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino, p. 8.

En el caso de los agregados, la absorción se determina después de un periodo de inmersión de 24 horas en agua, conforme a los métodos de prueba NMX-C-164-ONNCCE-2014<sup>54</sup> y NMX-C-165-ONNCCE-2014<sup>55</sup> (ASTM C 127 y C 128).<sup>56</sup>

#### **2.2.5.3.5. Densidad**

Esta propiedad depende directamente de la roca que dio origen al agregado. La densidad se define como la relación de peso a volumen de una masa determinada. Pero como las partículas del agregado están compuestas de minerales y espacios o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua según la permeabilidad interna, es necesario hacer diferenciación entre los distintos tipos de densidad. Es frecuente citar el término densidad al referirse a los agregados, pero aplicado más bien en sentido conceptual. Por definición, la densidad de un sólido es la masa de la unidad de volumen de su porción impermeable, a una temperatura especificada y la densidad aparente es el mismo concepto, pero utilizando el peso en el aire en vez de la masa. Ambas determinaciones suelen expresarse en gramos entre centímetros cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ) y no son rigurosamente aplicadas en las pruebas que normalmente se utilizan en la tecnología del concreto, salvo en el caso del cemento y otros materiales finamente divididos. En términos locales, el concepto corresponde al de un peso específico relativo, o simplemente peso específico, en condición saturada y superficialmente seca, el cual no tiene unidades puesto que es el cociente de dos magnitudes con unidades iguales (NOM C-164 y C-165).<sup>57</sup>

El peso específico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua. Se usa en ciertos cálculos para proporcionamiento de mezclas y control. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9.<sup>58</sup>

No hay una especificación sobre los límites de aceptación para esta característica, principalmente porque no tiene correlación con el grado de sanidad de los materiales que se analizan, además, depende de peso unitario del concreto que se va a producir, dividiéndose para ello en ligero, normal y pesado.<sup>59</sup>

#### **2.2.5.3.6. Prueba de los ángeles**

El objetivo de la prueba es determinar la resistencia al desgaste de materiales pétreos, mediante el impacto y abrasión que produce un número especificado de esferas de acero sobre una muestra de material con características granulométricas, contenidos en un tambor giratorio metálico. La prueba de

---

<sup>54</sup> ONNCCE, NMX-C-164-ONCCE-2014, Industria de la construcción – Agregados - Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado grueso.

<sup>55</sup> ONNCCE, NMX-C-165-ONCCE-2014, Industria de la construcción – Agregados - Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino.

<sup>56</sup> CFE, 1997, Manual de tecnología del concreto, p. 127.

<sup>57</sup> CFE, 1997, Manual de tecnología del concreto, pp. 123 y 124.

<sup>58</sup> IMCYC, 1994, Diseño y control de mezclas de concreto, p. 38.

<sup>59</sup> CEMEX, (1992), Guía del usuario de concreto profesional, sección 3, p. 4.

abrasión en la máquina de desgaste está limitada para materiales con masa volumétrica seca suelta mayor a  $1\ 100\text{kg}/\text{m}^3$ .<sup>60</sup>

La máquina de los ángeles (figura 6), está constituida por un cilindro de acero, hueco y cerrado en ambos extremos, con diámetro interior de  $710 \pm 5$  mm y largo de  $510 \pm 5$  mm, montado sobre dos soportes ubicados al centro de sus caras paralelas, que le permitan girar sobre su eje de simetría en posición horizontal con una velocidad angular de 30 revoluciones por minuto a 33 revoluciones por minuto. El cilindro debe tener una abertura que permita introducir la muestra de prueba y las esferas de acero, con una tapa de cierre hermético diseñada con la misma curvatura del cilindro para que la superficie interior del mismo sea continua y uniforme; además debe tener en su parte interior una placa de acero removible, que se proyecte radialmente  $89\text{ mm}$  ( $3\ \frac{1}{2}''$ )  $\pm 2$  mm en toda la longitud. El cilindro debe contar con un dispositivo para registrar el número de revoluciones que del cilindro.<sup>61</sup>

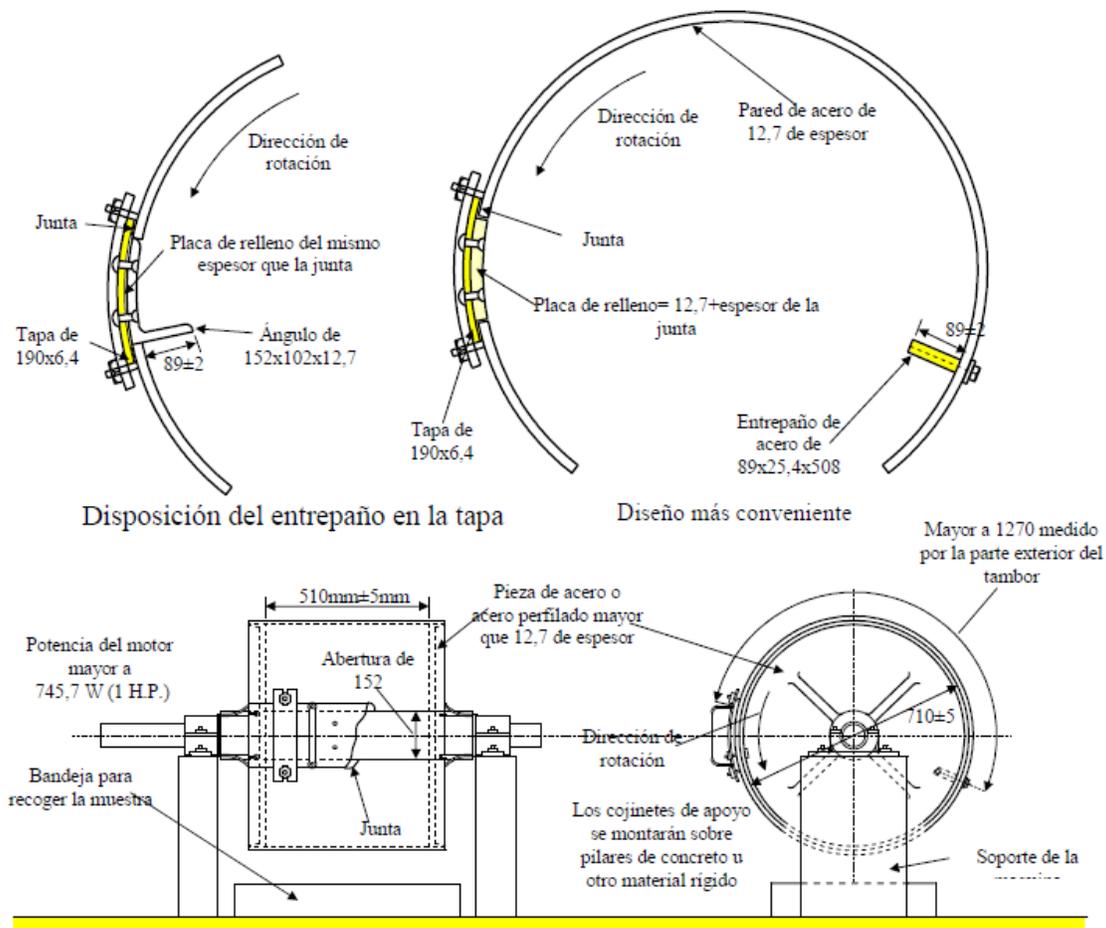
La prueba con la máquina de los ángeles es una medida de la abrasión de agregados minerales, con una granulometría normalizada, resultante de la combinación de la acción de molienda por impacto y abrasión que se produce en un tambor de acero giratorio que contiene un número especificado de esferas de acero; este número depende de la granulometría de la muestra. A medida que el tambor gira, un aspa interior acumula la muestra y las esferas de acero, las eleva y deja caer, dando lugar a un efecto de molienda por impacto, en el resto del giro el material rueda, creando el efecto de molienda por abrasión. Este proceso constituye un ciclo, que se repite cada revolución. Después del número prescrito de revoluciones, se saca el contenido y se criba para medir la degradación como pérdida porcentual.<sup>62</sup>

---

<sup>60</sup> ONNCCE, PROY-C-NMX-196-ONNCCE-2008, Industria de la construcción – Agregados - Resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregado grueso usando la máquina de los ángeles - Método de prueba, p. 3.

<sup>61</sup> ONNCCE, PROY-C-NMX-196-ONNCCE-2008, Industria de la construcción – Agregados - Resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregado grueso usando la máquina de los ángeles - Método de prueba, p. 3.

<sup>62</sup> ONNCCE, PROY-C-NMX-196-ONNCCE-2008, Industria de la construcción – Agregados - Resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregado grueso usando la máquina de los ángeles - Método de prueba, p. 7.



**Figura 6. Máquina de los Ángeles.**

**Fuente: ONNCE, PROY-C-NMX-196-ONNCE-2008, Industria de la construcción – Agregados - Resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregado grueso usando la máquina de los ángeles - Método de prueba, p. 4.**

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se debe observar que<sup>63</sup>:

- 1) La prueba se realice en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire que puedan provocar la contaminación de la muestra de prueba con otras partículas.
- 2) La muestra esté perfectamente seca al momento de efectuar el cribado.
- 3) Todo el equipo esté perfectamente limpio y funcional especialmente las mallas, las cuales deben estar limpias y sin indicios de falla, es decir, que los hilos presenten aberturas uniformes y no estén dañados ni rotos.
- 4) La máquina de los Ángeles esté perfectamente limpia y libre de residuos de material en su interior, que el contador de revoluciones trabaje correctamente y que la placa radial cumpla con las dimensiones indicadas.

<sup>63</sup> ONNCE, PROY-C-NMX-196-ONNCE-2008, Industria de la construcción – Agregados - Resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregado grueso usando la máquina de los ángeles - Método de prueba, pp. 7 y 8.

- 5) La balanza esté limpia en todas sus partes, bien calibrada y colocada en una superficie horizontal, sin vibraciones que alteren las lecturas.

#### **2.2.5.3.7. Relación Grava – Arena**

El concreto es científicamente diseñado para lograr la mezcla más adecuada de arena y grava para producir el concreto de la calidad deseada. El diseño está basado en pruebas físicas de laboratorio realizados en los agregados.<sup>64</sup>

Una granulometría correcta es muy importante para asegurar un empaquetado denso, además contribuye para la trabajabilidad y uniformidad del concreto y reduce la cantidad de pasta de cemento requerida para producir un concreto de calidad.<sup>65</sup>

La forma de los agregados es también muy importante. Las partículas en formas de lascas o agujas requieren más material fino (arena) que las partículas redondas o cúbicas para producir un concreto trabajable.<sup>66</sup>

Mientras que el cemento es el ingrediente más caro del concreto, los agregados representan normalmente del 66 al 78 por ciento del volumen. Este volumen y un relativamente bajo costo unitario de los agregados hacen del concreto un material de construcción competitivo y económico.<sup>67</sup>

En general, se utilizan dos tamaños de agregados en la producción de concreto, estos son agregado fino o arena y agregado grueso o grava.<sup>68</sup>

El agregado fino puede ser arena natural, triturada o una combinación, la graduación de la arena va desde 1/4" de diámetro máximo hasta casi polvo y el agregado grueso consiste en material triturado o grava natural de una granulometría adecuada al tamaño máximo y de acuerdo con las especificaciones de la NOM C-111.<sup>69</sup>

### **2.3. La importancia de los agregados en el diseño de mezclas**

El conocimiento de las propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido tiene como finalidad primordial la de determinar el diseño de la mezcla. Para el proporcionamiento de los ingredientes de una mezcla de concreto se han sugerido muchos métodos dentro de los cuales se cuentan los analíticos, experimentos, semi analíticos y empíricos. Estos métodos han evolucionado desde los volumétricos arbitrarios de comienzos del presente siglo, al método de peso y volumen absoluto actual.<sup>70</sup>

El objetivo que se persigue en el diseño de mezclas de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de materiales disponibles para producir un concreto que satisfaga sus requerimientos bajo condiciones particulares de uso. Una mezcla se debe diseñar tanto para estado fresco como para estado

---

<sup>64</sup> Apasco, (1992), Manual de Apasco, T-1-4.

<sup>65</sup> Apasco, (1992), Manual de Apasco, T-1-4.

<sup>66</sup> Apasco, (1992), Manual de Apasco, T-1-4.

<sup>67</sup> Apasco, (1992), Manual de Apasco, T-1-3.

<sup>68</sup> Apasco, (1992), Manual de Apasco, T-1-3.

<sup>69</sup> Apasco, (1992), Manual de Apasco, T-1-4.

<sup>70</sup> IMCYC, 1998, Tecnología y propiedades, p. 187.

endurecido. Las principales exigencias que se deben cumplir para lograr una dosificación apropiada en estado fresco son las de manejabilidad y economía, y para el concreto endurecido son las de resistencia, durabilidad, acabado y en algunas ocasiones el peso volumétrico. Las propiedades del concreto fresco se rigen por el tipo de estructura a fundir y por las técnicas de colocación y transporte. Con estos dos grupos de requisitos y teniendo en cuenta además el grado de control que se ejerce sobre la obra, se puede determinar las proporciones de la mezcla. El costo de la elaboración de una mezcla de concreto está constituido básicamente por el costo de los materiales, equipo y mano de obra, la variación en el costo de los materiales se debe a que el precio del cemento, por kilo, es varias veces mayor que el de los agregados y de allí, que el proporcionamiento debe minimizar la cantidad de cemento sin sacrificar la resistencia y demás propiedades del concreto. La diferencia en costo entre los agregados generalmente es secundaria; sin embargo, en algunas localidades o con algún tipo de agregado especial pueden ser suficiente para que influya en la selección y dosificación. El costo del agua usualmente no tiene ninguna influencia, mientras que el de los aditivos puede ser importante por su efecto potencial en la dosificación del cemento y los agregados. El costo de la mano de obra depende de la trabajabilidad de la mezcla y de los métodos de colocación y compactación. Una mezcla poco trabajable con un equipo de compactación deficiente aumenta los costos de mano de obra y aún, con un equipo de colocación eficiente el costo de colocación de mezcla muy secas es alto.<sup>71</sup>

El proporcionamiento de mezclas de concreto, más comúnmente llamado diseño de mezclas es un proceso que consiste en pasos dependientes entre sí<sup>72</sup>:

- a) Selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos).
- b) Determinación de sus cantidades relativas “proporcionamiento” para producir un, tan económico como sea posible, un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada.

Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales. También cabe señalar que las consideraciones básicas y esenciales para el diseño de mezcla son muy importantes las cuales son<sup>73</sup>:

- 1- Economía.
- 2- Trabajabilidad.
- 3- Resistencia y durabilidad.

---

<sup>71</sup> IMCYC, 1998, Tecnología y propiedades, p. 187 y 188.

<sup>72</sup> Huanca, 2006, Diseños de mezclas de concreto, p. 2.

<sup>73</sup> Huanca, 2006, Diseños de Mezclas de Concreto, pp. 2 y 3.

Se debe recordar que incluso la mezcla perfecta no producirá un concreto apropiado si no se lleva a cabo procedimientos apropiados de colocación, acabado y curado, la cual la Información requerida para el diseño de mezclas es<sup>74</sup>:

- Análisis granulométrico de los agregados.
- Peso unitario compactado de los agregados (finos y gruesos).
- Pesos específico de los agregados (fino y grueso).
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados.
- Perfil y textura de los agregados.
- Tipo y marca del cemento.
- Peso específico del cemento.
- Relaciones entre resistencia y relación agua/cemento, para combinaciones posibles de cemento y agregados.

### **2.3.1. Los agregados pétreos en el Método del ACI**

El método del ACI, se basa principalmente en el hecho de que, para un tamaño máximo dado de agregado, el contenido de agua en kg por m<sup>3</sup> determina la trabajabilidad de la mezcla, independientemente de las proporciones de la mezcla. Al igual que la mayoría de los métodos, éste también hace uso de tablas para realizar el diseño, dichas tablas están basadas en estudios experimentales, que si bien es cierto tienen la suficiente validez, en muchas ocasiones los resultados esperados teóricamente pueden diferir con los resultados obtenidos experimentalmente, esto debido principalmente a las diferencias en los contextos, es decir, los agregados probados experimentalmente por el ACI pueden ser distintos a los del contexto local, por tanto siempre será recomendable hacer pruebas locales y a partir de éstas realizar el diseño de mezclas. Las tablas recomendadas por el ACI son las siguientes<sup>75</sup>:

1. Tabla de revenimiento recomendado para diversos tipos de construcción.
2. Tabla de requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado.
3. Tabla que muestra la correspondencia entre la relación a/c y la resistencia a la compresión del concreto.
4. Tabla de relaciones a/c o agua/materiales cementantes máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas.
5. Tabla de volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

“Los métodos del American Concrete Institute (ACI) y el británico, usan en términos generales factores empíricos para el diseño de mezclas, en los cuales se determinan primero el agua de la mezcla de acuerdo con el revenimiento y el tamaño máximo del agregado y después la cantidad de la grava, para el caso del ACI o de la arena, para el método británico, el último de los componentes se calcula por diferencia. Las mezclas diseñadas por el ACI tienden a ser más

---

<sup>74</sup> Huanca, 2006, Diseños de Mezclas de Concreto, p. 4.

<sup>75</sup> IMCYC, (1994), Proporcionamiento de mezclas: concreto normal, pesado y masivo ACI 211.1, pp. 21 y 28.

trabajables, esto se debe a que la proporción de grava compactada se determina en función del tamaño máximo del agregado y del módulo de finura de la arena y no se hace distinción entre agregados naturales o triturados”.<sup>76</sup>

## **2.4. Los agregados pétreos en el concreto fresco**

Se denomina, como el material mientras permanece en estado fluido, es decir desde el momento cuando todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el atiesa miento de la masa. Las características en estado fresco del concreto deben ser tales que se permita llenar adecuadamente las formaletas y los espacios alrededor del acero de refuerzo, así como también obtener una masa homogénea sin grandes burbujas de aire o agua atrapada. Es claro que las propiedades del concreto en obra no pueden ser obtenidas directamente del concreto en estado fresco, puesto que las características de los elementos estructurales de concreto se ven afectadas por las prácticas constructivas en la obra. Sin embargo, el control de calidad en estado fresco es la única herramienta para tomar decisiones rápidas, durante la colocación de concreto. Algunas propiedades del concreto en estado fresco pueden ser determinadas mediante una inspección visual y mediante ensayos de obra así<sup>77</sup>:

### *Inspección visual*

- a. Segregación.
- b. Exudación.

### *Ensayos de obra*

- c. Trabajabilidad, Manejabilidad.
- d. Masa unitaria.
- e. Contenido de aire.
- f. Tiempo de fraguado.

### **2.4.1. La segregación**

Se define como la separación de los componentes de una mezcla heterogénea, de modo que su distribución ya no es uniforme. En el caso del concreto, la causa principal de segregación es la diferencia en el tamaño de las partículas. Estas diferencias pueden controlarse con una gradación adecuada y con un manejo cuidadoso. Las formas en que se presenta la segregación son de suma importancia ya que es una propiedad importante del concreto endurecido las cuales son<sup>78</sup>:

- 1- Las partículas más gruesas tienden a separarse, ya que, en comparación con las partículas finas, se desplazan más en una pendiente o se asientan.
- 2- Se da principalmente en mezclas más húmedas, es la separación de la lechada (cemento más agua).

Con algunas gradaciones, cuando se emplea una mezcla pobre se da la primera forma de separación si la mezcla está demasiado seca. La adición de agua

---

<sup>76</sup> Cano, 1994, Construcción y tecnología, pp. 22 y 25.

<sup>77</sup> Osorio, 2003, Manual de control de calidad del concreto en la obra, pp. 19 y 20.

<sup>78</sup> Neville, 1998, Tecnología del concreto, p. 67.

mejora la cohesión, pero si queda demasiado húmeda ocurre la segunda forma de separación. Para disminuir los riesgos de segregación<sup>79</sup>:

- a) Dosificar en forma adecuada los materiales.
- b) Hacer una inspección visual del aspecto de la mezcla.
- c) Reducir las distancias de acarreo del concreto dentro de las obras.
- d) No arrojar el concreto desde alturas mayores a 2 m.
- e) No transportar el concreto por conductos con cambios bruscos de dirección.
- f) No descargar el concreto contra un obstáculo.
- g) No dejar huir, el concreto o lo largo de la formaleta.
- h) No esparcir un montón de concreto con el vibrador.
- i) No exceder el tiempo de vibración del concreto.
- j) No utilizar agregado grueso cuya densidad difiera apreciablemente del fino.

La segregación es difícil de medir cuantitativamente, pero se detecta con facilidad cuando el concreto se maneja en la obra donde será colocado, en alguna de las formas que se mencionaron como indeseables.<sup>80</sup>

La gradación y forma de las partículas de los agregados influyen en buena proporción para obtener concreto fresco trabajable.<sup>81</sup>

#### **2.4.2. La exudación**

Es conocida también como ganancia de agua, es una forma de segregación en la que parte del agua de la mezcla tiende a subir a la superficie del concreto recién colocado. Se origina con la incapacidad de los componentes sólidos para retener toda el agua cuando se asientan. Puede expresarse cuantitativamente como el asentamiento total (reducción de altura) por unidad de altura del concreto. La exudación del concreto termina cuando la pasta ha endurecido lo suficiente. A consecuencia de la exudación, la parte superior de cada capa de concreto colocada puede quedar demasiado húmeda y si el agua queda atrapada por el concreto superpuesto, da por resultado una capa porosa débil y no duradera de concreto. Si el agua exudada se vuelve a mezclar durante el acabado de la superficie superior, resultará una superficie de desgaste débil. Esto puede evitarse retrasando las operaciones de acabado hasta que el agua exuda se haya evaporado; también se evita con el uso de flotadores de madera y evitando sobre trabajar la superficie. La exudación no es necesariamente dañina. Si no es interrumpida, la relación efectiva de agua/cemento puede reducirse, con el siguiente incremento en la resistencia. Por otra parte, si el agua que sube lleva consigo gran cantidad de las partículas más finas de cemento, se formará una capa de nata. Si ésta queda en la parte superior de un bloque, se formará una superficie porosa y con un aspecto “polvoso” permanente. Una mayor temperatura, dentro del rango normal, incrementa la tasa de exudación, aunque la capacidad de exudación total probablemente no resulte afectada. Las mezclas ricas son menos propensas a la exudación que las pobres.<sup>82</sup>

---

<sup>79</sup> Neville, 1998, Tecnología del concreto, p. 67.

<sup>80</sup> Neville, 1998, Tecnología del concreto, p. 68.

<sup>81</sup> IMCYC, 1998, Tecnología y propiedades, p. 108.

<sup>82</sup> Neville, 1998, Tecnología del concreto, p. 68.

### 2.4.3. La trabajabilidad o manejabilidad

Es la cantidad de trabajo interno útil necesaria para producir la compactación total. El trabajo interno útil es una propiedad física del concreto y es el trabajo o energía requerido para vencer a la fricción interna entre las partículas en el concreto.<sup>83</sup>

Es aquella que determina cual es el trabajo utilizado en vencer la fricción entre los componentes del concreto, y entre este y el encofrado o refuerzo, para lograr una compactación adecuada. En otras palabras, es la capacidad que él tiene para ser colocado y compactado apropiadamente sin que se produzca segregación alguna. La trabajabilidad está representada por<sup>84</sup>:

- a) La Compacidad; es la facilidad con la que es compactado o consolidado para reducir el volumen de vacíos y por lo tanto el aire atrapado.
- b) La Cohesividad; es la aptitud que tiene para mantenerse como una masa estable y sin segregación.
- c) La Plasticidad; es la condición que le permite deformarse continuamente sin romperse.
- d) La Consistencia o movilidad; es la habilidad para fluir es decir la capacidad de adquirir la forma de los encofrados que lo contienen, y de llenar espacios vacíos alrededor de los elementos que absorbe.

Es evidente que la manejabilidad es afectada por una serie de factores interactuantes<sup>85</sup>:

- 1- Contenido de agua.
- 2- Tipo y gradación del agregado.
- 3- Relación agregado/cemento.
- 4- Aditivos para mezcla.
- 5- Finura del cemento.
- 6- Tiempo.
- 7- Temperatura.

La trabajabilidad se selecciona según el tamaño y características de la sección o construir, las condiciones de colocación de la mezcla y el sistema de compactación utilizado.<sup>86</sup>

El elemento principal es el contenido de agua de la mezcla, ya que basta añadir agua para que se incremente la lubricación entre las partículas. Sin embargo, a fin de lograr condiciones óptimas para que haya un mínimo de espacios o una máxima densidad sin segregaciones, se debe tener en cuenta la influencia del tipo de agregado y de la gradación.<sup>87</sup>

### 2.4.4. Masa unitaria

Se mide mediante el ensayo de rendimiento volumétrico, que consiste en determinar la masa requerida para llenar un molde de volumen conocido. Dicho

---

<sup>83</sup> Neville, 1998, Tecnología del concreto, p. 65.

<sup>84</sup> Osorio, 2003, Manual de control de calidad del control en la obra, p. 22.

<sup>85</sup> Neville, 1998, Tecnología del concreto, p. 66.

<sup>86</sup> IMCYC, (1994), Tecnología y propiedades, p. 108.

<sup>87</sup> Neville, 1998, Tecnología del concreto, p. 66.

molde se debe llenar en tres capas de igual altura, compactas, usando una varilla apisonadora. Hay que tener precaución en golpear con un martillo de caucho cada capa con el objeto de cerrar los agujeros que deja la varilla y poder sacar indirectamente el aire. El nivelado se realiza con una lámina metálica o de vidrio. La masa neta se determina restando la tara del recipiente a la masa del concreto más el recipiente. La masa unitaria real de concreto se obtiene mediante el cociente de la masa neta del concreto y el volumen del recipiente, donde se muestra a continuación<sup>88</sup>:

$$MU = \text{Masa Neta del concreto} / \text{Volumen del recipiente}$$

El rendimiento volumétrico es el cociente entre la masa total de los materiales del diseño mezclados y la masa unitaria del concreto.

$$Rv = \text{Masa de los materiales del diseño} / MU$$

#### **2.4.5. Contenido de aire**

Este elemento está presente en todos los tipos de concreto, localizado en los poros no saturables de los agregados y entre los componentes del concreto, bien sea por que es atrapado durante el mezclado o al ser intencionalmente incorporado por el uso del algún tipo de aditivo.<sup>89</sup>

#### **2.4.6. Proceso de fraguado**

Durante el fraguado el concreto pasa de un estado plástico, donde se deforma indefinidamente por la aplicación de carga, a uno que se comporta de manera elástica ante la acción de esta. Los cambios que se pueden observar en el concreto durante este proceso son el tiempo de fraguado y la contracción plástica.<sup>90</sup>

#### **2.4.7. Muestreo de concreto**

El muestreo consiste en obtener una porción representativa del volumen de concreto fresco tal y como es entregado en la obra, llevándose a cabo inmediatamente después del proceso de descarga del tambor de la mezcladora o del vehículo de transportación. El muestreo incluye además las operaciones de envasado, llenado de los moldes, identificación y transporte de las muestras.<sup>91</sup>

Esta prueba permite determinar la consistencia del concreto en estado fresco, con tamaño nominal de agregado de hasta 37,5 mm y puede aplicarse a muestras de concreto fresco que contengan agregados de mayor tamaño, siempre que estos sean removidos mediante el procedimiento de cribado en húmedo descrito en el Manual M-MMP-2-02-055, Muestreo de Concreto Hidráulico. La prueba consiste en colocar, mediante un procedimiento previamente definido, una muestra de concreto fresco en un molde cónico truncado de dimensiones especificadas,

---

<sup>88</sup> Osorio, 2003, Manual de control de calidad del concreto en la obra, p. 30.

<sup>89</sup> Osorio, 2003, Manual de control de calidad del concreto en la obra, p. 31.

<sup>90</sup> Osorio, 2003, Manual de control de calidad del concreto en la obra, p. 31.

<sup>91</sup> SCT, M-MMP-2-02-055/04, Métodos de muestreo y prueba de materiales, Materiales para estructuras, Materiales para concreto hidráulico, Muestreo de concreto hidráulico, p. 1.

midiendo la disminución en la altura del cono de concreto una vez que el molde es retirado.<sup>92</sup>

#### **2.4.8. Revenimiento**

El concreto debe ser fabricado para tener siempre una trabajabilidad, consistencia y plasticidad adecuadas a las condiciones de trabajo. La trabajabilidad es una medida de lo fácil o difícil que resulta colocar, consolidar y darle acabado al concreto. La consistencia es la facultad del concreto fresco para fluir. Si se usa más agregado en una mezcla de concreto o si se agrega menos agua, la mezcla se vuelve más rígida y difícil de moldear. No se pueden considerar plásticas a las mezclas muy secas o muy desmoronables ni a las muy aguas o fluidas. La prueba de revenimiento es una medida de la consistencia del concreto. Para determinadas proporciones de cemento, entre más alto es el revenimiento más agua contiene la mezcla. El revenimiento es un indicador de la trabajabilidad cuando se evalúan mezclas similares. Sin embargo, no debe usarse para comparar mezclas de proporciones totalmente distintas. Un cambio de revenimiento en las diferentes mezclas de la misma proporción indica un cambio en la consistencia y en las características de los materiales, en las proporciones de la mezcla, o en el contenido de agua. Se requieren distintos revenimientos para los diversos tipos de construcción con concreto hidráulico. Usualmente se indica el revenimiento en las especificaciones de obra como un rango, por ejemplo, de 5 a 10 cm, o como un valor máximo que no debe ser rebasado. Para los ajustes de mezclas, el revenimiento se puede elevar aproximadamente 2.5 cm agregando 6 Kg de agua por metro cúbico de concreto.<sup>93</sup>

#### **2.5. Concreto endurecido**

Después de que el concreto ha fraguado empieza a ganar resistencia y se endurece. El concreto endurecido no tendrá huellas de pisadas si se camina sobre él. El concreto es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión, dependiendo de las propiedades tanto físicas, químicas, mecánicas de sus componentes y de la interacción de cada uno de ellos.<sup>94</sup>

Los principales requisitos del concreto endurecido son: que sus elementos constituyentes estén dispersados uniformemente, que tengan la resistencia requerida, que sea impermeable y resistencia al clima, al desgaste y a otros agentes destructores a los que pueda estar expuesto y sin contracción excesiva al enfriarse o secarse. Puede requerirse que el concreto endurecido tenga una apariencia o acabado arquitectónico particular, alta resistencia a la abrasión o a productos químicos agresivos; alta impermeabilidad al agua o a otros líquidos.<sup>95</sup>

La calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua usada con relación a la cantidad de cemento, cuando grandes cantidades de

---

<sup>92</sup> SCT, M-MMP-2-02-056/06, Métodos de muestreo y prueba de materiales,

<sup>93</sup> Kosmatka, 2004, Diseño y control de mezclas de concreto, pp. 86 y 87.

<sup>94</sup> IMCYC, 1998, Tecnología y propiedades, p. 127.

<sup>95</sup> IMCYC, 1994, Manual para supervisar obras de concreto (ACI 311-92), p. 41.

agua son innecesariamente empleadas, ellas diluyen la pasta de cemento. Las ventajas de la disminución de la cantidad de agua son<sup>96</sup>:

- a) Aumento de la resistencia a la compresión y de la resistencia a flexión.
- b) Disminución de la permeabilidad, entonces disminución de la absorción y aumento de la hermeticidad.
- c) Aumento de la resistencia a las intemperies.
- d) Mejor unión entre concreto y armadura.
- e) Reducción de la retracción (contracción, encogimiento) y de la fisuración (agrietamiento, fisuramiento).
- f) Menores cambios de volumen causado por la mojadura y el secamiento.

### **2.5.1. Resistencia**

Es una habilidad para resistir esfuerzos y de allí que se pueda considerar de cuatro maneras<sup>97</sup>:

- a) Compresión.
- b) Tracción.
- c) Flexión.
- d) Corte.

El concreto presenta una alta resistencia a las esfuerzo de compresión y muy poca a los de tracción, razón por la cual, la resistencia a la compresión simple es la propiedad a la que se le da mayor importancia. Desde el punto de vista de la resistencia a compresión se considera que un concreto es de resistencia normal cuando no supera los 42 MPa. Por otra parte, actualmente se considera que un concreto es de alta resistencia cuando esta es superior a 42 MPa e inferior a 100 MPa, a 28 días. Cuando tienen resistencias superiores a 100 MPa se consideran como de ultra alta resistencia. Por su naturaleza, el concreto es una masa endurecida y heterogénea cuya resistencia depende únicamente de los siguientes factores<sup>98</sup>:

- a) La resistencia a la pasta endurecida.
- b) La resistencia propia de las partículas del agregado.
- c) La adherencia entre la pasta y los agregados.

En cuanto a la resistencia de la pasta hidratada, se conoce que el cemento al contacto con el agua se hidrata y forma una masa semi - cristalina discontinua llamada "gel", que con el transcurso del tiempo adquiere resistencia, la cual será mayor a medida que se incrementa el agrado de hidratación. En lo que se refiere a la resistencia de las partículas del agregado, ésta es función de sus propiedades, las cuales están bien definidas y son independientes del tiempo. Generalmente los agregados son más resistentes que la pasta, excepto en el caso de agregados livianos o concretos de alta resistencia. En general, el más importante en la resistencia de un concreto totalmente compactado es la relación agua/cemento. Sin embargo, para una mezcla trabajable, bien dosificada y en condiciones

---

<sup>96</sup> Kosmatka, 2004, Diseño y control de mezclas de Concreto, p. 1.

<sup>97</sup> Osorio, 2003, Manual de control de calidad del concreto en la obra, p. 31.

<sup>98</sup> Kosmatka, 2004, Diseño y control de mezclas de Concreto, p. 1.

normales de mezclado, curado y métodos de ensayo, además de la influencia de la relación agua/cemento, intervienen otros elementos como el tipo y calidad del cemento, las características del agregado, el tipo y cantidad de los aditivos, el fraguado y la edad.<sup>99</sup>

## 2.6. Normatividad

Para conseguir un buen resultado en las pruebas de los agregados es conveniente utilizar las normas mexicanas (tabla 1).

Para el caso de la prueba relación grava – arena se utiliza una tabla estandarizada donde se muestra que tanto por ciento se le va adicionando del agregado fino, de igual manera se debe considerar la relación grava - arena como objeto de reducir al mínimo los vacíos y se obtiene con el empleo de la curva de Abrams, en donde con el módulo de finura de la arena se traza en el eje vertical y se refiere con una recta horizontal hacia la derecha, hasta interceptar la recta correspondiente al tamaño máximo del agregado grueso que se va a usar; del punto de intersección se refiere hacia abajo una recta vertical que al interceptar al eje horizontal, nos da el valor de la relación grava – arena.

**Tabla 1. Norma mexicanas de los agregados.**

| <b>Prueba</b>  | <b>Norma mexicana</b> |
|--|-----------------------|
| Muestreo   | NMX-C-030-ONNCCE-2004 |
| Masa volumétrica.  | NMX-C-073-ONNCCE-2004 |
| Análisis granulométrico.   | NMX-C-077-1997-ONNCCE |
| Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino.  | NMX-C-088-1997-ONNCCE |
| Especificaciones y métodos de prueba   | NMX-C-111-ONNCCE-2004 |
| Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado grueso.                           | NMX-C-164-ONNCCE-2014 |
| Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino.                             | NMX-C-165-ONNCCE-2014 |
| Reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo al tamaño requerido para las pruebas.       | NMX-C-170-1997-ONNCCE |
| Resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregado grueso usando la máquina de los Ángeles. | NMX-C-196-ONNCCE-2008 |

<sup>99</sup> Kosmatka, Diseño y Control de mezclas de concreto, p. 1.

### CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

En este capítulo, se describe la metodología y procesos que se llevaron a cabo con los agregados pétreos que se extrajeron del banco de material de San Lázaro Etlá, Oaxaca (figura 7 y 8), para la realización de este proyecto de investigación, donde también se menciona y se describe las pruebas realizadas para los agregados.



**Figura 7. Macro localización de san Lázaro Etlá, Oaxaca.**

*Fuente: Gogleamos.com.*



**Figura 8. Micro localización de san Lázaro Etlá, Oaxaca.**

*Fuente: Google earth.*

### 3.1. Muestreo

La norma mexicana *NMX-C-030-ONNCCE-2004* establece el muestreo de agregados que se utilizan para la investigación preliminar de fuentes potenciales de suministro; el control de los agregados en la fuente de abastecimiento; el control de las operaciones en el sitio de uso y la aceptación o rechazo de los agregados.

Con la norma mexicana mencionada, se obtuvo que la fuente de abastecimiento en este caso fue en un depósito fluvial el cual se localizan en lo playones o cauces de ríos, los cuales proporcionan agregados redondeados de fácil y económica explotación.

Para esto se empezó a recolectar el material utilizando las medidas necesarias al efectuar la extracción de la muestra, a fin de que no se contaminara, extrayendo el material por capas dependiendo de las características de cimentación del material, en todo el perímetro a medida que se profundiza la excavación, en donde el mínimo de muestras de campos obtenidas fue suficiente para que los resultados de las pruebas sean confiables.

En el cual toda la muestra recolectada fue material en greña, donde se tuvo que llenar dos costales limpios de dicho material y fue transportado inmediatamente al laboratorio de maestría para que no hubiera pérdidas del material (figura 9 y 10).



**Figura 9. Muestreo y sondeo.**  
*Fuente: Cortesía de San Lázaro Etla, Oaxaca.*



**Figura 10. Muestreo y sondeo.**

*Fuente: Cortesía de San Lázaro Etla, Oaxaca.*

Una vez recibidas las muestras en el laboratorio (figura 11), se prosiguió el secado del material, pero el detalle en el secado fue que no se ocupó el horno por problemas técnicos y tampoco se secó a la intemperie por causas del clima, por lo cual se empezó a secar dentro del mismo laboratorio durante tres días, revolviéndolo para que se secara más rápido el material (figura 12 y 13).



**Figura 11. Material en el laboratorio.**



**Figura 12. Secado de muestra.**



**Figura 13. Secado de muestra.**

## **3.2 Granulometría**

### **3.2.1. Granulometría del agregado grueso**

Una vez seco el material de la muestra, se empezó a reducir al tamaño requerido para efectuar las pruebas correspondientes.

La reducción de la muestra de campo se llevó a cabo mediante el procedimiento indicado en la norma *NMX-C-170-1997-ONNCCE*.

Donde la norma oficial mexicana *NMX-C-077-1997-ONNCCE* establece el método para los análisis granulométricos gruesos y finos, con el fin de determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños por medios de cribas. El ensayo de granulometría de los agregados es de verás importancia para el diseño del concreto debido a la relevante influencia de los agregados en la resistencia de este.

En donde el equipo requerido para esta prueba fue:

- Charolas.
- Tara.
- Cucharón.
- Balanza con una aproximación de 0.1% de la masa de la muestra.
- Cribas (juego de cribas que cumplan con las especificaciones de la *NMX-B-231-1990*).

Enseguida la muestra del agregado que se va a emplear para su análisis granulométrico se coloca en una superficie plana y limpia, donde no pueda haber pérdida de material ni contaminación con materias extrañas. Se mezcla el material completamente traspaleando toda la muestra en una pila cónica, depositando cada paleada sobre la anterior, después se realiza el cuarteado en partes iguales con la pala y se eliminan dos de las partes diagonalmente opuestas, incluyendo todo el material (figura 14). La muestra por analizarse debe ser el resultado final de la reducción por el cuarteado y no debe permitirse el ajuste a una masa predeterminada, pero debe tomarse en cuenta que el material de muestra es totalmente en greña.



**Figura 14. Cuarteo de muestra.**

Para el procedimiento de la prueba de la granulometría gruesa, se empezó en armar las cribas que van a emplearse en la determinación en orden descendente de aberturas, terminando con la charola y se coloca la muestra en la criba superior y se tapa bien (figura 15). Se agita las cribas a mano por un tiempo determinado, de tal forma que se satisfaga el criterio de un cribado correcto, después de agitar el material que retiene cada criba, se pesa cada una (figura 16) para luego ser anotado y poder realizar el análisis granulométrico de la prueba.



**Figura 15. Cribas en orden descendente.**



**Figura 16. Peso de la granulometría gruesa.**

El análisis granulométrico del agregado grueso realizado en el laboratorio tiene por objeto determinar las cantidades en las que están presentes las partículas de ciertos tamaños, permite de igual manera determinar el porcentaje que pasa los diferentes tamaños de cribas, y con esos datos poder construir la curva granulométrica correspondiente de cada muestra y así saber si el material del agregado utilizado está dentro de los límites especificados para la fabricación del concreto.

Para esta prueba se utilizó un agregado máximo de 2" y para ver su comportamiento se realizaron más pruebas, pero usando agregados máximos de 1 ½", 1" y ¾", donde se analizó cada uno y por medio de graficas se observó si están dentro de los límites correspondientes señalados en la norma oficial mexicana *NMX-C-111-ONNCCE-2004*.

Cálculos y resultados:

Para el cálculo (tablas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13) y análisis de granulometría de cada agregado máximo (figura 17, 18, 19 y 20) se utilizan las siguientes formulas:

$$\% \text{ Ret. total de la muestra} = \frac{(\text{Ret. malla})(100)}{\Sigma w \text{ total de la muestra}}$$

% Ret. total, de la muestra: Retenidos por cada malla (g).

Ret. malla: Retenido total por cada muestra (g).

Σ w total de la muestra: Peso total de la muestra (g).

$$\% \text{ Acumulado} = (\% \text{ Acumulado de la 1a. muestra}) + (\text{Ret. malla de la 2a. malla})$$

% Acumulado: % Acumulado.

% Acumulado de la 1a. muestra: % Acumulado de la primera muestra.

Ret. malla de la 2a. malla: Retenido de la segunda malla (g).

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \% \text{ Acumulado de cada malla}$$

% Que pasa: % Que pasa.

**Tabla 2. Promedio de la muestra 1.**

| Promedio de muestra 1 |             |                  |          |          |          |                              |                                    |               |            |                 |                 |
|-----------------------|-------------|------------------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|-----------------|-----------------|
| Tamaño tamiz No.      | Abert. (mm) | Gramos retenidos |          |          |          | Retenidos por cada malla (g) | % Retenido del total de la muestra | Acumulado (%) | % Que pasa | Limite superior | Limite inferior |
|                       |             | Ensayo 1         | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 4 |                              |                                    |               |            |                 |                 |
| 2 1/2"                | 63.5        | 0                | 0        | 0        | 0        | 0                            | 0                                  | 100           | 100        | 100             |                 |
| 2"                    | 50          | 0.0              | 0.0      | 550      | 0        | 137.5                        | 4.6                                | 4.6           | 95.4       | 100             | 95              |
| 1"                    | 25          | 491.6            | 550.4    | 750      | 1075     | 716.8                        | 24.0                               | 28.6          | 71.4       | 70              | 35              |
| N°4                   | 4.75        | 2366.3           | 1950.0   | 2375     | 1825     | 2129.1                       | 71.4                               | 100.0         | 0.0        | 5               | 0               |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Peso total de la muestra | 2983.33 |
| Modulo de finura         | 1.332   |

**Tabla 3. Promedio de la muestra 2.**

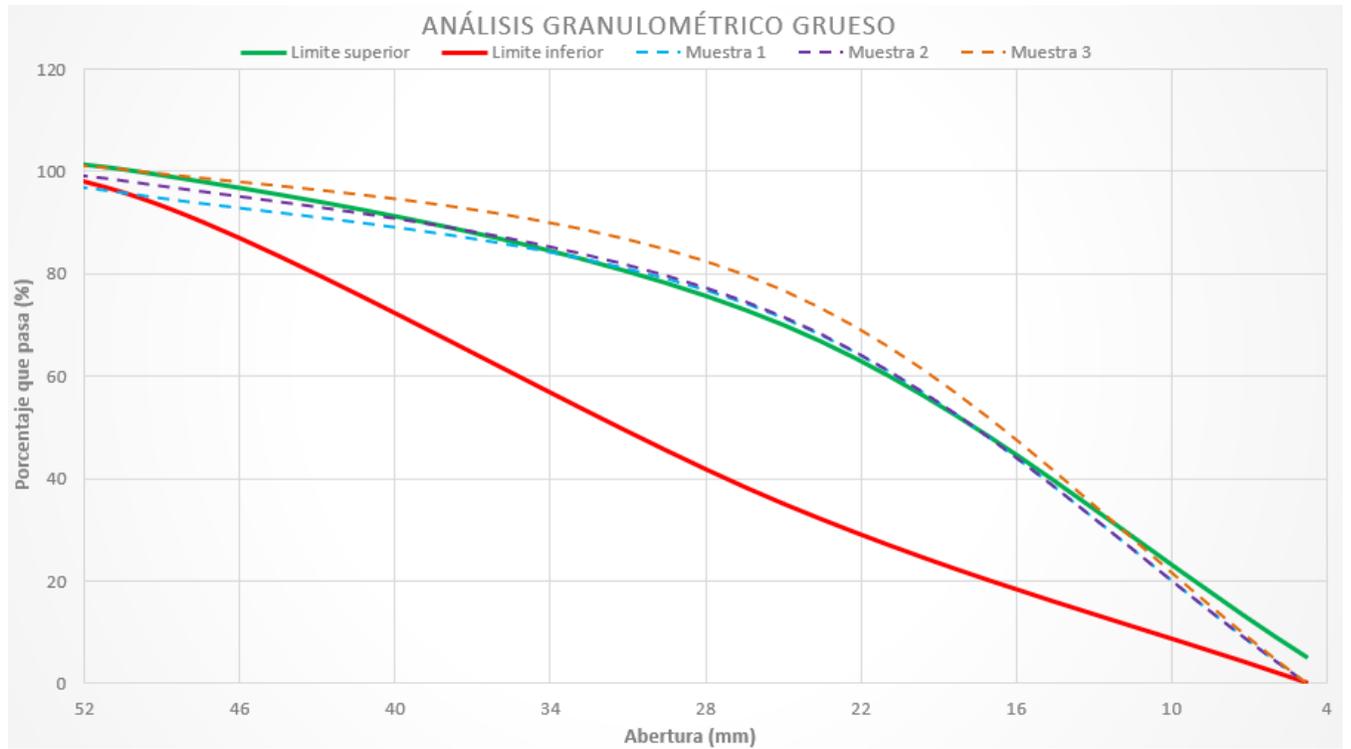
| Promedio de muestra 2 |             |                  |          |          |          |                              |                                    |               |            |                 |                 |
|-----------------------|-------------|------------------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|-----------------|-----------------|
| Tamaño tamiz No.      | Abert. (mm) | Gramos retenidos |          |          |          | Retenidos por cada malla (g) | % Retenido del total de la muestra | Acumulado (%) | % Que pasa | Limite superior | Limite inferior |
|                       |             | Ensayo 1         | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 4 |                              |                                    |               |            |                 |                 |
| 2 1/2"                | 63.50       | 0                | 0        | 0        | 0        | 0.00                         | 0.00                               | 0.00          | 100.00     | 100             | 100             |
| 2"                    | 50.00       | 0                | 200      | 100      | 0        | 75.00                        | 2.02                               | 2.02          | 97.98      | 100             | 95              |
| 1"                    | 25.00       | 1150             | 900      | 575      | 1275     | 975.00                       | 26.22                              | 28.24         | 71.76      | 70              | 35              |
| N°4                   | 4.75        | 3025             | 2600     | 2150     | 2900     | 2668.75                      | 71.76                              | 100.00        | 0.00       | 5               | 0               |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Peso total de la muestra | 3718.75 |
| Modulo de finura         | 1.303   |

**Tabla 4. Promedio de la muestra 3.**

| Promedio de muestra 3 |             |                  |          |          |          |                              |                                    |               |            |                 |                 |
|-----------------------|-------------|------------------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|-----------------|-----------------|
| Tamaño tamiz No.      | Abert. (mm) | Gramos retenidos |          |          |          | Retenidos por cada malla (g) | % Retenido del total de la muestra | Acumulado (%) | % Que pasa | Limite superior | Limite inferior |
|                       |             | Ensayo 1         | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 4 |                              |                                    |               |            |                 |                 |
| 2 1/2"                | 63.50       | 0.00             | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00                         | 0.00                               | 100.00        | 100        | 100             |                 |
| 2"                    | 50          | 0.00             | 0.00     | 0.00     | 0.00     | 0.00                         | 0.000                              | 100.000       | 100        | 95              |                 |
| 1"                    | 25          | 675              | 725      | 575      | 700      | 668.75                       | 23.261                             | 23.261        | 76.739     | 70              | 35              |
| N°4                   | 4.75        | 1825             | 1750     | 2600     | 2650     | 2206.25                      | 76.739                             | 100.000       | 0          | 5               | 0               |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Peso total de la muestra | 2875.00 |
| Modulo de finura         | 1.233   |



**Figura 17. Análisis granulométrico grueso de 2".**

**Tabla 5. Promedio de la muestra 1.**

| Promedio de muestra 1 |             |                  |          |          |          |                              |                                    |               |            |                 |                 |
|-----------------------|-------------|------------------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|-----------------|-----------------|
| Tamaño tamiz No.      | Abert. (mm) | Gramos retenidos |          |          |          | Retenidos por cada malla (g) | % Retenido del total de la muestra | Acumulado (%) | % Que pasa | Limite superior | Limite inferior |
|                       |             | Ensayo 1         | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 4 |                              |                                    |               |            |                 |                 |
| 2"                    | 50          | 0                | 0        | 550      | 0        | 137.5                        | 4.609                              | 4.609         | 95.391     | 100             | 100             |
| 1 1/2"                | 37.5        | 201.4            | 100.4    | 300      | 650      | 312.95                       | 10.490                             | 15.099        | 84.901     | 100             | 95              |
| 3/4"                  | 19          | 681.6            | 650      | 825      | 675      | 707.9                        | 23.729                             | 38.827        | 61.173     | 70              | 35              |
| 3/8"                  | 9.5         | 999.9            | 825      | 1000     | 850      | 918.725                      | 30.795                             | 69.623        | 30.377     | 30              | 10              |
| N°4                   | 4.75        | 975              | 925      | 1000     | 725      | 906.25                       | 30.377                             | 100.000       | 0          | 0               | 0               |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Peso total de la muestra | 2983.33 |
| Modulo de finura         | 2.282   |

**Tabla 6. Promedio de la muestra 2.**

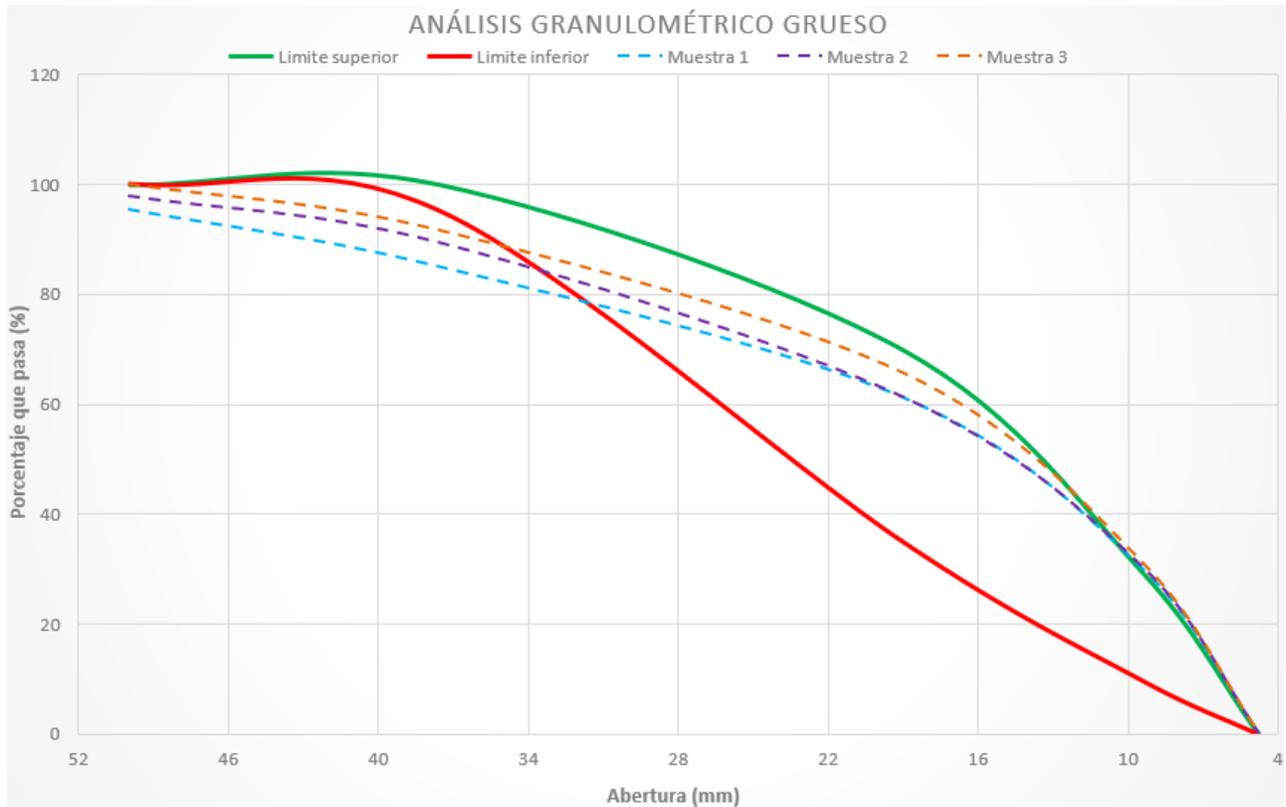
| Promedio de muestra 2 |             |                  |          |          |          |                              |                                    |               |            |                 |                 |
|-----------------------|-------------|------------------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|-----------------|-----------------|
| Tamaño tamiz No.      | Abert. (mm) | Gramos retenidos |          |          |          | Retenidos por cada malla (g) | % Retenido del total de la muestra | Acumulado (%) | % Que pasa | Limite superior | Limite inferior |
|                       |             | Ensayo 1         | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 4 |                              |                                    |               |            |                 |                 |
| 2"                    | 50          | 0                | 200      | 100      | 0        | 75                           | 2.017                              | 2.017         | 97.983     | 100             | 100             |
| 1 1/2"                | 37.5        | 225              | 250      | 150      | 650      | 318.75                       | 8.571                              | 10.588        | 89.412     | 100             | 95              |
| 3/4"                  | 19          | 1375             | 1025     | 775      | 1000     | 1043.75                      | 28.067                             | 38.655        | 61.345     | 70              | 35              |
| 3/8"                  | 9.5         | 1275             | 1050     | 900      | 1325     | 1137.5                       | 30.588                             | 69.244        | 30.756     | 30              | 10              |
| N°4                   | 4.75        | 1300             | 1175     | 900      | 1200     | 1143.75                      | 30.756                             | 100.000       | 0          | 0               | 0               |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Peso total de la muestra | 3718.75 |
| Modulo de finura         | 2.205   |

**Tabla 7. Promedio de la muestra 3.**

| Promedio de muestra 3 |             |                  |          |          |          |                              |                                    |               |            |                 |                 |
|-----------------------|-------------|------------------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|-----------------|-----------------|
| Tamaño tamiz No.      | Abert. (mm) | Gramos retenidos |          |          |          | Retenidos por cada malla (g) | % Retenido del total de la muestra | Acumulado (%) | % Que pasa | Limite superior | Limite inferior |
|                       |             | Ensayo 1         | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 4 |                              |                                    |               |            |                 |                 |
| 2"                    | 50          | 0                | 0        | 0        | 0        | 0                            | 0.000                              | 0.000         | 100.000    | 100             | 100             |
| 1 1/2"                | 37.5        | 125              | 300      | 250      | 300      | 243.75                       | 8.478                              | 8.478         | 91.522     | 100             | 95              |
| 3/4"                  | 19          | 825              | 625      | 675      | 850      | 743.75                       | 25.870                             | 34.348        | 65.652     | 70              | 35              |
| 3/8"                  | 9.5         | 850              | 825      | 1225     | 1025     | 981.25                       | 34.130                             | 68.478        | 31.522     | 30              | 10              |
| N°4                   | 4.75        | 700              | 725      | 1025     | 1175     | 906.25                       | 31.522                             | 100.000       | 0          | 0               | 0               |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Peso total de la muestra | 2875  |
| Modulo de finura         | 2.113 |



**Figura 18. Análisis granulométrico grueso de 1 1/2".**

**Tabla 8. Promedio de la muestra 1.**

| Promedio de muestra 1 |             |                  |          |          |          |                              |                                    |               |            |                 |                 |
|-----------------------|-------------|------------------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|-----------------|-----------------|
| Tamaño tamiz No.      | Abert. (mm) | Gramos retenidos |          |          |          | Retenidos por cada malla (g) | % Retenido del total de la muestra | Acumulado (%) | % Que pasa | Limite superior | Limite inferior |
|                       |             | Ensayo 1         | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 4 |                              |                                    |               |            |                 |                 |
| 1 1/2"                | 37.5        | 201.4            | 100.4    | 850      | 650      | 450.45                       | 15.099                             | 15.099        | 84.901     | 100             | 100             |
| 1"                    | 25          | 290.2            | 450      | 450      | 425      | 403.8                        | 13.535                             | 28.634        | 71.366     | 100             | 95              |
| 1/2"                  | 12.5        | 941.3            | 575      | 825      | 675      | 754.075                      | 25.276                             | 53.910        | 46.090     | 60              | 25              |
| N°4                   | 4.75        | 1425             | 1375     | 1550     | 1150     | 1375                         | 46.090                             | 100.000       | 0          | 10              | 0               |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Peso total de la muestra | 2983.33 |
| Modulo de finura         | 1.976   |

**Tabla 9. Promedio de la muestra 2.**

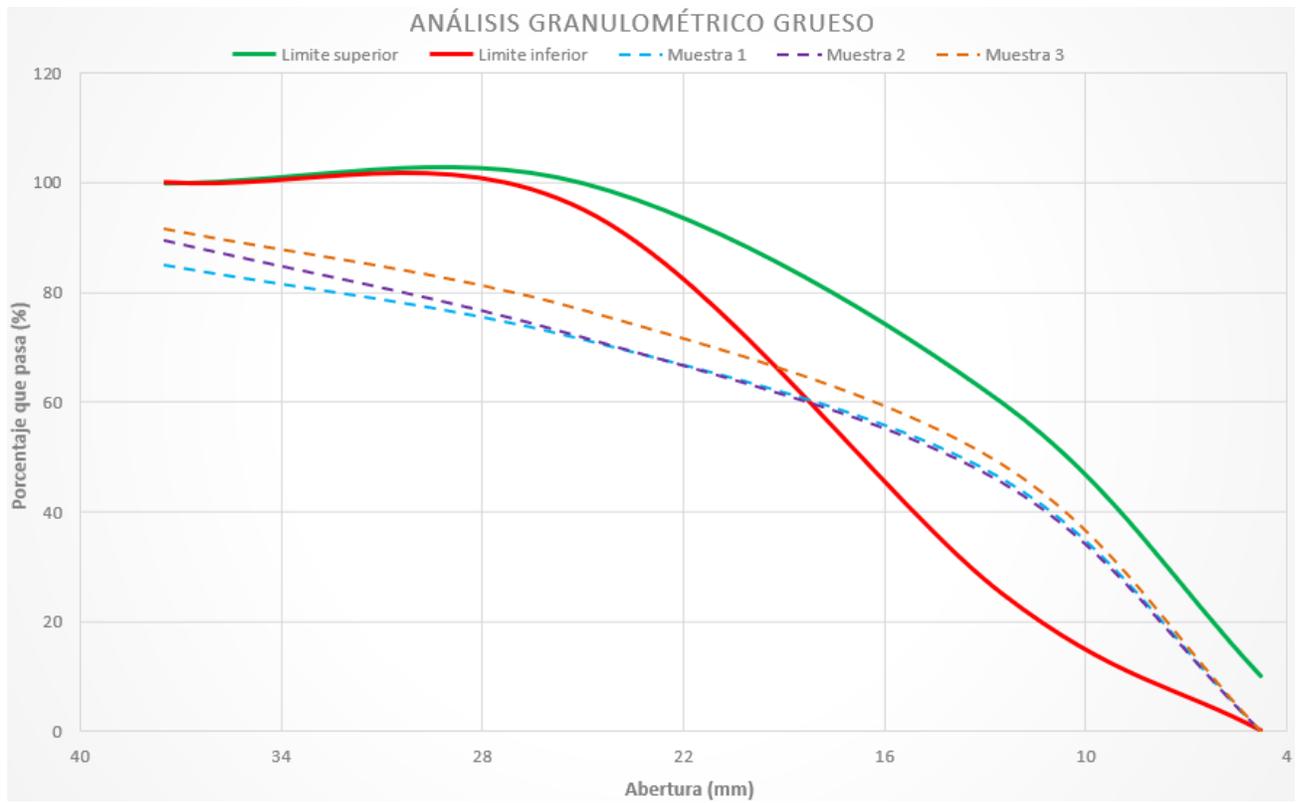
| Promedio de muestra 2 |             |                  |          |          |          |                              |                                    |               |            |                 |                 |
|-----------------------|-------------|------------------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|-----------------|-----------------|
| Tamaño tamiz No.      | Abert. (mm) | Gramos retenidos |          |          |          | Retenidos por cada malla (g) | % Retenido del total de la muestra | Acumulado (%) | % Que pasa | Limite superior | Limite inferior |
|                       |             | Ensayo 1         | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 4 |                              |                                    |               |            |                 |                 |
| 1 1/2"                | 37.5        | 225              | 450      | 250      | 650      | 393.75                       | 10.588                             | 10.588        | 89.412     | 100             | 100             |
| 1"                    | 25          | 925              | 650      | 425      | 625      | 656.25                       | 17.647                             | 28.235        | 71.765     | 100             | 95              |
| 1/2"                  | 12.5        | 1100             | 875      | 800      | 1150     | 981.25                       | 26.387                             | 54.622        | 45.378     | 60              | 25              |
| N°4                   | 4.75        | 1925             | 1725     | 1350     | 1750     | 1687.5                       | 45.378                             | 100.000       | 0          | 10              | 0               |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Peso total de la muestra | 3718.75 |
| Modulo de finura         | 1.934   |

**Tabla 10. Promedio de la muestra 3.**

| Promedio de muestra 3 |             |                  |          |          |          |                              |                                    |               |            |                 |                 |
|-----------------------|-------------|------------------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|-----------------|-----------------|
| Tamaño tamiz No.      | Abert. (mm) | Gramos retenidos |          |          |          | Retenidos por cada malla (g) | % Retenido del total de la muestra | Acumulado (%) | % Que pasa | Limite superior | Limite inferior |
|                       |             | Ensayo 1         | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 4 |                              |                                    |               |            |                 |                 |
| 1 1/2"                | 37.5        | 125              | 300      | 250      | 300      | 243.75                       | 8.478                              | 8.478         | 91.522     | 100             | 100             |
| 1"                    | 25          | 550              | 425      | 325      | 400      | 425                          | 14.783                             | 23.261        | 76.739     | 100             | 95              |
| 1/2"                  | 12.5        | 700              | 650      | 925      | 950      | 806.25                       | 28.043                             | 51.304        | 48.696     | 60              | 25              |
| N°4                   | 4.75        | 1125             | 1100     | 1675     | 1700     | 1400                         | 48.696                             | 100.000       | 0          | 10              | 0               |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Peso total de la muestra | 2875  |
| Modulo de finura         | 1.830 |



**Figura 19. Análisis granulométrico grueso de 1".**

**Tabla 11. Promedio de la muestra 1.**

| Promedio de muestra 1 |             |                  |          |          |          |                              |                                    |               |            |                 |                 |
|-----------------------|-------------|------------------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|-----------------|-----------------|
| Tamaño tamiz No.      | Abert. (mm) | Gramos retenidos |          |          |          | Retenidos por cada malla (g) | % Retenido del total de la muestra | Acumulado (%) | % Que pasa | Limite superior | Limite inferior |
|                       |             | Ensayo 1         | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 4 |                              |                                    |               |            |                 |                 |
| 1"                    | 25          | 491.6            | 550.4    | 1300     | 1075     | 854.25                       | 28.634                             | 28.634        | 71.366     | 100             | 100             |
| 3/4"                  | 19          | 391.4            | 200      | 375      | 250      | 304.1                        | 10.193                             | 38.827        | 61.173     | 100             | 90              |
| 3/8"                  | 9.5         | 999.9            | 825      | 1000     | 850      | 918.725                      | 30.795                             | 69.623        | 30.377     | 55              | 20              |
| N°4                   | 4.75        | 975              | 925      | 1000     | 725      | 906.25                       | 30.377                             | 100.000       | 0          | 10              | 0               |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Peso total de la muestra | 2983.33 |
| Modulo de finura         | 2.371   |

**Tabla 12. Promedio de la muestra 2.**

| Promedio de muestra 2 |             |                  |          |          |          |                              |                                    |               |            |                 |                 |
|-----------------------|-------------|------------------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|-----------------|-----------------|
| Tamaño tamiz No.      | Abert. (mm) | Gramos retenidos |          |          |          | Retenidos por cada malla (g) | % Retenido del total de la muestra | Acumulado (%) | % Que pasa | Limite superior | Limite inferior |
|                       |             | Ensayo 1         | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 4 |                              |                                    |               |            |                 |                 |
| 1"                    | 25          | 1150             | 1100     | 675      | 1275     | 1050                         | 28.235                             | 28.235        | 71.765     | 100             | 100             |
| 3/4"                  | 19          | 450              | 375      | 350      | 375      | 387.5                        | 10.420                             | 38.655        | 61.345     | 100             | 90              |
| 3/8"                  | 9.5         | 1275             | 1050     | 900      | 1325     | 1137.5                       | 30.588                             | 69.244        | 30.756     | 55              | 20              |
| N°4                   | 4.75        | 1300             | 1175     | 900      | 1200     | 1143.75                      | 30.756                             | 100.000       | 0          | 10              | 0               |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Peso total de la muestra | 3718.75 |
| Modulo de finura         | 2.361   |

**Tabla 13. Promedio de la muestra 3.**

| Promedio de muestra 3 |             |                  |          |          |          |                              |                                    |               |            |                 |                 |
|-----------------------|-------------|------------------|----------|----------|----------|------------------------------|------------------------------------|---------------|------------|-----------------|-----------------|
| Tamaño tamiz No.      | Abert. (mm) | Gramos retenidos |          |          |          | Retenidos por cada malla (g) | % Retenido del total de la muestra | Acumulado (%) | % Que pasa | Limite superior | Limite inferior |
|                       |             | Ensayo 1         | Ensayo 2 | Ensayo 3 | Ensayo 4 |                              |                                    |               |            |                 |                 |
| 1"                    | 25          | 675              | 725      | 575      | 700      | 668.75                       | 23.261                             | 23.261        | 76.739     | 100             | 100             |
| 3/4"                  | 19          | 275              | 200      | 350      | 450      | 318.75                       | 11.087                             | 34.348        | 65.652     | 100             | 90              |
| 3/8"                  | 9.5         | 850              | 825      | 1225     | 1025     | 981.25                       | 34.130                             | 68.478        | 31.522     | 55              | 20              |
| N°4                   | 4.75        | 700              | 725      | 1025     | 1175     | 906.25                       | 31.522                             | 100.000       | 0          | 10              | 0               |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Peso total de la muestra | 2875  |
| Modulo de finura         | 2.261 |

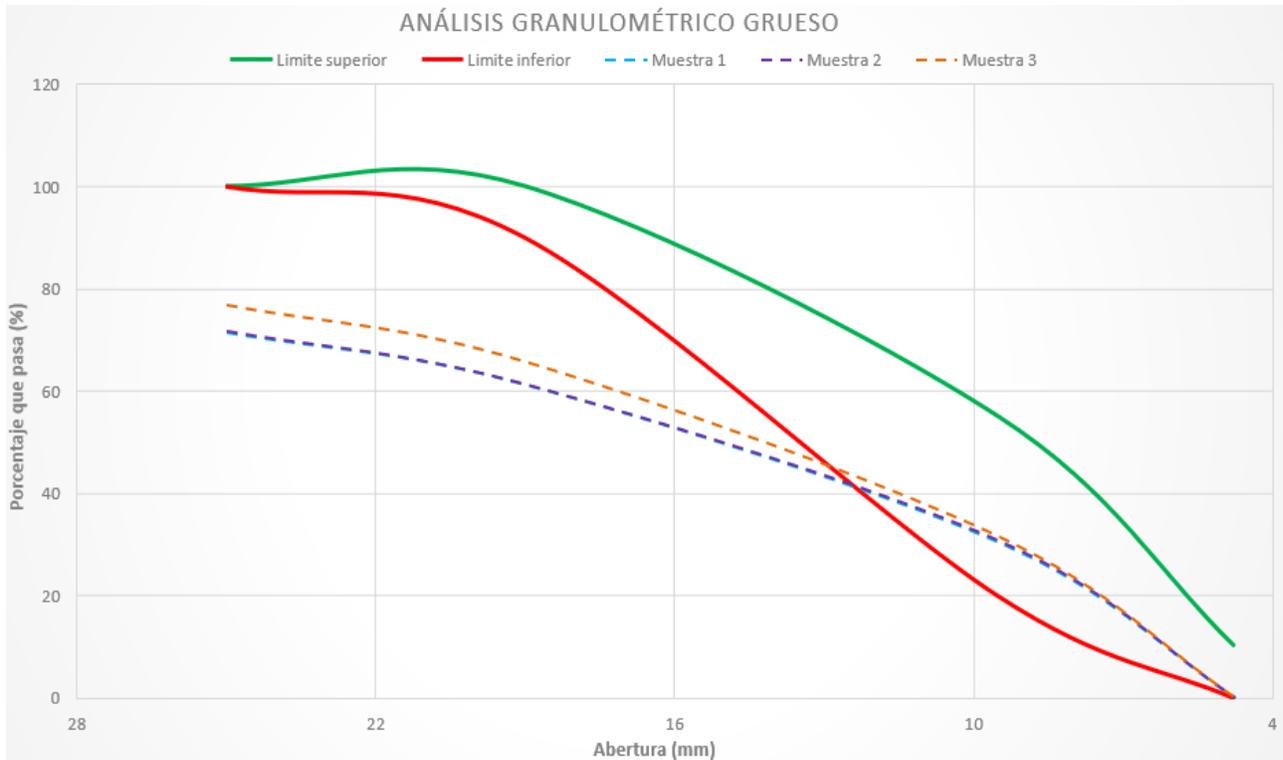


Figura 20. Análisis granulométrico grueso de 3/4”.

### 3.2.1.1. Módulo de finura del agregado grueso

De acuerdo con la norma *NMX-C-111-ONNCCE-2004* el módulo de finura también llamado módulo granulométrico, da una idea del grosor o finura del agregado y se calcula utilizando los resultados que se obtuvieron al realizar la prueba de granulometría, donde se sumó los porcentajes retenidos acumulados en los tamices y dividiendo la suma entre 100 (tabla 14, 15, 16 y 17) y poder a si ser analizada (figura 21, 22, 23 y 24) y donde nos dice que los valores de M.F. para el agregado dependen del tamaño máximo que en este caso se realizó para un agregado de 2”, 1 1/2”, 1” y 3/4”.

Cálculos y resultados:

$$Mf = \frac{\sum \text{Porc. Acum. (hasta la malla No. 4)}}{100}$$

Mf: Módulo de finura

$\Sigma$  Porc. Acum.: Sumatoria de los porcentajes acumulados

Para esto se calculó de igual forma la desviación estándar (tabla 14,15,16 y 17) con la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S: Desviación estándar

X: Valores

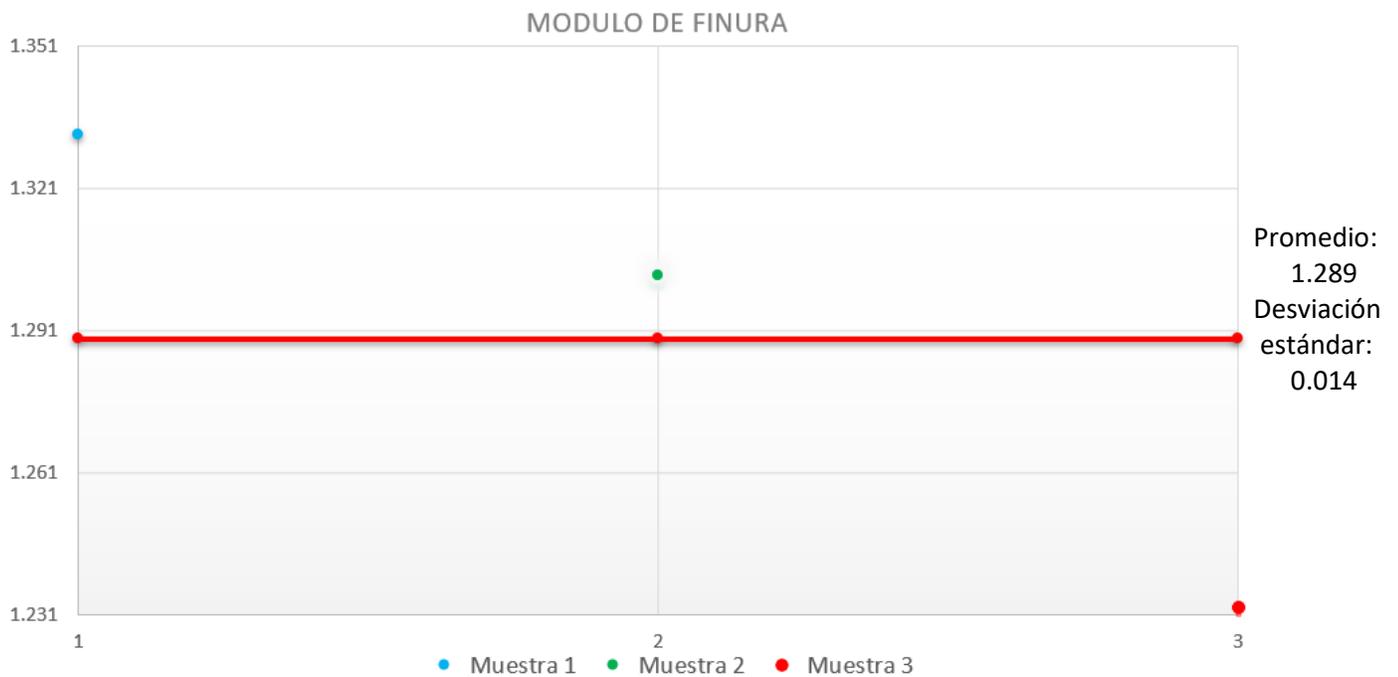
$\bar{X}$  : Media aritmética

n: Numero de valores

**Tabla 14. Módulo de finura y su desviación estándar del agregado de 2".**

|              | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|
| Mod. Finura  | 1.332     | 1.303     | 1.233     |
| Promedio     | 1.289     |           |           |
| Desv. Estad. | 0.014     |           |           |

| Calculos para la desviacion estandar |               |                   |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| x                                    | $x - \bar{x}$ | $(x - \bar{x})^2$ |
| 1.33                                 | 0.04          | 0.00              |
| 1.30                                 | 0.01          | 0.00              |
| 1.23                                 | -0.06         | 0.00              |
|                                      |               |                   |
|                                      | Suma          | 0.01              |

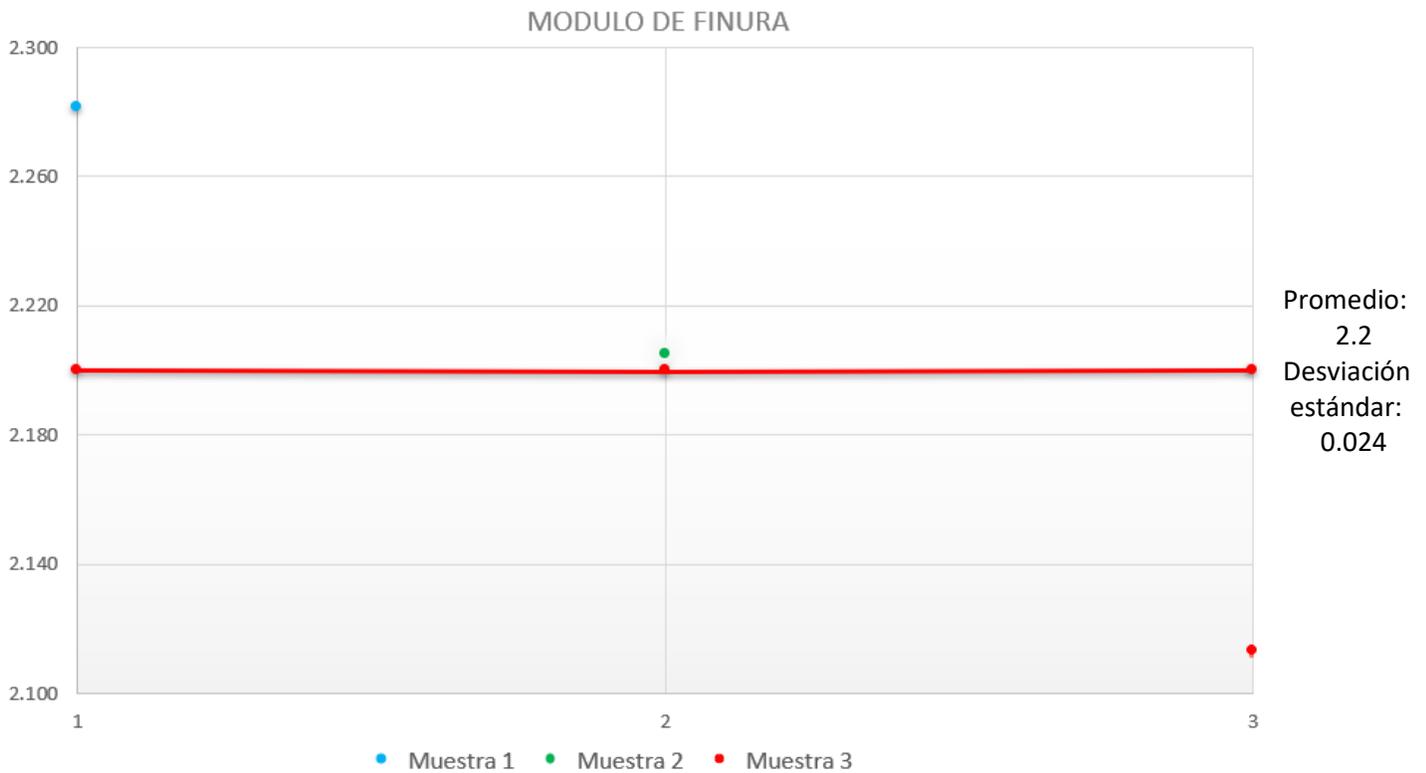


**Figura 21. Módulo de finura del agregado grueso de 2".**

**Tabla 15. Módulo de finura y su desviación estándar del agregado de 1 ½”.**

|              | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|
| Mod. Finura  | 2.282     | 2.205     | 2.113     |
| Promedio     | 2.200     |           |           |
| Desv. Estad. | 0.024     |           |           |

| Calculos para la desviacion estandar |              |                              |
|--------------------------------------|--------------|------------------------------|
| x                                    | x- $\bar{x}$ | (x- $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> |
| 2.28                                 | 0.08         | 0.01                         |
| 2.21                                 | 0.01         | 0.00                         |
| 2.11                                 | -0.09        | 0.01                         |
|                                      |              |                              |
|                                      | Suma         | 0.01                         |

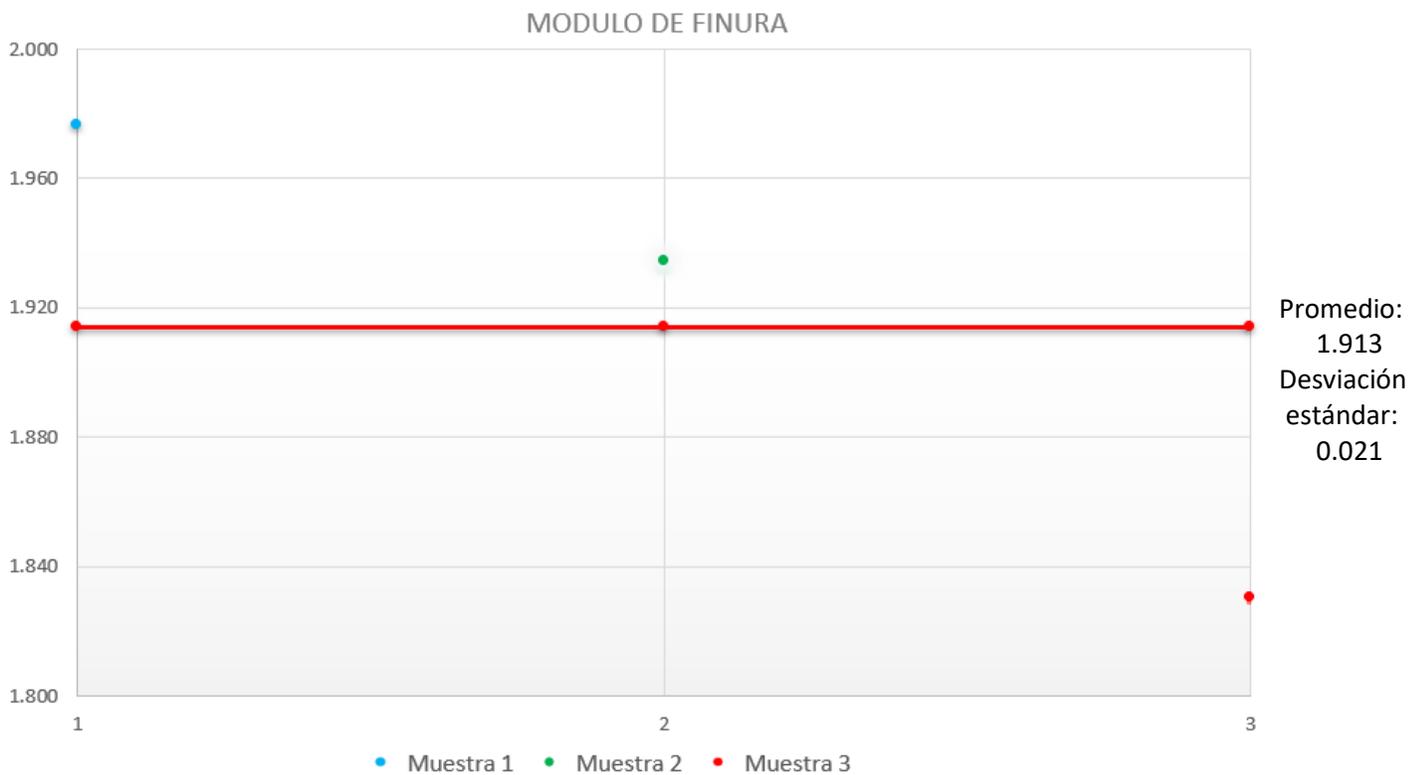


**Figura 22. Módulo de finura del agregado grueso de 1 ½”.**

**Tabla 16. Módulo de finura y su desviación estándar del agregado de 1".**

|              | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|
| Mod. Finura  | 1.976     | 1.934     | 1.830     |
| Promedio     | 1.913     |           |           |
| Desv. Estad. | 0.021     |           |           |

| Calculos para la desviacion estandar |               |                   |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| x                                    | $x - \bar{x}$ | $(x - \bar{x})^2$ |
| 1.98                                 | 0.06          | 0.00              |
| 1.93                                 | 0.02          | 0.00              |
| 1.83                                 | -0.08         | 0.01              |
|                                      |               |                   |
|                                      | Suma          | 0.01              |

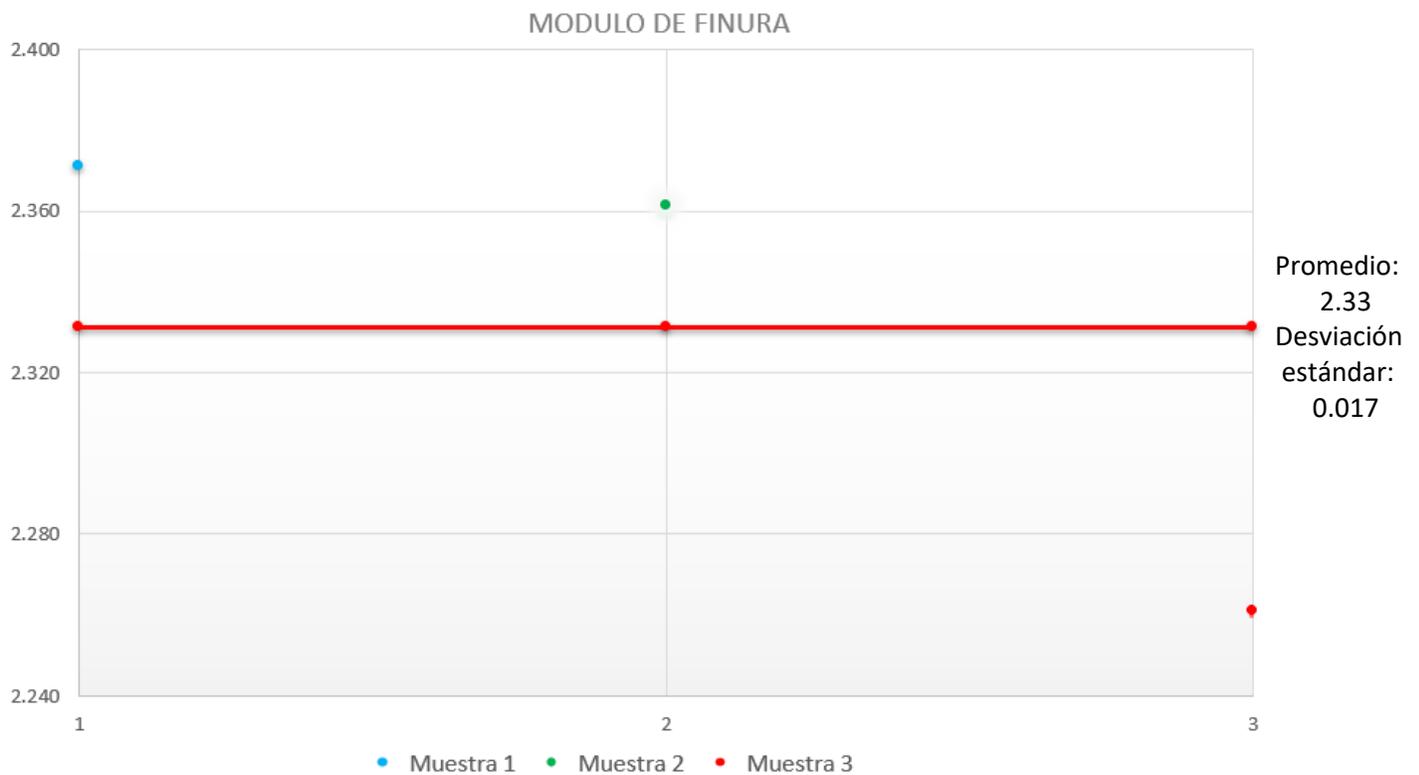


**Figura 23. Módulo de finura del agregado grueso de 1".**

**Tabla 17. Módulo de finura y su desviación estándar del agregado de 3/4".**

|              | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|
| Mod. Finura  | 2.371     | 2.361     | 2.261     |
| Promedio     | 2.331     |           |           |
| Desv. Estad. | 0.017     |           |           |

| Calculos para la desviacion estandar |               |                   |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| x                                    | $x - \bar{x}$ | $(x - \bar{x})^2$ |
| 2.37                                 | 0.04          | 0.00              |
| 2.36                                 | 0.03          | 0.00              |
| 2.26                                 | -0.07         | 0.00              |
|                                      |               |                   |
| Suma                                 |               | 0.01              |



**Figura 24. Módulo de finura del agregado grueso de 3/4".**

### 3.2.2. Granulometría del agregado fino

La norma mexicana *NMX-C-077-1997-ONNCCE* se empleó de igual forma para esta prueba de granulometría con agregado fino.

Para esta prueba se realizó el mismo procedimiento que la prueba de granulometría del agregado grueso, pero en este caso se utilizó diferentes cribas y se ocupó todo el material que paso la malla No.4 (figura 25 y 26).



Figura 25. Cribas en orden descendente.



Figura 26. Granulometría fina.

Para el análisis granulométrico del agregado fino (figura 27), se realizó con los datos obtenidos durante la prueba y utilizando los mismos cálculos que se ocuparon para la prueba del agregado grueso.

Cálculos y resultados:

Para el cálculo (tablas 18, 19 y 20) y análisis de granulometría se utilizan las siguientes formulas:

$$\% \text{ Ret. total de la muestra} = \frac{(\text{Ret. malla})(100)}{\Sigma w \text{ total de la muestra}}$$

% Ret. total de la muestra: Retenidos por cada malla (g).

Ret. mall: Retenido total por cada muestra (g).

$\Sigma w$  total de la muestra: Peso total de la muestra (g).

$$\% \text{ Acumulado} = (\% \text{ Acumulado de la 1a. muestra}) + (\text{Ret. malla de la 2a. malla})$$

% Acumulado: % Acumulado.

% Acumulado de la 1a. muestra: % Acumulado de la primera muestra.

Ret. malla de la 2a. malla: Retenido de la segunda malla (g).

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \% \text{ Acumulado de cada malla}$$

% Que pasa: % Que pasa.

**Tabla 18. Muestra 1.**

| Muestra 1   |                        |                   |                         |                          |                         |                           |                 |                 |                 |
|-------------|------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| MALLA       | Abertura en milímetros | Peso retenido (g) | Porcentaje retenido (g) | Porcentaje acumulado (%) | Porcentaje que pasa (%) | Peso retenido con la tara | Peso de la tara | Limite superior | Limite inferior |
| 3/8 "       | 9.50                   | 0.00              | 0.00                    | 0.00                     | 100.00                  | 0.00                      | 58.30           | 100             | 100             |
| 4           | 4.75                   | 0.20              | 0.04                    | 0.04                     | 99.96                   | 58.50                     | 58.30           | 100             | 95              |
| 8           | 2.36                   | 93.00             | 18.60                   | 18.64                    | 81.36                   | 151.30                    | 58.30           | 100             | 80              |
| 16          | 1.18                   | 99.10             | 19.82                   | 38.46                    | 61.54                   | 157.40                    | 58.30           | 85              | 50              |
| 30          | 0.60                   | 136.70            | 27.34                   | 65.80                    | 34.20                   | 195.00                    | 58.30           | 60              | 25              |
| 50          | 0.30                   | 52.90             | 10.58                   | 76.38                    | 23.62                   | 111.20                    | 58.30           | 30              | 10              |
| 100         | 0.15                   | 84.40             | 16.88                   | 93.26                    | 6.74                    | 142.70                    | 58.30           | 10              | 2               |
| 200         | 0.08                   | 31.50             | 6.30                    | 99.56                    | 0.44                    | 89.80                     | 58.30           | 0               | 0               |
| Pasa la 200 | 0.00                   | 2.20              | 0.44                    | 100.00                   | 0.00                    | 60.50                     | 58.30           | 0               | 0               |

|                  |        |     |        |
|------------------|--------|-----|--------|
| Peso total       | 500    | 100 | 492.14 |
| Modulo de finura | 2.9258 |     |        |

**Tabla 19. Muestra 2.**

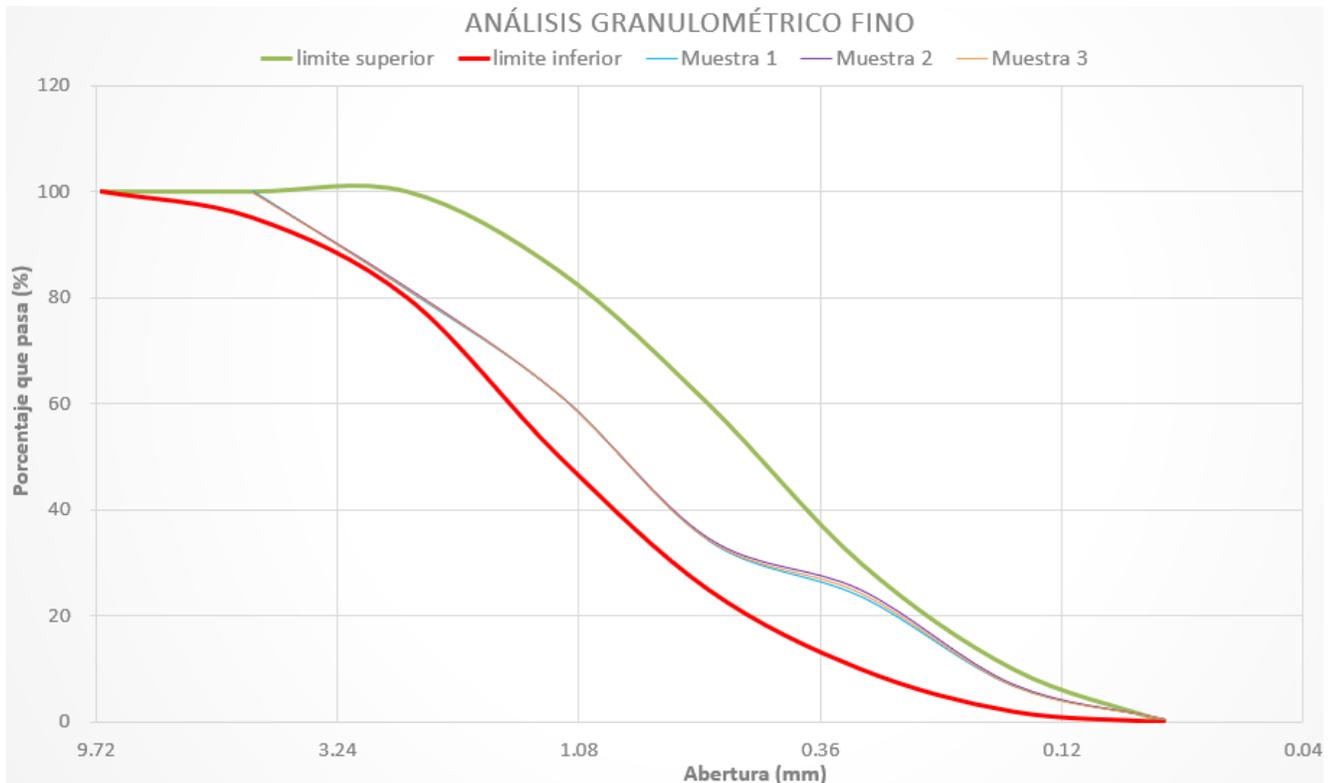
| Muestra 2   |                        |                   |                         |                          |                         |                           |                 |                 |                 |
|-------------|------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| MALLA       | Abertura en milímetros | Peso retenido (g) | Porcentaje retenido (g) | Porcentaje acumulado (%) | Porcentaje que pasa (%) | Peso retenido con la tara | Peso de la tara | Limite superior | Limite inferior |
| 3/8 "       | 9.50                   | 0.00              | 0.00                    | 0.00                     | 100.00                  | 0.00                      | 58.30           | 100             | 100             |
| 4           | 4.75                   | 0.90              | 0.18                    | 0.18                     | 99.82                   | 59.20                     | 58.30           | 100             | 95              |
| 8           | 2.36                   | 89.80             | 17.96                   | 18.14                    | 81.86                   | 148.10                    | 58.30           | 100             | 80              |
| 16          | 1.18                   | 101.30            | 20.26                   | 38.40                    | 61.60                   | 159.60                    | 58.30           | 85              | 50              |
| 30          | 0.60                   | 135.00            | 27.00                   | 65.40                    | 34.60                   | 193.30                    | 58.30           | 60              | 25              |
| 50          | 0.30                   | 48.80             | 9.76                    | 75.16                    | 24.84                   | 107.10                    | 58.30           | 30              | 10              |
| 100         | 0.15                   | 89.20             | 17.84                   | 93.00                    | 7.00                    | 147.50                    | 58.30           | 10              | 2               |
| 200         | 0.08                   | 33.00             | 6.60                    | 99.60                    | 0.40                    | 91.30                     | 58.30           | 0               | 0               |
| PASA LA 200 | 0.00                   | 2.00              | 0.40                    | 100.00                   | 0.00                    | 60.30                     | 58.30           | 0               | 0               |

|                  |        |     |        |
|------------------|--------|-----|--------|
| PESO TOTAL       | 500    | 100 | 489.88 |
| Modulo de finura | 2.9028 |     |        |

**Tabla 20. Muestra 3.**

| Muestra 3   |                        |                   |                         |                          |                         |                           |                 |                 |                 |
|-------------|------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| MALLA       | Abertura en milímetros | Peso retenido (g) | Porcentaje retenido (g) | Porcentaje acumulado (%) | Porcentaje que pasa (%) | Peso retenido con la tara | Peso de la tara | Limite superior | Limite inferior |
| 3/8 "       | 9.50                   | 0.00              | 0.00                    | 0.00                     | 100.00                  | 0.00                      | 58.30           | 100             | 100             |
| 4           | 4.75                   | 0.50              | 0.10                    | 0.10                     | 99.90                   | 58.80                     | 58.30           | 100             | 95              |
| 8           | 2.36                   | 91.00             | 18.20                   | 18.30                    | 81.70                   | 149.30                    | 58.30           | 100             | 80              |
| 16          | 1.18                   | 100.30            | 20.06                   | 38.36                    | 61.64                   | 158.60                    | 58.30           | 85              | 50              |
| 30          | 0.60                   | 136.70            | 27.34                   | 65.70                    | 34.30                   | 195.00                    | 58.30           | 60              | 25              |
| 50          | 0.30                   | 50.40             | 10.08                   | 75.78                    | 24.22                   | 108.70                    | 58.30           | 30              | 10              |
| 100         | 0.15                   | 87.50             | 17.50                   | 93.28                    | 6.72                    | 145.80                    | 58.30           | 10              | 2               |
| 200         | 0.08                   | 31.60             | 6.32                    | 99.60                    | 0.40                    | 89.90                     | 58.30           | 0               | 0               |
| PASA LA 200 | 0.00                   | 2.00              | 0.40                    | 100.00                   | 0.00                    | 60.30                     | 58.30           | 0               | 0               |

|                  |        |     |        |
|------------------|--------|-----|--------|
| PESO TOTAL       | 500    | 100 | 491.12 |
| Modulo de finura | 2.9152 |     |        |



**Figura 26. Análisis granulométrico fina.**

### 3.2.2.1. Módulo de finura

De acuerdo con la norma *NMX-C-111-ONNCCE-2004* el módulo de finura también llamado módulo granulométrico, da una idea del grosor o finura del agregado y se calcula utilizando los resultados que se obtuvieron al realizar la prueba de granulometría fina, donde se sumó los porcentajes retenidos acumulados en los tamices y dividiendo la suma entre 100 (tabla 21) y poder a si ser analizada (figura 27) y donde nos dice que los valores de M.F. de 2.3 a 3.1 son normales para el agregado fino y que en este caso es una arena gruesa.

Cálculos y resultados:

$$M_f = \frac{\Sigma \text{Porc. Acum. (hasta la malla No. 100)}}{100}$$

M<sub>f</sub>: Módulo de finura

Σ Porc. Acum.: Sumatoria de los porcentajes acumulados

Para esto se calculó de igual forma la desviación estándar con la siguiente formula:

Donde:

$$s = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

S: Desviación estándar

X: Valores

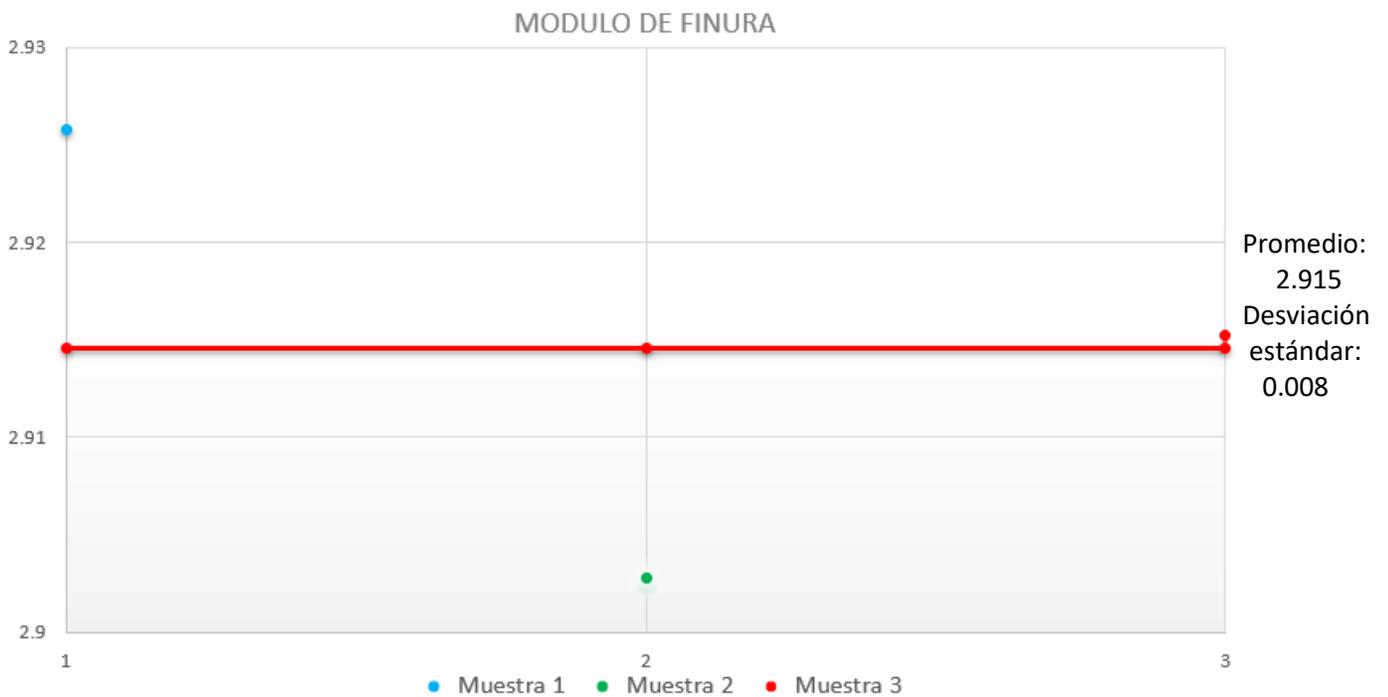
$\bar{X}$  : Media aritmética

n: Numero de valores

**Tabla 21. Módulo de finura y desviación estándar.**

|              | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|
| Mod. Finura  | 2.926     | 2.903     | 2.915     |
| Promedio     | 2.915     |           |           |
| Desv. Estad. | 0.008     |           |           |

| Calculos para la desviacion estandar |              |                              |
|--------------------------------------|--------------|------------------------------|
| X                                    | X- $\bar{X}$ | (X- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup> |
| 2.926                                | 0.01         | 0.00                         |
| 2.903                                | -0.01        | 0.00                         |
| 2.915                                | 0.00         | 0.00                         |
|                                      |              |                              |
| Suma                                 |              | 0.00                         |



**Figura 27. Módulo de finura del agregado fino.**

### 3.3 Peso volumétrico seco suelto

#### 3.3.1 Peso volumétrico seco suelto del agregado grueso

Esta prueba se realizó para definir el concepto del peso volumétrico el cual es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kg/m<sup>3</sup>.

El siguiente equipo para esta práctica que se utilizó fue el siguiente:

- Báscula
- Tara
- Cucharón

Para la prueba se utilizó la norma *NMX-C-073-ONNCCE-2004* en donde se utilizó un agregado máximo de 2", ya que esta prueba es aplicable a aquellos agregados que no excedan de 5 pulg. como tamaño máximo, entonces se tuvo que llenar la tara hasta que pasara sobre el borde sin derramarse por medio de un cucharón, dejando caer el agregado de una altura no mayor de 50 mm sobre el borde del recipiente, distribuyendo uniformemente, para evitar la segregación (figura 28).

El enrase se hizo visualmente y fue acomodado sobre el borde del recipiente, se pesó en la báscula (figura 29).

Cálculos y resultados:

$$PVSS = \frac{W_m - W_t}{V_t}$$

Donde:

PVSS= Peso volumétrico seco suelto, kg/m<sup>3</sup>.

W<sub>m</sub>= Peso de la muestra con la tara, Kg.

W<sub>t</sub>= Peso de la tara, Kg.

V<sub>t</sub>= Volumen de la tara, m<sup>3</sup>.

Para esto se calculó de igual forma la desviación estándar (tabla 22) con la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S: Desviación estándar

X: Valores

$\bar{X}$  : Media aritmética

n: Numero de valores

**Tabla 22. Peso volumétrico seco suelto del agregado grueso y desviación estándar.**

| Muestra | Peso de la muestra con la tara Kg | Peso de la tara kg (T) | Volumen de la tara (V) (m³) | PVSS Kg/m³ |
|---------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------|
| 1       | 16.95                             | 7.2                    | 0.00985                     | 989.848    |
| 2       | 16.9                              | 7.2                    | 0.00985                     | 984.772    |
| 3       | 16.8                              | 7.2                    | 0.00985                     | 974.619    |
| 4       | 16.95                             | 7.2                    | 0.00985                     | 989.848    |
| 5       | 16.85                             | 7.2                    | 0.00985                     | 979.695    |
| 6       | 16.9                              | 7.2                    | 0.00985                     | 984.772    |

|               |         |
|---------------|---------|
| PVSS PROMEDIO | 983.926 |
|---------------|---------|

|              |         |
|--------------|---------|
| Promedio     | 983.926 |
| Desv. Estad. | 2.654   |

| Calculos para la desviacion estandar |               |                   |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| X                                    | $X - \bar{X}$ | $(X - \bar{X})^2$ |
| 989.848                              | 5.92          | 35.07             |
| 984.772                              | 0.85          | 0.72              |
| 974.619                              | -9.31         | 86.61             |
| 989.848                              | 5.92          | 35.07             |
| 979.695                              | -4.23         | 17.89             |
| 984.772                              | 0.85          | 0.72              |
| Suma                                 |               | 176.08            |

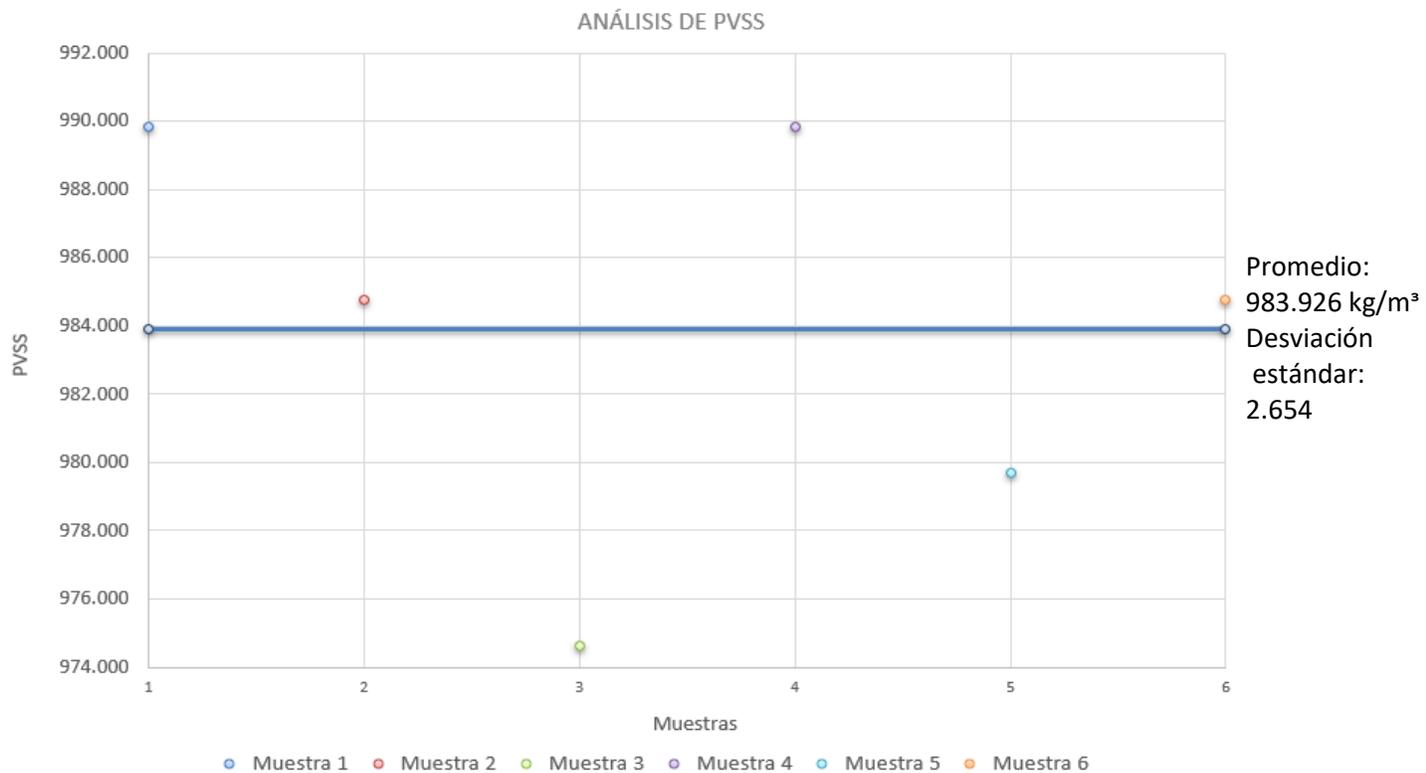


**Figura 28. Llenado del agregado grueso.**



**Figura 29. Peso del agregado grueso.**

Los datos obtenidos fueron calculados en la prueba del peso volumétrico seco suelto del agregado grueso para poder así analizarlo (figura 30).



**Figura 30. Análisis del PVSS.**

### 3.3.2 Peso volumétrico seco suelto del agregado fino

La norma mexicana *NMX-C-073-ONNCEE-2004* se empleó de igual forma para la prueba del peso volumétrico seco suelto del agregado fino donde se ocupó el mismo equipo que se utilizó en la prueba del peso volumétrico seco suelto del agregado grueso más el enrasador, donde lo primero que se hizo es que se vertió la arena en un recipiente desde una altura de 5 cm del borde de la tara, distribuyendo uniformemente, para evitar su segregación (figura 31). Enseguida de que se llenó completamente el recipiente se empezó a enrasar el agregado fino para que tuviera una superficie plana (figura 32).

Después se pesa en la báscula (figura 33).

Para su cálculo del peso volumétrico seco suelto del agregado fino se realizó mediante la misma fórmula que se ocupó para el agregado grueso la cual es:

$$PVSS = \frac{W_m - W_t}{V_t}$$

Donde:

PVSS= Peso volumétrico seco suelto, kg/m<sup>3</sup>.

W<sub>m</sub>= Peso de la muestra con la tara, Kg.

W<sub>t</sub>= Peso de la tara, Kg.

V<sub>t</sub>= Volumen de la tara, m<sup>3</sup>.

Para esto se calculó de igual forma la desviación estándar (tabla 23) con la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S: Desviación estándar

X: Valores

$\bar{X}$  : Media aritmética

n: Numero de valores

**Tabla 23. Peso volumétrico seco suelto del agregado fino y desviación estándar.**

| Muestra | Peso de la muestra con la tara Kg | Peso de la tara kg (T) | Volumen de la tara (V) (m³) | PVSS Kg/m³ |
|---------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------|
| 1       | 16.65                             | 7.2                    | 0.00985                     | 959.391    |
| 2       | 16.65                             | 7.2                    | 0.00985                     | 959.391    |
| 3       | 16.825                            | 7.2                    | 0.00985                     | 977.157    |
| 4       | 16.875                            | 7.2                    | 0.00985                     | 982.234    |
| 5       | 16.925                            | 7.2                    | 0.00985                     | 987.310    |
| 6       | 16.975                            | 7.2                    | 0.00985                     | 992.386    |

|               |         |
|---------------|---------|
| PVSS PROMEDIO | 976.311 |
|---------------|---------|

|              |         |
|--------------|---------|
| Promedio     | 976.311 |
| Desv. Estad. | 6.286   |

| Calculos para la desviacion estandar |               |                   |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| X                                    | $X - \bar{X}$ | $(X - \bar{X})^2$ |
| 959.391                              | -16.92        | 286.30            |
| 959.391                              | -16.92        | 286.30            |
| 977.157                              | 0.85          | 0.72              |
| 982.234                              | 5.92          | 35.07             |
| 987.310                              | 11.00         | 120.96            |
| 992.386                              | 16.07         | 258.39            |
|                                      | Suma          | 987.74            |



**Figura 31. Llenado del agregado fino.**

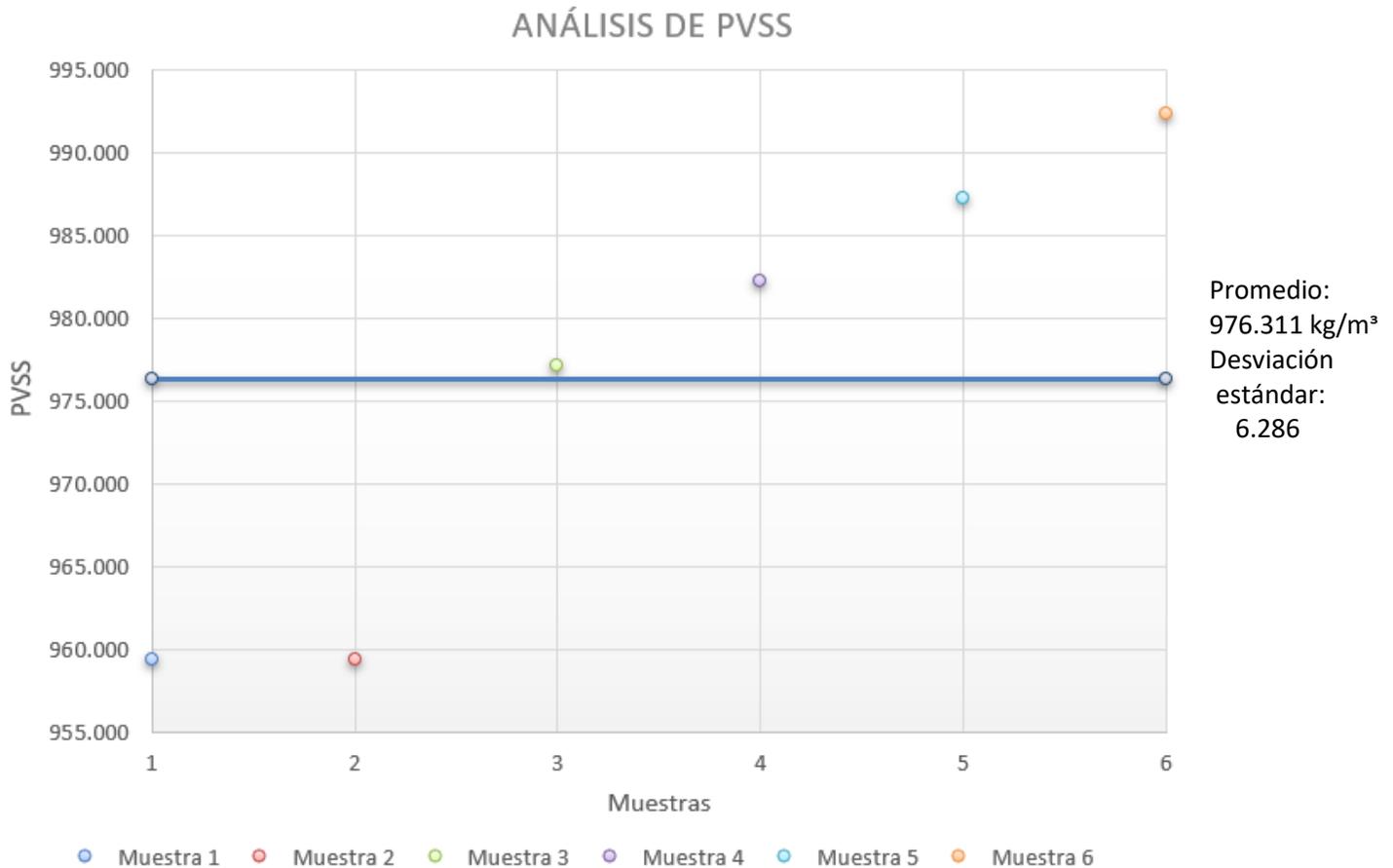


**Figura 32. Enrazado del agregado fino.**



**Figura 33. Peso del material.**

Los datos obtenidos de igual forma se ocuparon para calcular y analizar dicha prueba mediante una gráfica (figura 34).



**Figura 34. Análisis de PVSS.**

### 3.4 Peso volumétrico seco compacto

#### 3.4.1 Peso volumétrico seco compacto del agregado grueso

La norma mexicana *NMX-C-073-ONNCCE-2004* se utiliza en esta prueba, donde para poder realizarla a diferencia del peso volumétrico seco suelto es que el recipiente se llena hasta la tercera parte de su volumen y se compacta con una varilla, dándole 25 penetraciones, distribuyéndolas uniformemente sobre la superficie, con una fuerza tal que no triture las partículas del agregado grueso, después se le agrega el material, pero solo hasta las dos terceras partes de su volumen y nuevamente se compacta con otras 25 penetraciones y por último se llena totalmente hasta que el material del agregado sobrepase su borde superior del recipiente, donde se vuelve a compactar con 25 penetraciones, de acuerdo como se describió anteriormente (figura 35).

Para enrasar el agregado grueso se realiza visualmente, es decir; quitando y poniendo los agregados de manera que compensen los vacíos que queden por arriba de él.

Se pesa en la báscula (figura 36).

Su cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$PVSC = \frac{W_m - W_t}{V_t}$$

Donde:

PVSC= Peso volumétrico seco compacto, kg/m<sup>3</sup>.

W<sub>m</sub>= Peso de la muestra con la tara, Kg.

W<sub>t</sub>= Peso de la tara, Kg.

V<sub>t</sub>= Volumen de la tara, m<sup>3</sup>.

Para esto se calculó de igual forma la desviación estándar (tabla 24) con la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S: Desviación estándar

X: Valores

$\bar{X}$  : Media aritmética

n: Numero de valores

**Tabla 24. Peso volumétrico seco compacto del agregado grueso y desviación estándar.**

| Muestra | Peso de la muestra con la tara Kg | Peso de la tara kg (T) | Volumen de la tara (V) (m³) | PVSC Kg/m³ |
|---------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------|
| 1       | 17.1                              | 7.2                    | 0.00985                     | 1005.076   |
| 2       | 17.1                              | 7.2                    | 0.00985                     | 1005.076   |
| 3       | 17.05                             | 7.2                    | 0.00985                     | 1000.000   |
| 4       | 17.05                             | 7.2                    | 0.00985                     | 1000.000   |
| 5       | 17.1                              | 7.2                    | 0.00985                     | 1005.076   |
| 6       | 17.05                             | 7.2                    | 0.00985                     | 1000.000   |

|               |          |
|---------------|----------|
| PVSC PROMEDIO | 1002.538 |
|---------------|----------|

|              |          |
|--------------|----------|
| Promedio     | 1002.538 |
| Desv. Estad. | 1.243    |

| Calculos para la desviacion estandar |              |                              |
|--------------------------------------|--------------|------------------------------|
| X                                    | X- $\bar{X}$ | (X- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup> |
| 1005.076                             | 2.54         | 6.44                         |
| 1005.076                             | 2.54         | 6.44                         |
| 1000.000                             | -2.54        | 6.44                         |
| 1000.000                             | -2.54        | 6.44                         |
| 1005.076                             | 2.54         | 6.44                         |
| 1000.000                             | -2.54        | 6.44                         |

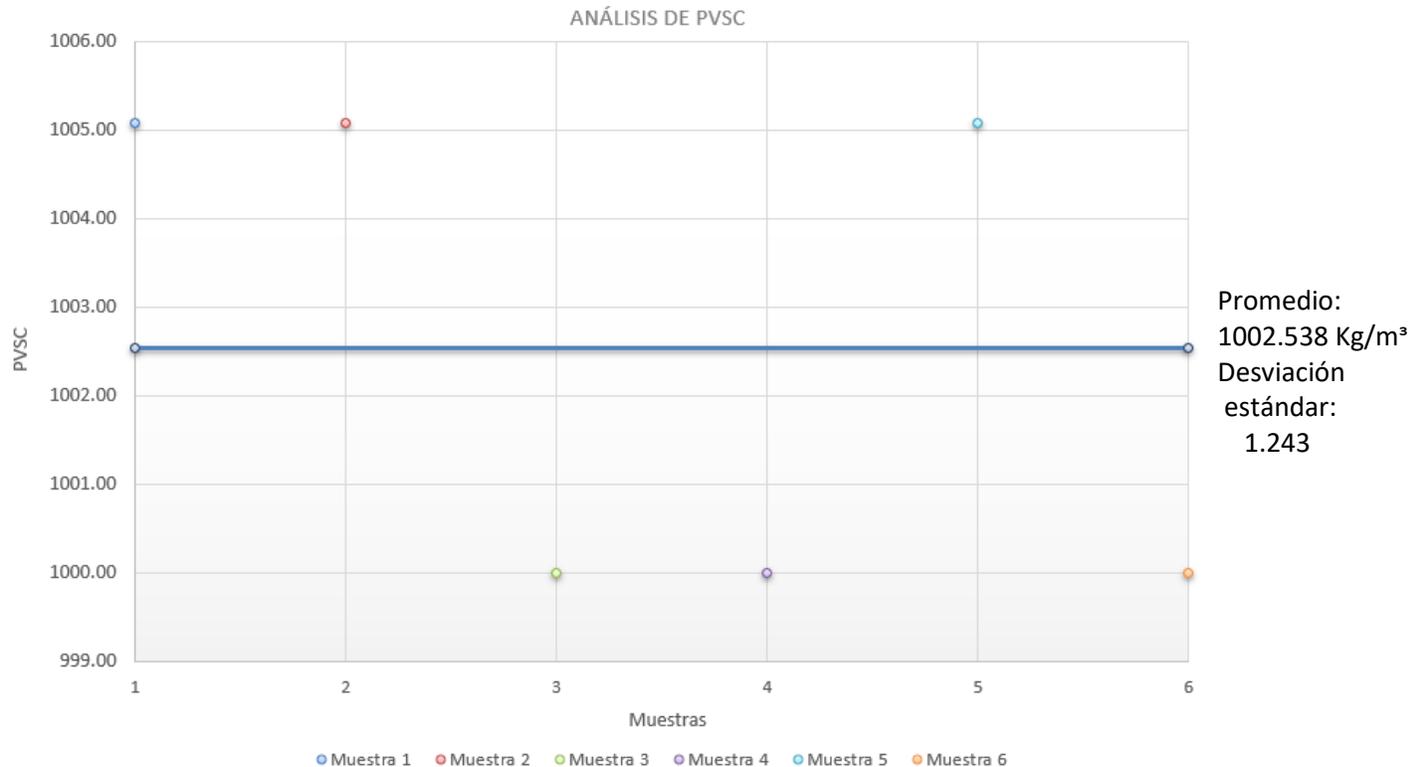


**Figura 35. Penetraciones del agregado grueso.**



**Figura 36. Peso del agregado grueso.**

Los datos obtenidos y calculados de igual forma que en la prueba del peso volumétrico seco suelto, se ocuparon para analizar dicha prueba (gráfica 37).



**Figura 37. Análisis de PVSC.**

### 3.4.2. Peso volumétrico seco compacto del agregado fino

De igual forma para esta prueba se utilizó la norma mexicana *NMX-C-073-ONNCCE-2004*.

Para realizar esta prueba se realizó el mismo procedimiento que el del peso volumétrico seco compacto del agregado grueso dándole las 25 penetraciones (figura 38).

La diferencia aquí es que para la prueba del peso volumétrico seco compacto del agregado fino se enrasa (figura 39).

Se pesa en la báscula (figura 40).

Su cálculo se realiza mediante la misma fórmula del peso volumétrico seco compacto del agregado grueso la cual es:

$$PVSC = \frac{W_m - W_t}{V_t}$$

Donde:

PVSC= Peso volumétrico seco compacto, Kg/m<sup>3</sup>.

Wm= Peso de la muestra con la tara, Kg.

Wt= Peso de la tara, Kg.

Vt= Volumen de la tara, m<sup>3</sup>.

Para esto se calculó de igual forma la desviación estándar (tabla 25) con la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S: Desviación estándar

X: Valores

$\bar{X}$  : Media aritmética

n: Numero de valores

**25. Peso volumétrico seco compacto del agregado fino y desviación estándar.**

| Muestra | Peso de la muestra con la tara Kg | Peso de la tara kg (T) | Volumen de la tara (V) (m³) | PVSC Kg/m³ |
|---------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------|
| 1       | 16.85                             | 7.2                    | 0.00985                     | 979.695    |
| 2       | 17.05                             | 7.2                    | 0.00985                     | 1000.000   |
| 3       | 17.05                             | 7.2                    | 0.00985                     | 1000.000   |
| 4       | 17.05                             | 7.2                    | 0.00985                     | 1000.000   |
| 5       | 17.05                             | 7.2                    | 0.00985                     | 1000.000   |
| 6       | 17.05                             | 7.2                    | 0.00985                     | 1000.000   |

|               |         |
|---------------|---------|
| PVSC PROMEDIO | 996.616 |
|---------------|---------|

|              |         |
|--------------|---------|
| Promedio     | 996.616 |
| Desv. Estad. | 3.707   |

| Calculos para la desviacion estandar |               |                   |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| X                                    | $X - \bar{X}$ | $(X - \bar{X})^2$ |
| 979.695                              | -16.92        | 286.30            |
| 1000.000                             | 3.38          | 11.45             |
| 1000.000                             | 3.38          | 11.45             |
| 1000.000                             | 3.38          | 11.45             |
| 1000.000                             | 3.38          | 11.45             |
| 1000.000                             | 3.38          | 11.45             |



**Figura 38. Penetraciones del agregado fino.**

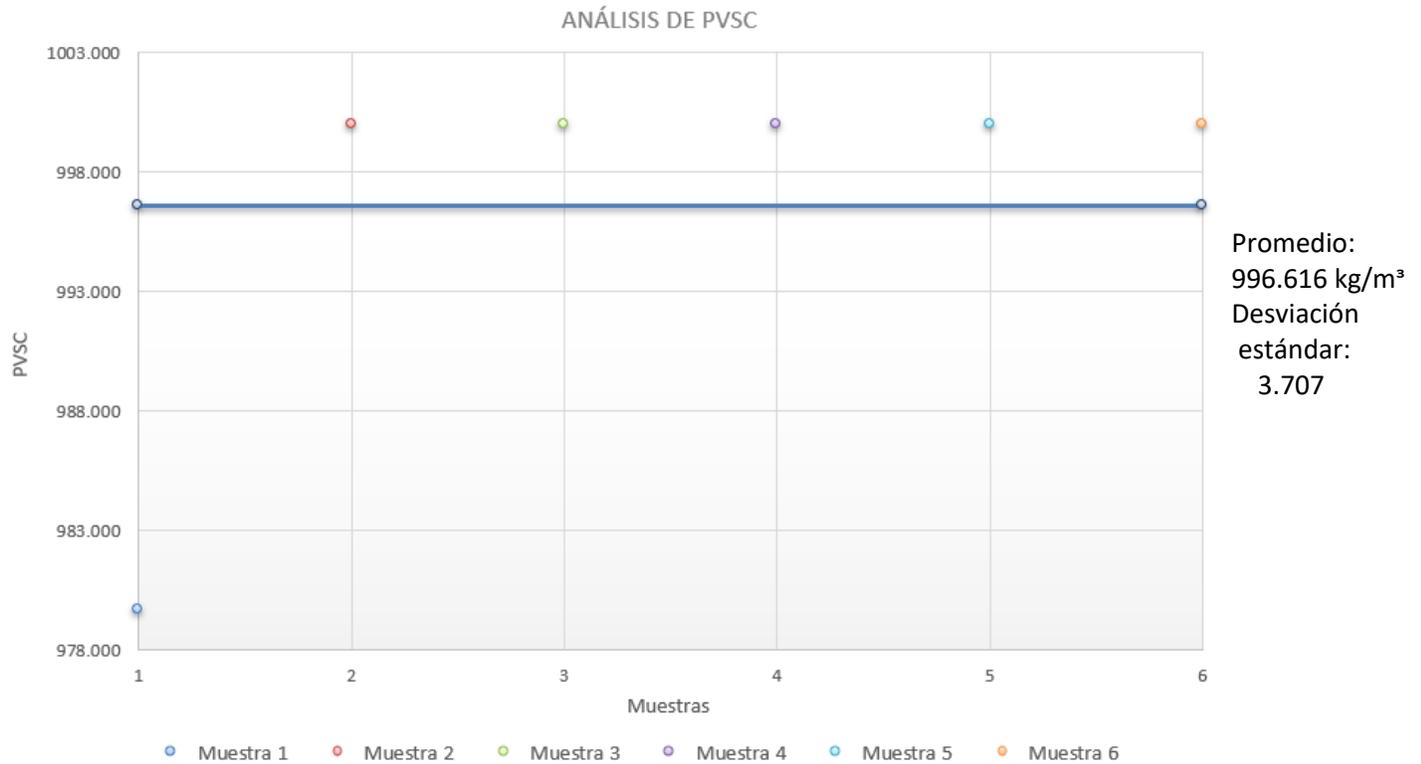


**Figura 39. Enrazado del agregado fino.**



**Figura 40. Peso del agregado fino.**

Los datos obtenidos y calculados de igual forma que en la prueba del peso volumétrico seco compacto del agregado grueso, se ocuparon para analizar el peso volumétrico seco compacto del agregado fino mediante una gráfica (figura 41).



**Figura 41. Análisis de PVSC.**

## **3.5 Densidad relativa**

### **3.5.1 Densidad relativa del agregado grueso**

Esta norma mexicana *NMX-C-164-ONNCCE-2014* establece el método de ensayo para la determinación de la densidad del agregado grueso.

Donde indica que la densidad del agregado saturado y superficialmente seco (Dagsss) es la relación de la densidad del agregado saturado y superficialmente seco a la densidad del agua, equivalente a la relación de la masa del agregado saturado superficialmente seco a la masa del volumen del agua desalojada, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas y la masa de las partículas de agua que se incluyen en los poros que se encuentran dentro de las mismas, de igual forma la densidad relativa del agregado seco (Drs) es la relación de la densidad de la masa del agregado seco a la densidad del agua, equivalente a la relación de la masa del agregado seco a la masa del volumen del agua desalojado, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas y la masa de las partículas de agua que se incluyen en los poros que se encuentran en las mismas.

Para la elaboración de esta prueba lo primero que se realizó fue pesar dos kilos de agregado grueso y enseguida se lavó el material y se dejó saturando por  $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ .

Al día siguiente, se tomó una muestra secándola parcialmente con una franela húmeda (figura 42) hasta eliminar el agua en su superficie. Se tuvo en cuenta que las partículas se secaron por separado. Cuando las partículas tuvieron un color mate es porque ya está en la condición saturada y superficialmente seca.

Con la balanza debidamente calibrada se pesó la muestra para averiguar su masa en esta condición alcanzando un aproximado de 500 g.

Después se tomó una probeta donde se le agregó 600 ml de agua, posteriormente se le agregó el agregado grueso (piedra por piedra) sin que se perdiera el contenido del agua de la probeta, se agitó la probeta para acomodar el material y se dejó reposar en una superficie plana para ver hasta qué nivel subió el agua. (figura 43 y 44).

En este caso este procedimiento se realizó para dos muestras.



**Figura 42. Secado del agregado grueso.**



**Figura 43. Probeta con 600 ml de agua**



**Figura 44. Probeta con agregado grueso.**

Para la tercera muestra fue diferente procedimiento ya que en este caso se utilizó un picnómetro tipo sifón, donde fue limpiado y se puso en un lugar plano, se llenó de agua y se le colocó una probeta a lado para que se vaciara el agua y que quedara a nivel el agua dentro del sifón, enseguida se repite el proceso de secado del material para luego ser agregado dentro del picnómetro, colocando una probeta totalmente vacía a lado del sifón para captar el agua desalojada cada vez que se agregue una pieza del material agregar el material hasta añadirle aproximadamente ½ Kg de agregado grueso (figura 45) y esperar hasta que la última gota sea derramada en la probeta y poder colocarla en una superficie plana y poder tomar la lectura del agua. Para calcular estos procedimientos se realizó mediante la siguiente formula:

$$Dr_{sss} = \frac{M_{agsss}}{M_a}$$

Donde:

$Dr_{sss}$ : Es la densidad relativa saturada y superficialmente seca (adimensional)

$M_{agsss}$ : Es la masa de la muestra sss en aire, en kg.

$M_a$ : Es la masa del agua desalojada a razón de 1 dm<sup>3</sup> por Kg.

$$Dr_s = \sqrt{\frac{(M_{s1})(D_{sss1}) + (M_{s2})(D_{sss2}) + \dots + (M_{sn})(D_{sss n})}{M_{ts}}}$$

Donde:

Drs: Densidad relativa seca (adimensional).

Ms1, Ms2, ...Msn: Masas secas parciales, en Kg.

Drsss1, Drsss2, .... Drsssn: Densidades relativas secas determinadas en cada una de las fracciones (adimensional).

Mts: Masa seca total, en Kg.

Para esto se calculó de igual forma la desviación estándar (tabla 26) con la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S: Desviación estándar

X: Valores

$\bar{X}$ : Media aritmética

n: Numero de valores

**26. Densidad relativa del agregado grueso y desviación estándar.**

|  | Densidad la grava |           |           |           |
|--|-------------------|-----------|-----------|-----------|
|  |                   | muestra 1 | muestra 2 | muestra 3 |
| Masa de la muestra sss en aire                     | MagSSS            | 436.700   | 489.800   | 434.000   |
| Masa del Agua Desalojada                           | Ma                | 165.000   | 190.000   | 165.000   |
| Densidad relativa saturada y superficialmente seca | Drsss             | 2.647     | 2.578     | 2.630     |
| Material seco                                      | Ms                | 432.370   | 485.200   | 431.600   |

| Muestras     | 1     | 2     | 3     |
|--------------|-------|-------|-------|
| Drsss.       | 2.647 | 2.578 | 2.630 |
| Promedio     | 2.618 |       |       |
| Desv. Estad. | 0.025 |       |       |

| Calculos para la desviacion estandar |              |                              |
|--------------------------------------|--------------|------------------------------|
| X                                    | X- $\bar{X}$ | (X- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup> |
| 2.647                                | 0.03         | 0.00                         |
| 2.578                                | -0.04        | 0.00                         |
| 2.630                                | 0.01         | 0.00                         |
| Suma                                 |              | 0.00                         |

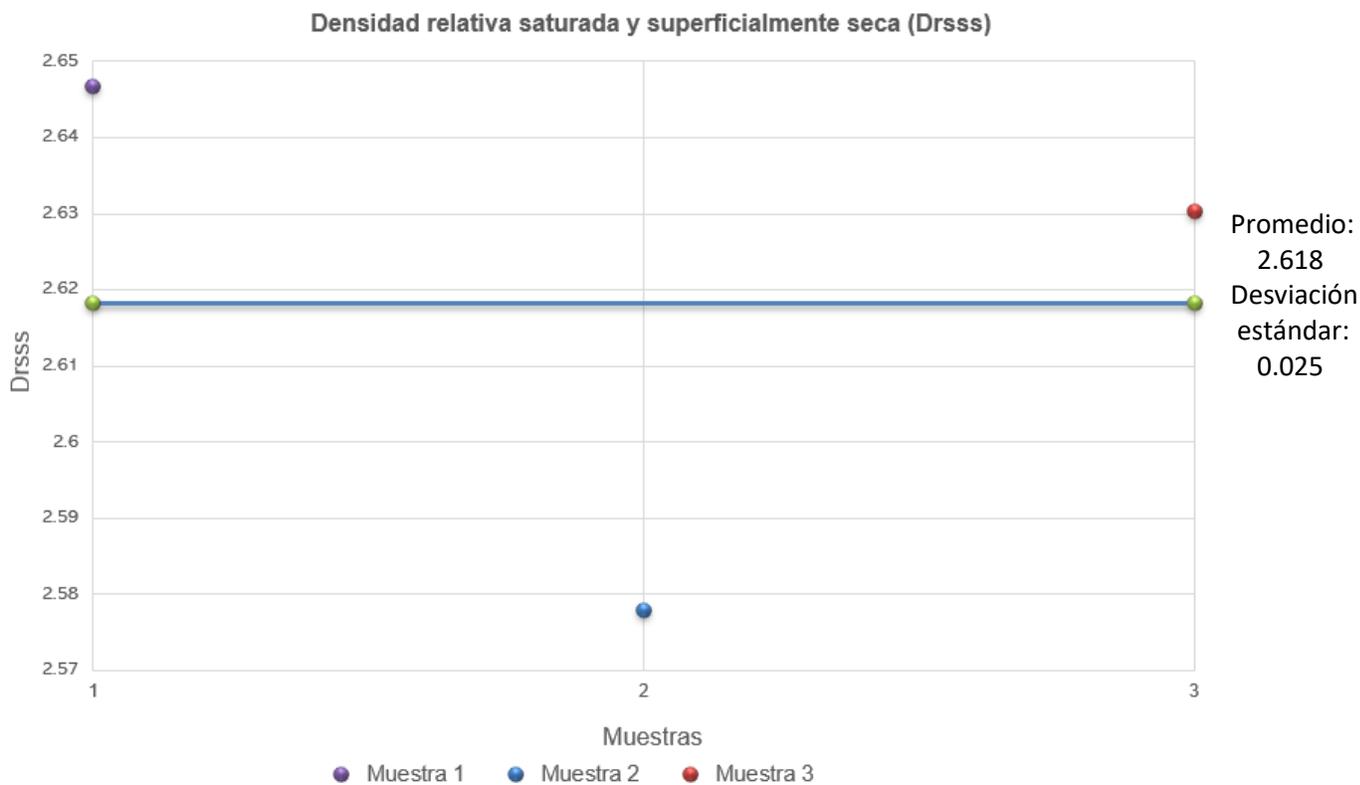
|  |           |          |          |          |
|--|-----------|----------|----------|----------|
| Densidad relativa saturada y superficialmente seca | Drsss     | 2.647    | 2.578    | 2.630    |
|  | Ms *Drsss | 1144.339 | 1250.795 | 1135.239 |

|                                       |     |          |
|---------------------------------------|-----|----------|
| Masa seca total, en Kg.               | Mts | 1349.170 |
| Densidad relativa seca (adimensional) | Drs | 1.618    |



**Figura 45. Picnómetro tipo sifón vertiendo agua en la probeta.**

Los resultados obtenidos en esta prueba son calculados para poder analizarlos mediante una gráfica (figura 46).



**Figura 46. Análisis de Drsss del agregado grueso.**

### 3.5.1 Densidad relativa del agregado fino

Esta norma mexicana *NMX-C-165-ONNCCE-2014* establece el método de ensayo para la determinación de la densidad del agregado fino.

En donde especifica que la densidad relativa aparente saturada y superficialmente seca ( $D_{r_{ss}}$ ) es la relación de la densidad del agregado saturado y superficialmente seco a la densidad del agua, equivalente a la relación de la masa del agregado saturado superficialmente seco a la masa del volumen del agua desalojada, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas y la masa de las partículas de agua que se incluyen en los poros que se encuentran dentro de las mismas, donde de igual manera la densidad relativa aparente seca ( $D_{rs}$ ) es la relación de la densidad de la masa del agregado seco a la densidad del agua, equivalente a la relación de la masa del agregado seco a la masa del volumen del agua desalojado, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas y la masa de las partículas de agua que se incluyen en los poros que se encuentran en las mismas.

Para esta prueba se lavó 2 Kg. de agregado fino hasta que no tuviera un exceso de materia orgánica y luego se dejó saturando por  $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ .

Después de las 24 h. que se dejó remojar en agua el agregado fino, se sacó el frasco chapman se pesó y se anotó el resultado de su peso (ver figura 47), entonces se llenó a 450 ml. el frasco chapman, se pesó nuevamente y se anotó enseguida su peso.

Entonces ya tomado el peso se le retiró agua dejándolo con 200 ml.

Después se tomó una muestra representativa de 600 a 700 g. del agregado fino del material que fue remojado previamente. Se expandió sobre una charola y se puso a fuego lento (ver figura 48) hasta encontrar el punto de humedad óptimo necesario para tener un nivel de secado superficialmente, después se retira del fuego y se enfría manualmente, luego se introdujo la muestra en un molde cónico (ver figura 49), se apisona 25 veces dejando caer el pisón desde una altura aproximada de 1 cm, posteriormente se nivela y si al quitar el molde la muestra se deja caer es porque no existe humedad, si es lo contrario se sigue secando y se repite el proceso hasta que cumpla con la condición (figura 50). Cuando al levantar el cono se pierde parte de la forma se ha encontrado su condición de saturada con superficie seca.

En ese momento se pesan 200 g. de esa muestra y se coloca a un lado y se vuelve a pesar 200 g., enseguida son añadidos al frasco los 200 g. del agregado fino con ayuda de un embudo y se aforo a 450 ml y se pesó (figura 51 y 52).

Después se colocó dentro de una cubeta de agua y se midió la temperatura del frasco y el agua de la cubeta, cuando ya se hayan encontrado a temperaturas iguales se sacó, se secó y se pesó.

Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula (Tabla 27):

$$Dr_{sss} = \frac{M_{sss}}{M_{pa} + M_{sss} - M_{pma}}$$

Donde:

Dr<sub>sss</sub>: Es la densidad relativa aparente saturada y superficialmente seca (adimensional)

M<sub>pa</sub>: Es la masa del picnómetro lleno de agua, en g.

M<sub>sss</sub>: Es la masa de la muestra saturada y superficialmente seca, en g.

M<sub>pma</sub>: Es la masa del picnómetro, muestra y agua hasta nivel de aforo, en g.

$$Dr_s = \frac{Dr_{sss}}{1 + \frac{A}{100}}$$

Donde:

Dr<sub>s</sub>: Es la densidad relativa aparente seca (adimensional).

Dr<sub>sss</sub>: Es la densidad relativa aparente saturada y superficialmente seca (adimensional).

A: Es la absorción, en %.

Para esto se calculó de igual forma la desviación estándar (Tabla 27) con la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S: Desviación estándar

X: Valores

$\bar{X}$  : Media aritmética

n: Numero de valores

**27. Densidad relativa del agregado fino y desviación estándar.**

|  |                             | Densidad de la arena |           |           |
|--|-----------------------------|----------------------|-----------|-----------|
|  |                             | muestra 1            | muestra 2 | muestra 3 |
| Masa de la muestra saturada y superficialmente seca, en g.                 | M <sub>ss</sub>             | 200.000              | 200.000   | 200.000   |
| Masa del picnometro lleno de agua, en g.                                   | M <sub>pa</sub>             | 708.960              | 703.840   | 704.570   |
| Masa del picnometro, muestra y agua hasta nivel de aforo, en g.            | M <sub>pma</sub>            | 831.950              | 827.480   | 828.120   |
| Densidad relativa aparente saturada y superficialmente seca (adimensional) | D <sub>r<sub>ss</sub></sub> | 2.597                | 2.619     | 2.616     |
| Absorción  | A                           | 1.766                | 1.874     | 1.963     |
| Densidad relativa aparente seca (adimensional)                             | D <sub>r<sub>s</sub></sub>  | 2.552                | 2.571     | 2.566     |

| Muestras                      | 1     | 2     | 3     |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| D <sub>r<sub>ss</sub></sub> . | 2.597 | 2.619 | 2.616 |
| Promedio                      | 2.611 |       |       |
| Desv. Estad.                  | 0.008 |       |       |

| Calculos para la desviacion estandar |               |                   |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| X                                    | $X - \bar{X}$ | $(X - \bar{X})^2$ |
| 2.597                                | -0.01         | 0.00              |
| 2.619                                | 0.01          | 0.00              |
| 2.616                                | 0.01          | 0.00              |
|                                      | Suma          | 0.00              |



**Figura 47. Peso del frasco chapman.**



**Figura 48. Secado del agregado fino.**



**Figura 49. Molde con arena.**



**Figura 50. Arena que tiene grado superficialmente seco.**

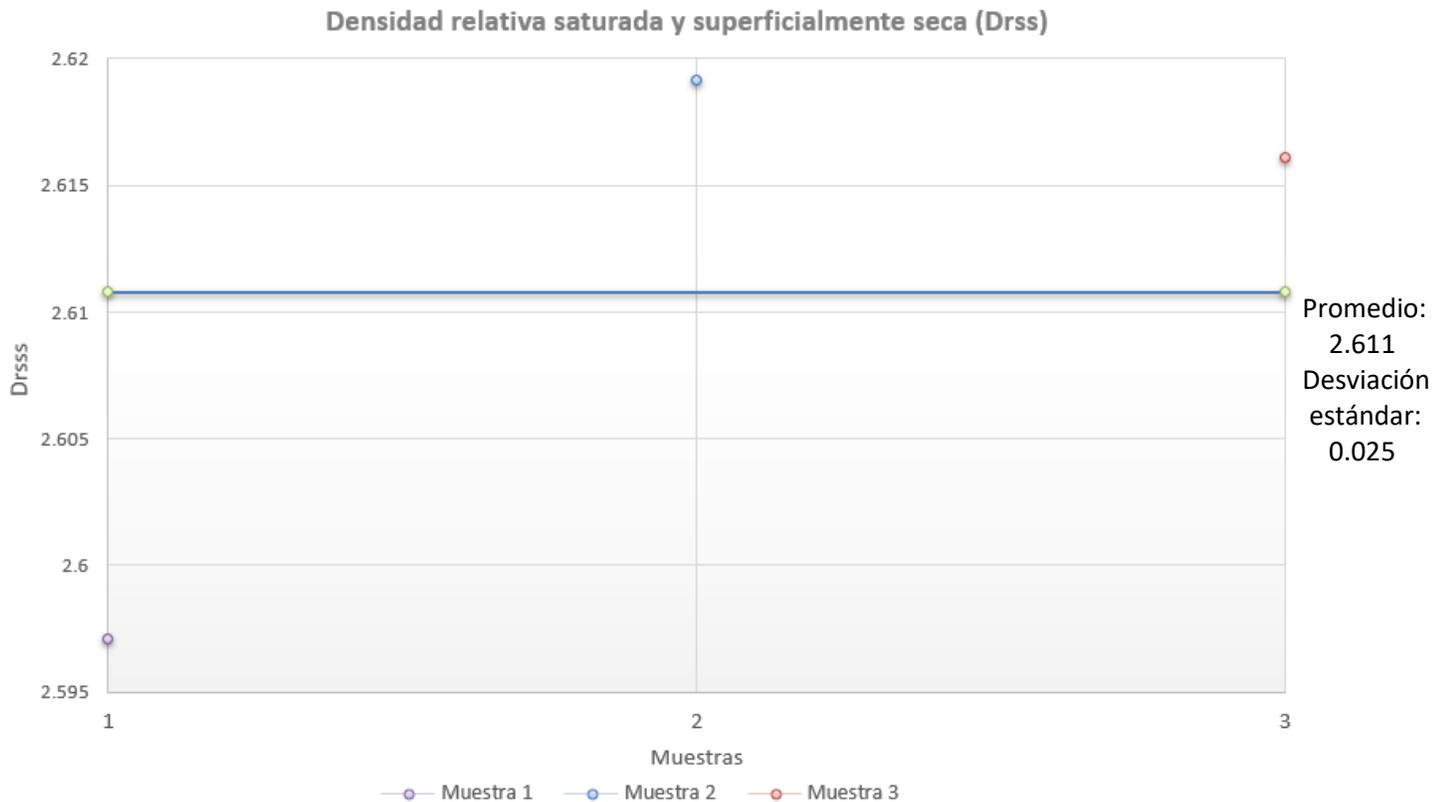


**Figura 51. Vertido del agregado fino.**



**Figura 52. Peso del frasco chapman con agregado fino y agua.**

Los resultados obtenidos de esta prueba son calculados y analizados para obtener un análisis de la densidad relativa saturada y superficialmente seca del agregado fino (figura 53).



**Figura 53. Análisis de Drsss del agregado fino.**

### 3.6 Absorción

#### 3.6.1 Absorción del agregado grueso

En esta prueba se utilizó la norma mexicana NMX-C-164-ONNCCE-2014 para la absorción del agregado grueso, en el cual señala que la absorción es el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante un tiempo determinado a temperatura ambiente; este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas. Se expresa como por ciento de la masa seca (y es índice de porosidad del material). El equipo utilizado en esta prueba son los siguientes:

- Balanza
- Parrilla
- Vidrio de reloj
- Cuchara de albañil

Para la prueba de absorción se retira el agua de la muestra que se encuentra en la probeta o sifón y se coloca en una charola la cual es llevada a fuego lento en una parrilla (figura 54) en donde se movió con una cuchara de albañil y se corrobora con el vidrio de reloj que no tenga contenido de humedad, se deja secar para luego ser nuevamente pesado.

Cálculos y resultados:

El resultado de la absorción se calculó mediante la siguiente fórmula (tabla 28):

$$A_{ag} = \frac{Mag_{SSS} - MS}{MS} \times 100$$

Donde:

A<sub>ag</sub>: Es la absorción expresada en %.

Mag<sub>SSS</sub>: Es la masa de la muestra sss en aire, en Kg.

MS: Es la masa de la muestra seca, en Kg.

Para esto se calculó de igual forma la desviación estándar (tabla 28) con la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S: Desviación estándar

X: Valores

$\bar{X}$  : Media aritmética

n: Numero de valores

**Tabla 28. Absorción del agregado grueso y desviación estándar.**

|                                |        | Absorción de la grava |           |           |
|--------------------------------|--------|-----------------------|-----------|-----------|
|                                |        | muestra 1             | muestra 2 | muestra 3 |
| Masa de la muestra sss en aire | MagSSS | 436.700               | 489.800   | 434.000   |
| Masa del Agua Desalojada       | Ma     | 165.000               | 190.000   | 165.000   |
| Absorción                      |        | 1.001                 | 0.948     | 0.556     |
| Material seco                  | Ms     | 432.370               | 485.200   | 431.600   |
|                                |        |                       |           |           |

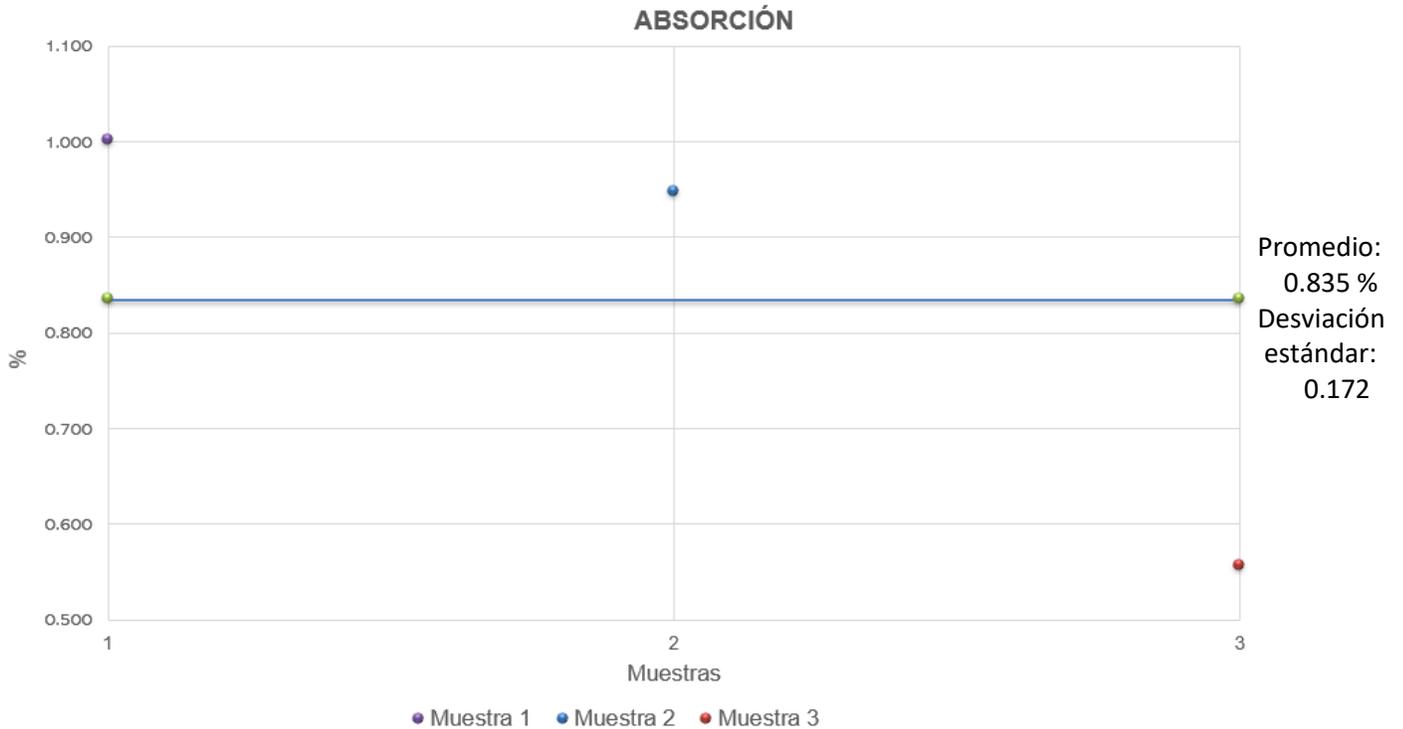
| Muestras     | 1     | 2     | 3     |
|--------------|-------|-------|-------|
| Absorción %  | 1.001 | 0.948 | 0.556 |
| Promedio     | 0.835 |       |       |
| Desv. Estad. | 0.172 |       |       |

| Calculos para la desviación estándar |               |                   |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| X                                    | $X - \bar{X}$ | $(X - \bar{X})^2$ |
| 1.001                                | 0.17          | 0.03              |
| 0.948                                | 0.11          | 0.01              |
| 0.556                                | -0.28         | 0.08              |
|                                      | Suma          | 0.12              |



**Figura 54. Secado del agregado grueso**

Los cálculos obtenidos en esta prueba son calculadas y analizadas mediante una gráfica donde es expresado como un porcentaje de la masa seca (figura 55).



**Figura 55. % De absorción del agregado grueso.**

### 3.6.2 Absorción del agregado fino

Esta norma mexicana *NMX-C-165-ONNCCE-2014* establece el método de ensayo para la determinación de la absorción del agregado fino, donde se utilizó el mismo equipo que la prueba de absorción del agregado grueso, a diferencia que este utilizó los 200 g. de material que se habían separado en la prueba de su densidad.

Estos 200 g. se empezó a secar a fuego lento con una parrilla (figura 56) y mediante el vidrio de reloj se observó si tenía contenido de humedad, después se dejó enfriar y se pesó (figura 57).



**Figura 56. Peso del agregado fino.**



**Figura 57. Peso del agregado fino.**

Para analizar los resultados de porcentajes de absorción de los agregados finos como se realizó en el porcentaje de agregados gruesos se analiza mediante una gráfica (figura 58) donde el resultado es expresado como un porcentaje de la masa seca.

Cálculos y resultados:

El resultado de la absorción se calculó (Tabla 29) mediante la siguiente formula:

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100$$

Donde:

A: Es la absorción, en %

M<sub>sss</sub>: Es la masa de la muestra saturada y superficialmente seca, en g.

M<sub>s</sub>: Es la masa de la muestra seca, en g.

Para esto se calculó de igual forma la desviación estándar (Tabla 29) con la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S: Desviación estándar

X: Valores

$\bar{X}$  : Media aritmética

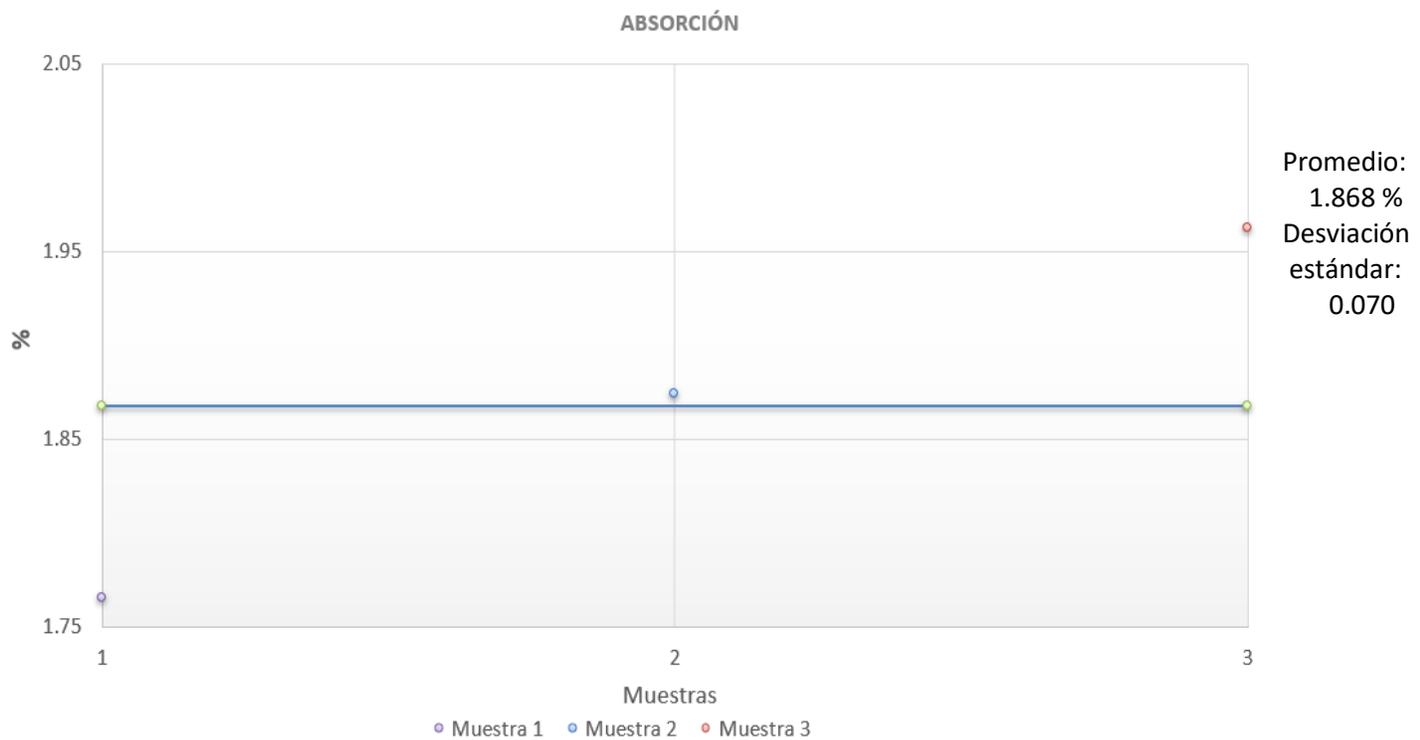
n: Numero de valor

|  |                 | Absorción de la arena |           |           |
|--|-----------------|-----------------------|-----------|-----------|
|  |                 | muestra 1             | muestra 2 | muestra 3 |
| Masa de la muestra saturada y superficialmente seca, en g. | M <sub>ss</sub> | 200.00                | 200.00    | 200.00    |
| Absorción  |                 | 1.766                 | 1.874     | 1.963     |
| Material seco  | M <sub>s</sub>  | 196.530               | 196.32    | 196.15    |
|  |                 |                       |           |           |

| Muestras     | 1     | 2     | 3     |
|--------------|-------|-------|-------|
| Absorción %  | 1.766 | 1.874 | 1.963 |
| Promedio     | 1.868 |       |       |
| Desv. Estad. | 0.070 |       |       |

| Calculos para la desviación estándar |              |                              |
|--------------------------------------|--------------|------------------------------|
| X                                    | X- $\bar{X}$ | (X- $\bar{X}$ ) <sup>2</sup> |
| 1.766                                | -0.10        | 0.01                         |
| 1.874                                | 0.01         | 0.00                         |
| 1.963                                | 0.10         | 0.01                         |
|                                      | Suma         | 0.02                         |

**Tabla 29. Absorción del agregado fino y desviación estándar**



**Figura 58. % De absorción del agregado fino.**

### 3.7 Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino

De acuerdo con la norma NMX-C-088-1997-ONNCCE establece el método de prueba para la determinación aproximada de la presencia de materia orgánica dañina en agregados finos que se usan para la fabricación de morteros o concretos de cemento hidráulico. Esta prueba es un índice de contaminación y proporciona en su caso, una advertencia de que es necesario efectuar otras pruebas antes de su utilización.

Para esta prueba realizaron tres muestras, donde se utilizó una masa de 09 g. de cloruro férrico cristalizado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) y se disuelve en 100  $\text{cm}^3$  (ml) de agua destilada, a la que se haya agregado 1/3 de  $\text{cm}^3$  (ml) (7 gotas) de ácido clorhídrico concentrado (masa específica = 1.18). Esta mezcla se guardó en un frasco incoloro, herméticamente tapado, donde se utiliza como patrón para la determinación de color.

En las tres muestras se introduce la muestra seca de agregado fino en la botella de vidrio en forma de biberón hasta la marca de 130  $\text{cm}^3$  (ml). Se agrega la solución al 3% de hidróxido de sodio hasta que el volumen del agregado y de solución se aproxime a 200  $\text{cm}^3$  (ml).

Se tapa la botella y se deja reposar durante 24 h. después de ese tiempo de reposo, se determina el color de la solución que queda sobre el agregado, como sigue:

La determinación del color se realiza de acuerdo con los métodos A ó B:

- (A) El color del líquido que queda sobre la muestra debe compararse con la solución normalizada que se tiene en el frasco y se anota si es más clara, igual o más oscura que la solución normalizada. La comparación del color puede hacerse colocando juntas las dos botellas y viendo a través de ellas. Un aditamento adecuado para esta comparación puede ser una caja, sin tapa con su cara anterior abierta y con un vidrio esmerilado en su cara posterior; en esta caja pueden colocarse los dos frascos, uno con la muestra y otro con el color normalizado. Colocando esta caja frente a una luz blanca, es fácil comparar los colores.
- (B) Para definir con mayor aproximación la coloración del líquido de la muestra de prueba al final del tiempo de reposo (24 h.), se compara con la tabla de colores patrón o con el juego de vidrios con coloraciones patrón, señalando entre cuales de ellas se encuentra o con cual coincide.

Para el método A se utilizó solamente para la primera muestra donde se obtuvo que el líquido que está sobre el agregado es más claro (no hay materia orgánica), que el color del frasco con los reactivos utilizado como patrón (figura 59 y 60).



**Figura 59. Frasco con reactivos utilizado como patrón.**



**Figura 60. Comparación del patrón con muestra.**

Para las dos muestras siguientes se utilizó la tabla de colores donde se obtuvo que la arena está igual libre de materia orgánica, ya que el agua que está por arriba del agregado fino está más clara que el color estandarizado que tiene la tabla de colores para material fuera de materia orgánica. (figura 61).



Figura 61. Comparación del patrón con tabla de colores.

### 3.8 Prueba de desgaste de los ángeles

De acuerdo con la norma NMX-C-196-ONNCCE-2008 verificaremos el objetivo de esta prueba la cual es determinar la resistencia al desgaste y trituración de materiales pétreos empleados mediante el impacto y abrasión que produce un número especificado de esferas. La prueba de abrasión de desgaste (máquina de los ángeles) (figura 62), está limitada para materiales con masa volumétrica seca suelta mayor a  $1100 \text{ km/m}^3$ .

Para la esta práctica se utilizó el siguiente equipo:

- Cribas
- Esferas de acero
- Máquina de los ángeles
- Bascula
- Charolas

El equipo para la ejecución de la prueba consta de buenas condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes, su procedimiento de la prueba es:

- 1) Se ocupó material de agregado grueso que en este caso fueron 2287.5 g que paso la malla No.  $\frac{1}{2}$ " y 2287.5 g que paso la malla No.  $\frac{3}{8}$ " que da un resultado de un material de 4575 g.

- 2) Una vez separado y clasificado el material de la muestra, de la tabla 30, se elige el tipo de composición que se utilizará para integrar la muestra de prueba, que mejor se asemeje a las características obtenidas como se indican en el inciso 3 que en este caso el tipo de composición de la muestra de prueba es el B.
- 3) Se integra la muestra de prueba con las proporciones correspondientes a cada rango de tamaños, de acuerdo con las cantidades indicadas en la tabla 2.
- 4) Se obtiene la masa de la muestra de prueba integrada, registrándola como P, con aproximación a 1 g y se introduce a la máquina de Los ángeles.
- 5) De acuerdo con lo indicado en la tabla 2, se define la cantidad de 11 esferas (figura 63), que son correspondientes a esta prueba y se verifica que su masa total cumpla con lo establecido en dicha tabla. Hecho lo anterior, se introducen las esferas a la máquina de Los ángeles y se hace funcionar a una velocidad angular de 30 a 33 rpm, durante 500 revoluciones.
- 6) Se retira el material interior de la máquina depositándolo en una charola. Se desecha la fracción de la muestra de prueba que pase la malla No. 3/8".
- 7) Una vez desechado el material se procede a pesarla y se empieza a realizar los cálculos para el porcentaje de desgaste de los ángeles.

**Tabla 30. Clasificación de las muestras y numero de esferas.**

| Tipo de composición de la muestra de prueba | Rango de tamaños                   |             | Masa de la fracción gr. | Carga abrasiva    |                |
|---|------------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------|----------------|
|   | mm                                 | Designación |                         | Número de esferas | Masa total gr. |
| A   | 37.5 – 25                          | 1½" – 1"    | 1 250 ± 10              | 12                | 5 000 ± 25     |
|   | 25 – 19                            | 1" - ¾"     | 1 250 ± 10              |                   |                |
|   | 19 – 12.5                          | ¾" - ½"     | 1 250 ± 10              |                   |                |
|   | 12.5 – 9.5                         | ½" - ⅜"     | 1 250 ± 10              |                   |                |
|   | Masa total de la muestra de prueba |             |                         |                   |                |
| B   | 19 – 12.5                          | ¾" - ½"     | 1 250 ± 10              | 11                | 4584 ± 25      |
|   | 12.5 – 9.5                         | ½" - ⅜"     | 1 250 ± 10              |                   |                |
|   | Masa total de la muestra de prueba |             | 5 000 ± 10              |                   |                |

|   |                                    |                                   |            |   |            |
|---|------------------------------------|-----------------------------------|------------|---|------------|
| C | 9.5 – 6.3                          | $\frac{3}{8}$ " - $\frac{1}{4}$ " | 2 500 ± 10 | 8 | 3 330 ± 20 |
|   | 6.3 – 4.75                         | $\frac{1}{4}$ " - N° 4            | 2 500 ± 10 |   |            |
|   | Masa total de la muestra de prueba |                                   | 5 000 ± 10 |   |            |
| D | 4.75 – 2                           | N°4 – N° 10                       | 5 000 ± 10 | 6 | 2 500 ± 15 |

**Fuente: ONNCCE, "INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-AGREGADOS-RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN E IMPACTO DE AGREGADO GRUESO USANDO LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES-MÉTODO DE PRUEBA".**

En esta prueba se realizó tres veces para tener un resultado aproximado a su desgaste donde arrojó los siguientes resultados (Tabla 31) con la siguiente fórmula que se mostrara a continuación:

$$D = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Donde:

D= Es el desgaste en por ciento (%).

Mi= Es la masa inicial, en g.

Mf= Es la masa final, en g (Peso del material que retuvo las malla utilizadas al principio de la prueba).

Para esto se calculó de igual forma la desviación estándar (Tabla 31) con la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S: Desviación estándar

X: Valores

$\bar{X}$  : Media aritmética

n: Numero de valores

**Tabla 31. Desgaste del agregado grueso y su desviación estándar.**

| Muestra 1          |    |       |
|--------------------|----|-------|
| Desgaste (%)       | D  | 80.87 |
| Masa inicial (grs) | Mi | 4575  |
| Masa final (grs)   | Mf | 875   |

| Muestra 3          |    |       |
|--------------------|----|-------|
| Desgaste (%)       | D  | 79.96 |
| Masa inicial (grs) | Mi | 4575  |
| Masa final (grs)   | Mf | 917   |

| Muestra 2          |    |       |
|--------------------|----|-------|
| Desgaste (%)       | D  | 81.09 |
| Masa inicial (grs) | Mi | 4575  |
| Masa final (grs)   | Mf | 865   |

|              | % Desgaste |
|--------------|------------|
| Muestra 1    | 80.87      |
| muestra 2    | 81.09      |
| Muestra 3    | 79.96      |
| Promedio     | 80.64      |
| Desv. Estad. | 0.60       |

| Calculos para la desviacion estandar |               |                   |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| X                                    | $X - \bar{X}$ | $(X - \bar{X})^2$ |
| 80.87                                | 0.23          | 0.05              |
| 81.09                                | 0.45          | 0.20              |
| 79.96                                | -0.68         | 0.46              |
|                                      | Suma          | 0.72              |

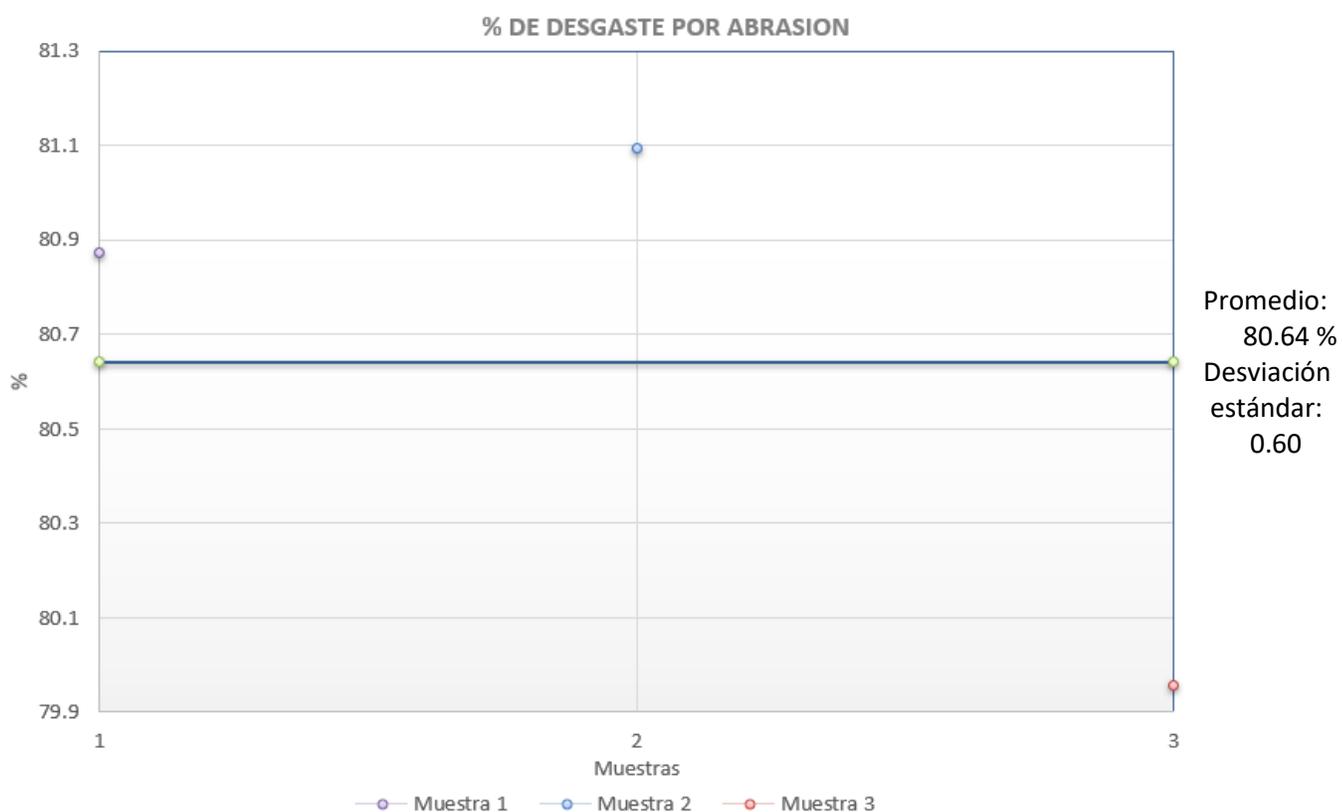


**Figura 62. Máquina de los ángeles.**



**Figura 63. Esferas de acero.**

Para analizar la prueba de los ángeles, se tuvo que realizar los cálculos pertinentes de dicha prueba ya que se realizaron 3 veces. (figura 64).



**Figura 64. % De desgaste por abrasión.**

### 3.9 Relación grava – arena

Teniendo en cuenta sobre la definición, el papel que desempeñan y pruebas de los agregados para un diseño de mezclas, es importante la relación grava - arena para determinar y encontrar el porcentaje requerido de arena y cubrir los vacíos que deje el agregado grueso, el objetivo de esta prueba es determinar la relación grava – arena para diseñar una mezcla por el método del PCA (Asociación del Cemento Portland) que es sin duda, el considerado como básico para proyectar mezclas de concreto, el cual toma como principio básico que el volumen absoluto de concreto fresco es igual a la suma de los volúmenes absolutos de los ingredientes (cemento, agua, arena) más el volumen ocupado por el aire atrapado o natural.

Para conocer la relación grava – arena, basta con separar el material en dos fracciones utilizando para ello la malla No. 4 (Abertura 4.76 mm).

Donde el material para esta prueba fue:

- Balanza de 20 Kg de capacidad
- Cucharon
- Charola de panadero
- Escoba
- Pala
- Tara de 7200 g.
- Varilla de 5/8"

Para llevar a cabo esta práctica fue necesario llevar un cierto orden, el cual consta de diferentes pasos.

Se pesaron 25 kg. De agregado grueso en la báscula de 20 kg. y se depositó en el piso.

Una vez que se tuvo los 25 Kg. De material deseado, éste fue llevado al piso, tomando la tabla estandarizada donde la dosificación de la arena, como primera adición, correspondía al 5% se le agregó a la grava y por medio de las palas, se revolvió, de tal manera que se mezclaran bien.

Enseguida se realizó el cuarteo del material y se eligieron dos montones opuestos del cuarteo y con el cucharon se extrajo material para compactarlo. Nuevamente se le agregó más material para la segunda parte y se repitió el proceso anterior.

Después que se llenó el recipiente se compactó, se llevó a la báscula para ser pesado y obtener el peso volumétrico y una vez que este paso se realizó, el material fue depositado en el piso donde se encontraba el resto.

Cuando el material fue regresado al piso, se le agregó el 10% de arena que correspondía a la tabla estandarizada y se le aplicó el procedimiento que se hizo con la primera adición. Este proceso se hizo iterativo hasta que se encontró la relación grava – arena deseada.

Cálculos y resultados:

Los resultados obtenidos en el transcurso de la prueba (peso volumétrico Kg/m<sup>3</sup>) deberá ser interpretados gráficamente (figura 65).

Los puntos ahí obtenidos determinaran una curva, en el que el porcentaje correspondiente a la ordenada máxima es el adecuado para la mezcla.

El cociente que resulta dividir el porcentaje de la grava entre el de la arena, da el valor de la relación grava – arena que este caso el valor promedio de las 3 muestras arrojó una relación de 60/40 (tabla 32, 33, 34 y 35).

**Tabla 32. Muestra 1.**

| PRIMERA MUESTRA |            |            |                   |                              |                    |              |                   |                            |               |
|-----------------|------------|------------|-------------------|------------------------------|--------------------|--------------|-------------------|----------------------------|---------------|
| Grava<br>Kg.    | Grava<br>% | Arena<br>% | Var. Arena<br>Kg. | Kilos<br>adicionados<br>(Kg) | Peso bruto<br>(Kg) | Tara<br>(Kg) | Peso<br>Neto (Kg) | Vol.<br>Recipiente<br>(M³) | Peso<br>Kg/M³ |
| 25              | 100        | 0          | 0                 | 0                            | 16.950             | 0.72         | 16.23             | 0.00985                    | 1647.72       |
| 25              | 95         | 5          | 1.316             | 1.316                        | 16.975             | 0.72         | 16.26             | 0.00985                    | 1650.25       |
| 25              | 90         | 10         | 2.778             | 1.462                        | 17.050             | 0.72         | 16.33             | 0.00985                    | 1657.87       |
| 25              | 85         | 15         | 4.412             | 1.634                        | 17.075             | 0.72         | 16.36             | 0.00985                    | 1660.41       |
| 25              | 80         | 20         | 6.250             | 1.838                        | 17.100             | 0.72         | 16.38             | 0.00985                    | 1662.94       |
| 25              | 75         | 25         | 8.333             | 2.083                        | 17.150             | 0.72         | 16.43             | 0.00985                    | 1668.02       |
| 25              | 70         | 30         | 10.714            | 2.381                        | 17.200             | 0.72         | 16.48             | 0.00985                    | 1673.10       |
| 25              | 65         | 35         | 13.462            | 2.747                        | 17.225             | 0.72         | 16.51             | 0.00985                    | 1675.63       |
| 25              | 60         | 40         | 16.667            | 3.205                        | 17.250             | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |
| 25              | 55         | 45         | 20.455            | 3.788                        | 17.250             | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |
| 25              | 50         | 50         | 25.000            | 4.545                        | 17.250             | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |

**Tabla 33. Muestra 2.**

| SEGUNDA MUESTRA |            |            |                   |                              |                    |              |                   |                            |               |
|-----------------|------------|------------|-------------------|------------------------------|--------------------|--------------|-------------------|----------------------------|---------------|
| Grava<br>Kg.    | Grava<br>% | Arena<br>% | Var. Arena<br>Kg. | Kilos<br>adicionados<br>(Kg) | Peso bruto<br>(Kg) | Tara<br>(Kg) | Peso<br>Neto (Kg) | Vol.<br>Recipiente<br>(M³) | Peso<br>Kg/M³ |
| 25              | 100        | 0          | 0                 | 0                            | 16.950             | 0.72         | 16.23             | 0.00985                    | 1647.72       |
| 25              | 95         | 5          | 1.3158            | 1.3158                       | 17                 | 0.72         | 16.28             | 0.00985                    | 1652.79       |
| 25              | 90         | 10         | 2.778             | 1.462                        | 17.075             | 0.72         | 16.36             | 0.00985                    | 1660.41       |
| 25              | 85         | 15         | 4.412             | 1.634                        | 17.100             | 0.72         | 16.38             | 0.00985                    | 1662.94       |
| 25              | 80         | 20         | 6.250             | 1.838                        | 17.125             | 0.72         | 16.41             | 0.00985                    | 1665.48       |
| 25              | 75         | 25         | 8.333             | 2.083                        | 17.200             | 0.72         | 16.48             | 0.00985                    | 1673.10       |
| 25              | 70         | 30         | 10.714            | 2.381                        | 17.275             | 0.72         | 16.56             | 0.00985                    | 1680.71       |
| 25              | 65         | 35         | 13.462            | 2.747                        | 17.250             | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |
| 25              | 60         | 40         | 16.667            | 3.205                        | 17.250             | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |
| 25              | 55         | 45         | 20.455            | 3.788                        | 17.250             | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |
| 25              | 50         | 50         | 25.000            | 4.545                        | 17.250             | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |

**Tabla 34. Muestra 3.**

| TERCERA MUESTRA |            |            |                   |                              |                    |              |                   |                            |               |
|-----------------|------------|------------|-------------------|------------------------------|--------------------|--------------|-------------------|----------------------------|---------------|
| Grava<br>Kg.    | Grava<br>% | Arena<br>% | Var. Arena<br>Kg. | Kilos<br>adicionados<br>(Kg) | Peso bruto<br>(Kg) | Tara<br>(Kg) | Peso<br>Neto (Kg) | Vol.<br>Recipiente<br>(M³) | Peso<br>Kg/M³ |
| 25              | 100        | 0          | 0                 | 0                            | 16.950             | 0.72         | 16.23             | 0.00985                    | 1647.72       |
| 25              | 95         | 5          | 1.3158            | 1.3158                       | 17.000             | 0.72         | 16.28             | 0.00985                    | 1652.79       |
| 25              | 90         | 10         | 2.778             | 1.462                        | 17.100             | 0.72         | 16.38             | 0.00985                    | 1662.94       |
| 25              | 85         | 15         | 4.412             | 1.634                        | 17.125             | 0.72         | 16.41             | 0.00985                    | 1665.48       |
| 25              | 80         | 20         | 6.250             | 1.838                        | 17.150             | 0.72         | 16.43             | 0.00985                    | 1668.02       |
| 25              | 75         | 25         | 8.333             | 2.083                        | 17.200             | 0.72         | 16.48             | 0.00985                    | 1673.10       |
| 25              | 70         | 30         | 10.714            | 2.381                        | 17.250             | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |
| 25              | 65         | 35         | 13.462            | 2.747                        | 17.250             | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |
| 25              | 60         | 40         | 16.667            | 3.205                        | 17.250             | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |
| 25              | 55         | 45         | 20.455            | 3.788                        | 17.250             | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |
| 25              | 50         | 50         | 25.000            | 4.545                        | 17.250             | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |

**Tabla 35. Promedio de las muestras.**

| Promedio de la relacion grava/arena |            |            |                      |                              |  |  |  |                                   |              |                   |                            |               |
|-------------------------------------|------------|------------|----------------------|------------------------------|--|--|--|-----------------------------------|--------------|-------------------|----------------------------|---------------|
| Grava<br>Kg.                        | Grava<br>% | Arena<br>% | Var.<br>Arena<br>Kg. | Kilos<br>adicionados<br>(Kg) | Peso bruto<br>de la<br>muestra 1<br>(Kg) | Peso bruto<br>de la<br>muestra 2<br>(Kg) | Peso bruto<br>de la<br>muestra 3<br>(Kg) | Peso<br>bruto<br>promedio<br>(Kg) | Tara<br>(Kg) | Peso<br>Neto (Kg) | Vol.<br>Recipiente<br>(M³) | Peso<br>Kg/M³ |
| 25                                  | 100        | 0          | 0                    | 0                            | 16.950                                   | 16.950                                   | 16.950                                   | 16.950                            | 0.72         | 16.23             | 0.00985                    | 1647.72       |
| 25                                  | 95         | 5          | 1.3158               | 1.3158                       | 16.975                                   | 17                                       | 17.000                                   | 16.992                            | 0.72         | 16.27             | 0.00985                    | 1651.95       |
| 25                                  | 90         | 10         | 2.778                | 1.462                        | 17.050                                   | 17.075                                   | 17.100                                   | 17.075                            | 0.72         | 16.36             | 0.00985                    | 1660.41       |
| 25                                  | 85         | 15         | 4.412                | 1.634                        | 17.075                                   | 17.100                                   | 17.125                                   | 17.100                            | 0.72         | 16.38             | 0.00985                    | 1662.94       |
| 25                                  | 80         | 20         | 6.250                | 1.838                        | 17.100                                   | 17.125                                   | 17.150                                   | 17.125                            | 0.72         | 16.41             | 0.00985                    | 1665.48       |
| 25                                  | 75         | 25         | 8.333                | 2.083                        | 17.150                                   | 17.200                                   | 17.200                                   | 17.183                            | 0.72         | 16.46             | 0.00985                    | 1671.40       |
| 25                                  | 70         | 30         | 10.714               | 2.381                        | 17.200                                   | 17.275                                   | 17.250                                   | 17.242                            | 0.72         | 16.52             | 0.00985                    | 1677.33       |
| 25                                  | 65         | 35         | 13.462               | 2.747                        | 17.225                                   | 17.250                                   | 17.250                                   | 17.242                            | 0.72         | 16.52             | 0.00985                    | 1677.33       |
| 25                                  | 60         | 40         | 16.667               | 3.205                        | 17.250                                   | 17.250                                   | 17.250                                   | 17.250                            | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |
| 25                                  | 55         | 45         | 20.455               | 3.788                        | 17.250                                   | 17.250                                   | 17.250                                   | 17.250                            | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |
| 25                                  | 50         | 50         | 25.000               | 4.545                        | 17.250                                   | 17.250                                   | 17.250                                   | 17.250                            | 0.72         | 16.53             | 0.00985                    | 1678.17       |

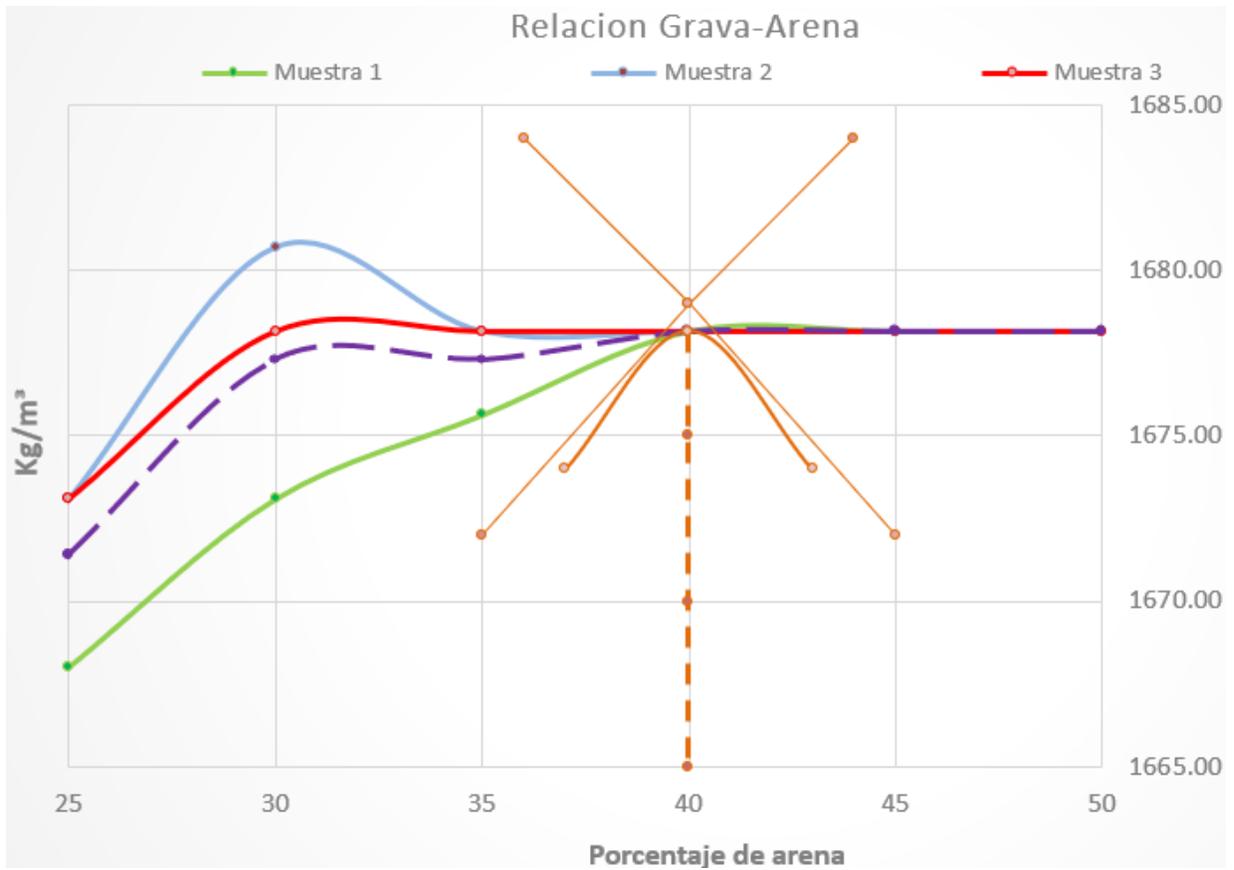


Figura 65. Análisis de la relación grava – arena

## CONCLUSIONES

Con la prueba del análisis granulométrico de los agregados gruesos se concluye que las muestras del agregado es más grava fina y que de igual manera estas pruebas no cumplen con los límites señalados en la norma NMX-C-111-ONNCCE-2004 y para que cumplan esta prueba con la norma ya mencionada, es necesario aumentar el agregado grueso y disminuir el agregado fino.

En el caso del análisis granulométrico fino se analiza y nos muestra que es una arena gruesa y que cumple con los parámetros establecidos en la norma NMX-C-077-1997-ONNCCE.

Hablando con respecto al módulo de finura del agregado grueso los valores de M.F. dependen del tamaño máximo del agregado que en estos casos nos dio un agregado grueso pequeño, mientras en el agregado fino cumple con los requerimientos de la norma NMX-C-111-ONNCCE-2004, ya que su módulo de finura es de 2.9 % y nos indica que es una arena gruesa.

Para las pruebas del peso volumétrico, los resultados obtenidos fueron de 983.926 Kg/M<sup>3</sup> de seco suelto y 1002.538 Kg/M<sup>3</sup> de seco compacto de agregado grueso y 973.311 Kg/M<sup>3</sup> de seco suelto y 996.616 Kg/M<sup>3</sup> de seco compacto del agregado fino respectivamente. Estos valores nos permiten estimar el peso volumétrico que puede tener el concreto hidráulico elaborado con ellos.

En cuanto a la prueba de la absorción se comprobó el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante un tiempo determinado a temperatura ambiente; este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas. Por ello el índice de la porosidad del material (es una medida de espacios vacíos en un material) para la grava es de 0.835% y para la arena es de 1.86%.

En la prueba de determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino se obtuvo que la arena está libre de materia orgánica.

La relación grava – arena es de mucha importancia para los diseños y dosificaciones de mezclas de concreto. Es una relación entre el agregado grueso y fino que tiene como propósito optimizar la cantidad de grava y arena que debe estar presente en una unidad de concreto. Este parámetro es un indicador de la calidad granulométrica de la grava y arena y, a la vez, es un parámetro para determinar las cantidades netas que deben obtenerse en la unidad de concreto. La relación grava – arena obtenida en estas pruebas, es el promedio de las tres muestras la cual arrojó un valor de 60/40. Combinación de agregados que puede ser útil para el diseño de mezclas de concreto hidráulico.

Como un dato adicional a las características de los agregados, se realizó la prueba de desgaste por abrasión. En esta prueba el material presentó un

porcentaje máximo de desgaste de 80.64% pero de acuerdo con la norma técnica complementaria 174, el porcentaje máximo de desgaste no debe ser superior al 50%. Por lo tanto, este material no es apto para su uso en la construcción de pavimentos ya que podría traer varias consecuencias a la hora de emplearlo en este tipo de obras ya que el porcentaje de desgaste de los agregados determina la resistencia y durabilidad de un pavimento rígido.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- IMCYC, 1994, Construcción de losas y pisos de concreto ACI-302.
- SCT, N-CMT-2-02-005/04, CMT, Características de los materiales, Materiales para estructuras, Materiales para concreto hidráulico, Calidad del concreto hidráulico.
- Kosmatka, 2004, Diseño y Control de mezclas de Concreto.
- Osorio, 2003, Manual de control de calidad del concreto en la obra.
- IMCYC, 1994, Manual para supervisar obras de concreto (ACI 311-92).
- IMCYC, 2004, Reglamento para las construcciones de concreto estructural (ACI 318-02).
- IMCYC, (1992), Concreto para técnicos de la construcción.
- ONNCCE, 2004, NMX-C-122-ONNCCE-2004, Industria de la construcción – Agua para concreto - Especificaciones.
- IMCYC, 1994, Guía para la medición, mezclado, transporte y colocación del concreto.
- CFE, 1997, Manual de tecnología del concreto.
- SCT, N-CMT-2-02-002, Características de los materiales, Materiales para estructuras, Materiales para concreto hidráulico, Calidad de agregados pétreos para concreto hidráulico.
- ASTM, ASTM C 33 - 03 Especificación estándar para agregados para concreto.
- ONNCCE, 2004, NMX-C-030-ONNCCE-2004, Industria de la construcción – Agregados – Muestreo.
- ONNCCE, NMX-C-077-1997-ONNCCE, Industria de la construcción – Agregados para concreto – Análisis granulométrico – Método de prueba.
- Gutiérrez, 1994, El concreto y otros materiales de construcción.
- ASTM, ASTM C 136 – 01, Método de ensayo normalizado para determinar el análisis granulométrico de los áridos finos y gruesos.
- ONNCCE, NMX-C- 111-ONNCCE-2004, Industria de la construcción – Agregados para concreto hidráulico – Especificaciones y métodos de prueba.
- IMCYC, 1994, Diseño y control de mezclas de concreto.
- ONNCCE, NMX-C-073-ONNCCE-2004, Industria de la construcción – Agregados – Masa volumétrica – Método de prueba.
- ONNCCE, NMX-C-164-ONNCCE-2014, Industria de la construcción – Agregados - Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado grueso.
- ONNCCE, NMX-C-165-ONNCCE-2014, Industria de la construcción – Agregados - Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino.
- CEMEX, (1992), Guía del usuario de concreto profesional.

ONNCCE, PROY-C-NMX-196-ONNCCE-2008, Industria de la construcción – Agregados - Resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregado grueso usando la máquina de los ángeles - Método de prueba.

Apasco, (1992), Manual de Apasco.

IMCYC, 1998, Tecnología y propiedades.

Huanca, 2006, Diseños de mezclas de concreto.

IMCYC, (1994), Proporcionamiento de mezclas: concreto normal, pesado y masivo ACI 211.1.

Cano, 1994, Construcción y tecnología.

Neville, 1998, Tecnología del concreto.

SCT, M-MMP-2-02-055/04, Métodos de muestreo y prueba de materiales, Materiales para estructuras, Materiales para concreto hidráulico, Muestreo de concreto hidráulico.

SCT, M-MMP-2-02-056/06, Métodos de muestreo y prueba de materiales.

ONNCCE, 1997, NMX-C-088-1997-ONNCCE, Industria de la construcción – Agregados – Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino.

SCT, CMT. Características de los materiales, Materiales para estructuras, Materiales para concreto hidráulico, Calidad de aditivos químicos para concreto hidráulico.

SCT, CMT. Características de los materiales, Materiales para estructuras, Materiales para concreto hidráulico, Calidad del cemento Portland.