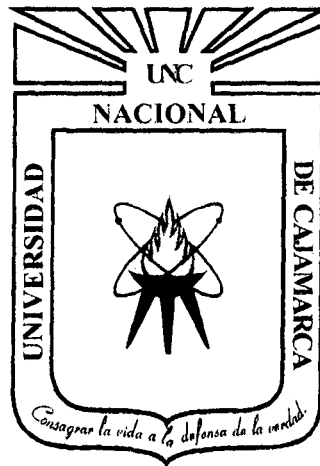


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO ELABORADO  
CON ADITIVO MICROSÍLICE”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
HUATAY ALIAGA ELVER YOVAN**

**ASESOR:  
M.Sc. Ing. TITO CHILÓN CAMACHO**

**CAJAMARCA - PERÚ  
2014**

**COPYRIGHT © 2014 by**  
**ELVER YOVAN HUATAY ALIAGA**  
**Todos los derechos reservados**

## **DEDICATORIA**

### **A MI MADRE**

**MARINA ALIAGA CACHO**, la Mujer que me apoyó todo estos años, por su infinito amor, cariño y comprensión; por acompañarme en los buenos y malos momentos y ser mi consejera y confidente.

### **A MI PADRE**

**ALFONSO HUATAY BAUTISTA**, el hombre que ha sido un ejemplo de tenacidad, esfuerzo y superación.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

### **A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

Por haberme brindado los conocimientos necesarios para poder desempeñarme como un profesional al servicio de la comunidad Cajamarquina y Peruana.

### **A MI ASESOR**

**M.Sc. Ing°. TITO CHILÓN CAMACHO**, por haberme ayudado, asesorado y colaborado en la ejecución de esta tesis.

A todos los profesionales, docentes y compañeros de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil que de alguna u otra manera aportaron con su conocimiento y experiencia para realizar este proyecto.

## INDICE

Contenido	Página
RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
Planteamiento del problema.....	2
Hipótesis.....	2
Objetivos.....	2
Objetivo General.....	2
Objetivo específico.....	2
Descripción de capítulos.....	2
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Antecedentes teóricos.....	3
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	4
2.1.2. 5Antecedentes nacionales.....	5
2.2. Bases teóricas.....	6
2.2.1 Agregados.....	6
2.2.1.1. Agregado fino.....	6
2.2.1.2. Agregado grueso.....	7
2.2.2. Análisis granulométrico.....	12
2.2.3. Módulo de finura.....	12
2.2.4. Peso específico y absorción.....	12
2.2.5. Contenido de humedad.....	15
2.2.6. Peso unitario.....	16
2.2.7. Porcentaje que pasa el tamiz # 200.....	17

2.2.3. Cemento.....	20
2.2.3.1. Definición de cemento.....	20
2.2.3.2. Cemento Portland.....	20
2.2.4. Aditivos.....	30
2.2.5. Microsílice.....	30
2.2.6. Concreto.....	31
2.2.6.1. Naturaleza del concreto.....	32
2.2.6.2. Naturaleza física del concreto.....	32
2.2.6.3. Porosidad.....	32
2.2.6.4. Relación agua cemento.....	35
2.2.6.5. Influencia de la relación agua-cemento.....	35
2.2.6.6. Propiedades del concreto.....	35
2.2.7. Agua.....	39
2.2.8. Diseño de mezclas método módulo de fineza.....	41
2.2.8.1. Resistencia requerida.....	41
2.2.8.2. Selección del slúmp.....	42
2.2.8.3. Selección del tamaño máximo nominal.....	42
2.2.8.4. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire...	42
2.2.8.5. Elección de la relación de agua cemento.....	43
2.2.8.6. Estimación del contenido de agregado grueso y fino.....	44
CAPITULO III. METODOLOGIA, MATERIALES Y	
METODO.....	45
3.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación.....	45
3.2. Materiales.....	46
3.2.1. Materiales Experimentales.....	46

3.3. Equipos.....	50
3.4. Procedimiento.....	50
3.4.1. Preparación del concreto.....	50
3.4.2.1. Diseño del concreto patrón.....	50
3.4.2.2. Diseño del concreto con aditivo microsílíce.....	51
3.5. Tratamiento y análisis de datos y preparación de resultados .....	52
3.5.1. Tratamiento de datos.....	52
3.5.2. Construcción de dispersogramas.....	52
CAPITULO IV. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	53
4.1 Características físicas y mecánicas de los agregados.....	56
4.2. Resistencia a la compresión.....	56
4.3. Discusión de resultados.....	60
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
5.1. Conclusiones.....	62
5.2. Recomendaciones.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Tabla 2.1. Granulometría del agregado fino.....	7
Tabla 2.2. Requisitos granulométricos del agregado grueso.....	8
Tabla 2.3. Gradaciones de muestras de ensayo.....	19
Tabla 2.4. Carga abrasiva.....	20
Tabla 2.5. Porcentaje de variación de los compuestos del cemento.....	23
Tabla 2.6. Calor de hidratación para cada tipo de cemento portland.....	26
Tabla 2.7. Características físico-mecánicas del cemento Pacasmayo tipo I....	29
Tabla 2.8. Características químicas del cemento Pacasmayo tipo I.....	30
Tabla 2.9. Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua para la elaboración del concreto (valores en partes por millón).....	40
Tabla 2.10. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.....	42
Tabla 2.11. Elección del asentamiento.....	42
Tabla 2.12. Contenido de agua de mezcla para concreto.....	43
Tabla 2.13. Relación agua / cemento por resistencia.....	43
Tabla 2.14. Módulo de fineza de la combinación de agregados.....	44
Tabla 3.1. Resumen de los diseños de mezcla finales .....	51
Tabla 4.1. Granulometría del agregado fino utilizado.....	54
Tabla 4.2. Granulometría del agregado grueso utilizado.....	55
Tabla 4.3. Características físicas y mecánicas de los agregados.....	56
Tabla 4.5. Resistencia a la compresión.....	57
Tabla 4.6. Porcentaje de incremento de resistencia.....	58



## ÍNDICE DE GRÁFIOS

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Gráfico 4.1. Curva granulométrica del agregado fino.....	54
Gráfico 4.2. Curva granulométrica del agregado grueso.....	55
Gráfico 4.3 Resistencia a la compresión para diferentes diseños de mezcla.....	58
Gráfico 4.4. Resistencia a la compresión a los 7 días de vida para diferentes diseños de mezcla.....	59
Gráfico 4.5. Resistencia a la compresión a los 14 días de vida para diferentes diseños de mezcla.....	59
Gráfico 4.6 Resistencia a la compresión a los 28 días de vida para diferentes diseños de mezcla.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Figura 2.1. Proceso de producción del cemento.....	23
Figura 2.2. Efecto del efecto de la adición de agua sobre el asentamiento y la resistencia del concreto.....	37
Figura 3.1. Ubicación de la cantera Río Cajamarquino.....	48
Figura 3.2. Ubicación de la cantera Río Cajamarquino.....	49

## RESUMEN

La presente investigación estudia la resistencia a la compresión simple de los concretos elaborados con microsílíce (Chema fume) usando Cemento Portland Tipo I, con una relación de agua-cementante de 0.58 y con agregados de la cantera Río Cajamarquino. El diseño se basa en el Módulo de Finura de la combinación de los agregados y un contenido de cemento de (320.07 Kg/m<sup>3</sup>). La más alta resistencia a la compresión obtenida fue 309 Kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días. Se desarrolla un concreto Patrón (CPA) con relación agua-cementante igual a 0.58 y se compara su resistencia a la compresión con cada una de las mezclas diseñadas. A la mezcla patrón se le adicionó el 5% de aditivo microsílíce (CMS 5), luego el 8% (CMS 8) y 10% (CMS 10) del peso del cemento. Se presenta también el diseño de los diferentes tipos de mezcla y la determinación de la resistencia a la compresión simple, así como también un análisis de resultados. La más alta resistencia a la compresión obtenida fue 309 Kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días con la dosificación de 5% del peso del cemento.

**Palabras claves:** Diseño, concreto, aditivo, microsílíce, resistencia.

## ABSTRACT

This research studies the unconfined compressive strength of concrete made with silica fume (smoke Chema) using Type I Portland cement, with a water - cement ratio of 0.58 and Rio Cajamarquino aggregates quarry. The design is based on the fineness modulus combination of aggregates and a cement content of (320.07 kg/m<sup>3</sup>). The highest compressive strength obtained was 309 kg / cm<sup>2</sup> at the time of 28 days. It develops a specific pattern (COP) with water - cement ratio equal to 0.58. It compares resistance to compression with each of the designed mixtures. To a standard mixture was added 5% microsilica additive (CMS 5), then 8% (CMS 8) and 10% (CMS 10) of cement weight. Here it's presented the design of the different types of mixing and the determining of unconfined compressive strength, Analysis results are also presented. The highest compressive strength obtained was 309 kg / cm<sup>2</sup> at the time of 28 days with the dosage of 5 % of cement weight.

**Keywords:** Design, concrete additive, microsilica, resistance.

## RESUMEN

La presente investigación estudia la resistencia a la compresión simple de los concretos elaborados con microsilíce (Chema fume) usando Cemento Portland Tipo I, con una relación de agua-cementante de 0.58 y con agregados de la cantera Río Cajamarquino. El diseño se basa en el Módulo de Finura de la combinación de los agregados y un contenido de cemento de (320.07 Kg/m<sup>3</sup>). La más alta resistencia a la compresión obtenida fue 376 Kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días. Se desarrolla un concreto patrón (CPA) con relación agua-cementante igual a 0.58 y se compara su resistencia a la compresión con cada una de las mezclas diseñadas. A la mezcla patrón se le adicionó el 5% de aditivo microsilíce (CMS 5), luego el 8% (CMS 8) y 10% (CMS 10) del peso del cemento. Se presenta también el diseño de los diferentes tipos de mezcla y la determinación de la resistencia a la compresión simple, así como también un análisis de resultados. La más alta resistencia a la compresión obtenida fue 309 Kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días con la dosificación de 5% del peso del cemento.

**Palabras claves:** Diseño, concreto, aditivo, microsilíce, resistencia.

## ABSTRACT

This research studies the unconfined compressive strength of concrete made with silica fume (smoke Chema) using Type I Portland cement, with a water - cement ratio of 0.58 and Rio Cajamarquino aggregates quarry. The design is based on the fineness modulus combination of aggregates and a cement content of (320.07 kg/ m<sup>3</sup>). The highest compressive strength obtained was 376 kg / cm<sup>2</sup> at the time of 28 days. It develops a specific pattern (COP) with water - cement ratio equal to 0.58. It compares resistance to compression with each of the designed mixtures. To a standard mixture was added 5% microsilica additive (CMS 5), then 8% (CMS 8) and 10% (CMS 10) of cement weight. Here it's presented the design of the different types of mixing and the determining of unconfined compressive strength , Analysis results are also presented. The highest compressive strength obtained was 309 kg / cm<sup>2</sup> at the time of 28 days with the dosage of 5 % of cement weight.

**Keywords:** Design, concrete additive, microsilica, resistance.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas a nivel mundial la industria de los aditivos para concreto, ha tenido un crecimiento acelerado, debido a su constante utilización para modificar las propiedades del concreto, tanto en su estado fresco como endurecido, agregando estos materiales o productos a las mezclas de concreto. Hoy en día existe una gran variedad de aditivos para el concreto que se comercializa en todo el mundo.

Nuestro país vienen utilizando los aditivos, puesto que vivimos una era de crecimiento acelerado, el cual ha dado origen a muchos proyectos, los cuales se traducen en su mayoría en la ejecución de obras civiles en todo el territorio peruano, y debido a la diversidad de climas presentes en nuestro país, hacen de imperiosa necesidad el uso de aditivos, para mejorar propiedades mecánicas del concreto.

Sin embargo la presente investigación se limitará a evaluar la resistencia mecánica del concreto.

En los últimos años en la ciudad de Cajamarca se están construyendo grandes centros comerciales, edificios, viviendas, obras de infraestructura como hospitales, colegios, etc. debido a las necesidades y crecimiento de la población, motivo por el cual es necesario el uso masivo de concreto de alta performance utilizando la gran variedad de aditivos con los que se cuenta actualmente.

La resistencia a la compresión simple es una propiedad mecánica fundamental del concreto, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puentes, de edificios y otras estructuras.

Por lo que el problema de la presente tesis podemos plantearlo a través de la siguiente interrogante:

¿Cuál es la dosificación más adecuada del aditivo microsílíce para mejorar la resistencia a la compresión del concreto?

Frente a ésta interrogante planteada en la investigación se considera que la dosificación más adecuada de microsílíce para mejorar la resistencia a la compresión del concreto es el 5% del peso del cemento.

Por lo que la presente tesis adquiere relevancia dado a la necesidad de obtener un concreto de alta resistencia en obras de gran envergadura, o en situaciones difíciles ya sea por los agentes químicos que se encuentran en el suelo de cimentación, nos han llevado a buscar múltiples alternativas de solución una de ellas es la incorporación de aditivos para mejorar la resistencia a la compresión simple del concreto.

En nuestro medio la falta de estudios respecto a la utilización de materiales modernos como el microsílíce, ha traído consigo asimismo que no se esté optimizando su uso, por lo que la presente tesis busca proponer recomendaciones que permitan mejorar los diseños de concreto en las obras que se ejecuten.

El objetivo general de la presente tesis determinar cuál es la mejor dosificación de microsílíce para mejorar la resistencia a la compresión del concreto.

El objetivo específico de la presente investigación es evaluar mediante rotura de probetas en cuanto mejora la resistencia mecánica del concreto elaborado con cada dosificación de microsílíce.

En el capítulo I se realiza el planteamiento del problema, la hipótesis, los objetivos y la justificación de la presente investigación. Capítulo II se tiene el marco teórico, las bases teóricas y la definición de términos básicos con ayuda de la literatura. Capítulo III se presenta los materiales y método utilizados en la investigación. Capítulo IV se presentan el análisis y discusión de los resultados obtenidos. Capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones de la presente de la presente investigación.



## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes Teóricos**

El empleo de aditivos minerales en los aglomerantes hidráulicos data de épocas muy antiguas. Por ejemplo, los romanos las utilizaron en sus estructuras en base a morteros de cal y puzolana; cabe resaltar que estas obras han quedado inmortalizadas hasta el día de hoy. Por otro lado, en Francia, un investigador apellidado Lorient, en 1774 aplicó escoria en la fabricación de aglomerantes. Sin embargo, fue en la segunda mitad del siglo XIX cuando recién comenzaron a realizar estudios sobre la aplicación de adiciones minerales (puzolanas y escorias de altos hornos) en los primeros aglomerantes. En la primera década del siglo XX se especifica el uso del cemento adicionado con un máximo de 30% de escoria; en 1934 se publica la norma oficial en Francia y en 1946 la ASTM la incorpora entre sus normas (Gonzales 2005).

En 1950, las adiciones tuvieron importante desarrollo en Europa – Alemania, Francia y Bélgica, específicamente, incorporándose al cemento Portland, incrementando rápidamente la capacidad instalada frente a los requerimientos de la reconstrucción de los daños dejados por la II Guerra Mundial (Gonzales 1978).

Para finales de la década del 70 en la ex U.R.S.S. el porcentaje de incorporación de la escoria era del 50%. En Estados Unidos e Inglaterra estas adiciones en vez de ser usadas como parte del cemento adicionado, se usaron directamente en las mezclas de concreto, exclusivamente, en centrales de premezclado. Su desarrollo se dio a partir de la primera crisis del petróleo de 1974 y posteriormente con las regulaciones ambientales (Gonzales 2005).

En Latinoamérica, el primer productor de Cemento Portland de Escoria fue Brasil en 1952.

En cuanto a nuestro país, el primer productor de cemento con escoria fue Cementos Norte Pacasmayo en 1976, utilizando escoria de la planta siderúrgica de Chimbote.

Como se observa, las puzolanas naturales han sido usadas por muchos años para realizar morteros (limos-puzolanas) pero su uso ha sido restringido a unos pocos países incluyendo Italia, Grecia, México, Chile y Marruecos, lugares donde se encuentran reservas considerables de puzolanas naturales. Asimismo, se muestra que en otros países, el uso de materiales puzolánicos en la industria del concreto es relativamente reciente y ha sido (casi exclusivamente) limitado al uso de cenizas volantes y microsílíce, clasificadas como puzolanas artificiales (Tagnit-Hamou, Petrov y Luke 2003).

### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Antecedentes internacionales a nivel de investigación:

Dentro de los avances que han surgido en el mundo del concreto (hormigón) en los últimos treinta años, está sin duda alguna LA MICROSILICE o HUMO DE SILICE, Este material es un subproducto de desecho del proceso de elaboración del ferrosilicio y el silicio metal (Fuchs H. 2010).

Durante muchos años las industrias del ferrosilicio ha sido una fuente importante de contaminación del aire, no obstante que los controles de las emisiones fueron ejerciéndose, sobre todo en los países nórdicos de Europa, los mecanismos de filtración y captación de las mismas fueron perfeccionándose; es así como en Noruega, en la década de los 40, comienzan a mostrar interés en solucionar el problema de desechos sólidos en que se convirtieron las captaciones atmosféricas. De los residuos provenientes de la industria del ferrosilicio se determinó que éstos poseen un elevado porcentaje de dióxido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), y descubren que este polvo (microsílíce) extremadamente fino, cien veces más fino que el cemento, posee una importante propiedad puzolánica, es decir, reacciona con la cal libre que se forma durante el proceso de hidratación del cemento portland (Fuchs H. 2010).

La cal libre ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) es a su vez un subproducto de la compleja reacción química que se produce cuando mezclamos el cemento hidráulico con el agua de acuerdo con lo anterior, podemos señalar que lo interesante de la microsilíce, es que combina la propiedad puzolánica con una alta finura y que no reacciona con el agua. El manejo de este material tan fino fue solucionado, instalando plantas densificadoras a la salida de los filtros, es decir el material es compactado densificándolo y haciéndolo más manejable para su transporte y posterior dosificación. Numerosas pruebas fueron realizadas para comprobar su desempeño como adición en el concreto, logrando satisfactorios resultados (Fuchs H. 2010).

Venezuela, cuenta con la mayor planta de reducción de ferrosilicio en Sudamérica, "Fesilven" ubicada en la ciudad Guayana, puerto Ordaz en el estado Bolívar, sin embargo la comercialización de la microsilíce nacional solo empezó en los años 90, una vez privatizada esta empresa adquirida por el grupo español "Ferro Atlántica" (Fuchs H. 2010).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

En el Perú se está haciendo investigaciones sobre el uso de microsilíce, en la siguiente investigación:

Según (Huincho 2011), los concretos de alta resistencia preparados con microsilíce (SIKA FUME), usando cemento Portland tipo 1, relaciones agua-cementante menores a 0.25, usando por primera vez agregado grueso HUSO 89. Los asentamientos obtenidos son del orden de 8 a 10 pulgadas y una extensibilidad entre 56 y 70 centímetros, considerándose concretos de alta resistencia y a la vez autocompactantes. El diseño se basa en el Peso Unitario Compactado Máximo de la combinación de los agregados y un bajo contenido de cemento ( $560 \text{ kg/m}^3$ ). La más alta resistencia a la compresión obtenida fue de  $1423 \text{ kg/cm}^2$  a la edad de 90 días.

## **2.2. Bases teóricas**

**2.2.1. Agregados.** Llamados también áridos, los cuales constituyen entre el 60% al 75% del volumen total de cualquier mezcla típica de concreto: Se definen como un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma Técnica Peruana 400.011 o la norma ASTM C 33.

Dependiendo de sus características y dimensiones la Norma Técnica Peruana clasifica y denomina a los agregados en:

**2.2.1.1. Agregado fino.** La NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, define como agregado fino al proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz 9.51 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz 0.074 mm (N°200).

Según la NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, el agregado fino deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- ✓ Puede estar constituido de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente.
- ✓ Deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales, u otras sustancias dañinas.
- ✓ El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.
- ✓ En general, es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los límites de la NTP 400.037 o la norma ASTM C 33, según la tabla 2.1

Tabla 2.1. Granulometría del agregado fino.

TAMIZ	PORCENTAJE DE PESO (MASA) QUE PASA			
	LÍMITES TOTALES	*C	M	F
9.50 mm 3/8"	100	100	100	100
4.75 mm N°4	95-100	95 – 100	89 – 100	89 – 100
2.36 mm N°8	80-100	80 – 100	65 – 100	80 – 100
1.18 mm N°16	50-85	50 – 85	45 – 100	70 – 100
0.60 mm N°30	25-60	25 – 60	25 – 80	55 – 100
0.30 mm N°50	10-30	10 – 30	5 – 48	5 – 70
0.15 mm N°100	2-10	2 – 10	0 - 12*	0 – 12

\* Incrementar a 5% para agregado fino triturado, excepto cuando se use para pavimentos.

Fuente. NTP 400.037

- ✓ El módulo de fineza del agregado fino se mantendrá dentro del límite de  $\pm 0.2$  del valor asumido para la selección de las proporciones del concreto; siendo recomendable que el valor asumido esté entre 2.30 y 3.10.
- ✓ El agregado fino no deberá indicar presencia de materia orgánica cuando ella es determinada de acuerdo a los requisitos de la NTP 400.013 o la norma ASTM C 40.
- ✓ Podrá emplearse agregado fino que no cumple con los requisitos de la NTP 400.013 o la norma ASTM C 40 siempre que:
  1. La coloración del agregado fino a usar en el ensayo se deba a la presencia de pequeñas partículas de carbón, lignito u otras partículas similares; o
  2. Realizado el ensayo, la resistencia a los siete días de morteros preparados con dicho agregado no sea menor del 95% de la resistencia de morteros similares preparados con otra porción de la misma muestra de agregado fino previamente lavada con una solución al 3% de hidróxido de sodio.

**2.2.1.2. Agregado grueso.** La NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, define como agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75 mm (N ° 4). El agregado grueso podrá consistir de grava o piedra partida de origen natural o artificial. El agregado grueso empleado en la preparación de concretos livianos podrá ser natural o artificial.

Según NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, el agregado grueso deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- ✓ Deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa.
- ✓ Las partículas deberán ser químicamente estables y deberán estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.
- ✓ La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
- ✓ La granulometría seleccionada deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto, con una adecuada trabajabilidad y consistencia en función de las condiciones de colocación de la mezcla.
- ✓ La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 ½" y no más del 6% del agregado que pasa la malla de ¼".
- ✓ Las Normas de Diseño Estructural recomiendan que el tamaño nominal máximo del agregado grueso sea el mayor que pueda ser económicamente disponible, siempre que él sea compatible con las dimensiones y características de la estructura. Se considera que, en ningún caso el tamaño nominal máximo del agregado no deberá ser mayor de:
  1. Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados; o
  2. Un tercio del peralte de las losas; o
  3. Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzos; paquetes de barras; torones; o ductos de presfuerzo.
- ✓ El agregado grueso empleado en concreto para pavimentos, en estructuras sometidas a procesos de erosión, abrasión o cavitación, no deberá tener

una pérdida mayor del 50% en el ensayo de abrasión realizado de acuerdo a la NTP 400.019 y norma NTP 400.020, o la norma ASTM C 131.

- ✓ EL lavado de las partículas de agregado grueso se deberá hacer con agua preferentemente potable. De no ser así, el agua empleada deberá estar libre de sales, materia orgánica, o sólidos en suspensión.
- ✓ Volviendo a la granulometría, en general el agregado grueso debe estar gradado dentro de los límites especificados en la NTP 400.037 o la norma ASTM C 33., tal como sigue:

Tabla 2.2. Requisitos granulométricos del agregado grueso.

N° A.S.T.M	TAMAÑO NOMINAL	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
		100 mm 4"	90 mm 3.5"	75 mm 3"	63 mm 2.5"	50 mm 2"	37,5 mm 1.5"	25 mm 1"	19 mm ¾"	12,5 mm ½"	9,5 mm 3/8"	4,75 mm N°4	2,36 mm N°8	1,18 mm N°16
1	3 ½"		90		25		0		0					
	a	100	a		a		a		A					
	1 ½"		100		60		15		5					
2	2 ½"				90	35	0		0					
	a			100	a	A	a		A					
	1 ½"				100	70	15		5					
3	2"					90	35	0		0				
	a				100	A	a	a		a				
	1"					100	70	15		5				
357	2"					95		35		10		0		
	a			100	A		a		a		a			
	N°4				100		70		30		5			
4	1 ½"						90	20	0		0			
	a				100	a	a	A		a				
	¾"					100	55	15		5				
467	1 ½"						95		35		10	0		
	a				100	a		A		a	a			
	N°4					100		70		30	5			
5	1"						90	20	0	0				
	a					100	a	A	a	a				
	½"						100	55	10	5				
56	1"						90	40	10	0	0			
	a					100	a	A	a	a	a			
	3/8"						100	85	40	15	5			
57	1"						95		25		0	0		
	a					100	a		a		a	a		
	N°4						100		60		10	5		
6	¾"							90	20	0	0			
	a						100	A	a	a	a			
	3/8"							10	55	15	5			
67	¾"							90		20	0	0		
	a						100	A		a	a	a		
	N°4							100		55	10	5		
7	½"								90	40	0	0		
	a							100	a	a	a	a		
	N°4								100	70	15	5		
9	3/8"									85	10	0	0	
	a								100	a	a	a	A	
	N°8									100	30	10	5	

Fuente. NTP 400.037



**2.2.1.3. Arena.** La NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, define a la arena como el agregado fino proveniente de la desintegración natural de las rocas. Se clasifican según la "Comisión de Normalización" de la Sociedad de Ingenieros del Perú como sigue:

Arena Fina:	0.05	a	0.5 mm.
Arena Media:	0.5	a	2.0 mm.
Arena Gruesa:	2.0	a	5.0 mm.

**2.2.1.4. Grava.** La NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, define a la grava como el agregado grueso, proveniente de la desintegración natural de materiales pétreos, encontrándoseles corrientemente en canteras y lechos de ríos depositados en forma natural.

**2.2.1.5. Piedra triturada o chancada.** La NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, define como el agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas.

**2.2.1.6. Agregado global.** La NTP 400.011 o la norma ASTM C 33, definen al agregado global como al material compuesto de grava y arena empleado en forma natural de extracción.

En lo que sea aplicable, se seguirá para el agregado global las recomendaciones correspondientes a los agregados fino y grueso:

- ✓ Deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas blandas o escamosas, sales, álcalis, materia orgánica u otras sustancias dañinas para el concreto. Su granulometría deberá estar comprendida entre la malla de 2" como máximo y la malla N°100 como mínimo.
- ✓ Deberá ser manejado, transportado y almacenado de manera tal de garantizar la ausencia de contaminación con materiales que podrían reaccionar con el concreto.

- ✓ Deberá emplearse únicamente en la elaboración de concretos con resistencias en compresión, hasta de 100 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. El contenido mínimo de cemento será 255 kg/m<sup>3</sup>.

**2.2.2. Análisis granulométrico (NTP 400.012, ASTM C 136).** Se define como el estudio de la manera como se encuentran distribuidos los tamaños de las partículas del agregado.

**2.2.3. Módulo de finura (NTP 334.045, ASTM C 136).** Es el indicador del grosor predominante de las partículas de un agregado. Puede considerarse como un tamaño promedio ponderado, pero que no representa la distribución de las partículas. El módulo de finura esta en relación inversa a las áreas superficiales; por lo que la cantidad de agua por área superficial será menor, mientras mayor sea el módulo de finura.

Para el caso del agregado fino, se calcula a partir del análisis granulométrico sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100; y dividiendo dicha suma entre 100.

$$M.F = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices}(N_4, N_8, N_{16}, N_{30}, N_{50}, N_{100})}{100} \dots\dots\dots(1)$$

Para el caso del agregado grueso, se calcula a partir del análisis granulométrico sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices 1", 3/4", 3/8", N°4, más el valor de 500; y dividiendo dicha suma entre 100.

$$M.G = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices}(1", 3/4", 3/8", N_4) + 500}{100} \dots\dots\dots(2)$$

**2.2.4. Peso específico y absorción (NTP 400.021 - 400.022, ASTM C 127 – C 128).**

**A. Peso específico de masa.** Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material); a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

Para el Agregado Fino, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Pe.m = \frac{Wms}{S - Va} \dots\dots\dots(3)$$

Wms: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C.

S: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca.

Va: Volumen de agua añadida.

Para el Agregado Grueso, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Pe.m = \frac{Wms}{S - Wma} \dots\dots\dots(4)$$

Wms: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C.

S: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca.

Wma: Peso en el agua de la muestra saturada.

**B. Peso específico de masa saturada superficialmente seca.** Es lo mismo que el peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

Para el Agregado Fino, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Pe.m(S.S.S) = \frac{S}{S - Va} \dots\dots\dots(5)$$

S: Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca.

Va: Volumen de agua añadida.

Para el Agregado Grueso, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Pe.m(S.S.S) = \frac{S}{S - Wma} \dots\dots\dots(6)$$

S: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca.

Wma: Peso en el agua de la muestra saturada.

**C. Peso específico nominal o aparente.** Es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire, de un volumen unitario de material, a la masa

en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas, si el material es un sólido, el volumen es igual a la porción impermeable.

Para el **Agregado Fino**, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Pe.a = \frac{W_{ms}}{[(S - V_a) - (S - W_{ms})]} \dots\dots\dots(7)$$

W<sub>ms</sub>: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C.

S: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca.

V<sub>a</sub>: Volumen de agua añadida.

Para el **Agregado Grueso**, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Pe.a = \frac{W_{ms}}{W_{ms} - W_{ma}} \dots\dots\dots(8)$$

W<sub>ms</sub>: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C.

W<sub>ma</sub>: Peso en el agua de la muestra saturada.

**D. Absorción.** Capacidad que tienen los agregados para llenar de agua los vacíos permeables de su estructura interna, al ser sumergidos durante 24 horas en ésta. La relación del incremento en peso al peso de la muestra seca expresado en porcentaje, se denomina porcentaje de Absorción.

La absorción, depende de la porosidad, y es importante para las correcciones en las dosificaciones de mezclas de concreto.

La absorción influye en otras propiedades del agregado, como la adherencia con el cemento, la resistencia a la abrasión y la resistencia del concreto al congelamiento y deshielo.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Abs = \frac{S - W_{ms}}{W_{ms}} \times 100 \dots\dots\dots(9)$$

S: Peso de la muestra saturada superficialmente seca.

W<sub>ms</sub>: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C.

Donde:

A: Peso de la muestra húmeda

B: Peso de la muestra seca

**2.2.6. Peso unitario (NTP 400.017, ASTM C 29).** Es el peso del material seco que se necesita para llenar un recipiente de volumen unitario. También se le denomina peso volumétrico y se emplean en la conversión de cantidades de peso a cantidades de volumen y viceversa.

El peso unitario está en función directa del tamaño, forma y distribución de las partículas, y el grado de compactación (suelto o compactado).

**A. Peso unitario seco suelto.** Es aquel en el que se establece la relación peso/volumen dejando caer libremente desde cierta altura el agregado (5cm aproximadamente), en un recipiente de volumen conocido y estable. Este dato es importante porque permite convertir pesos en volúmenes y viceversa.

**B. Peso unitario seco compactado.** Este proceso es parecido al del peso unitario suelto, pero compactando el material en capas dentro del molde, éste se usa en algunos métodos de diseño de mezcla como lo es el de American Concrete Institute.

**C.** Según la American Concrete Institute (ACI), existen dos procedimientos para determinar el peso unitario seco compactado. El Método del Apisonado, para agregados cuyo tamaño máximo no sea mayor de 3.8 cm, y el Método De Vibrado, para agregados cuyo tamaño máximo está comprendido entre 3.8 cm y 10 cm.

**B.1. Método del apisonado.** El agregado se coloca en un recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente hasta colmarlo. Cada una de las capas se empareja con la mano y se apisona dicha muestra con la barra compactadora mediante 25 golpes, distribuidos uniformemente en cada capa.

La varilla de acero es de 16 mm de ancho y 60 cm de longitud, terminada en una semiesfera.

Al apisonar se aplica la fuerza necesaria para que la varilla atravesase solamente la capa respectiva.

Una vez colmado el recipiente se enrasa la superficie usando la varilla como regla y se determina el peso neto del agregado en Kg; para finalmente obtener el peso unitario seco compactado del agregado, al multiplicar dicho peso por el factor (F), como se indica en los cálculos realizados de los agregados.

**B.2. Método de vibrado.** El agregado se coloca en un recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente hasta colmarlo. Al terminar de colocar cada capa, se coloca el recipiente sobre una base firme y se inclina hasta que el borde opuesto al punto de apoyo diste unos 5 cm de la base. Luego se suelta, con lo que se produce un golpe seco y se repite la operación inclinando el recipiente por el borde opuesto.

Estos golpes alternados se ejecutan 25 veces de cada lado, de modo que el número total es de 50 para cada capa y 150 para todo el conjunto.

Al término, se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación al plano de enrase; para finalmente obtener el peso unitario seco compactado.

#### **2.2.7. Porcentaje que pasa el tamiz # 200 (NTP 400.018, ASTM C 117).**

Son materiales muy finos del agregado, se presentan en forma de recubrimientos superficiales (arcillas), o en forma de partículas sueltas (limo). La primera interfiere en la adherencia entre el agregado y el cemento, y la segunda incrementa la cantidad de agua de mezclado, logrando disminuir la resistencia.

- ✓ Las partículas muy finas como la arcilla, el limo y el polvo de trituración pueden ser eliminadas de los agregados mediante el lavado de los mismos con agua potable o su similar.
- ✓ El porcentaje que pasa el tamiz # 200, se calcula mediante tamizado por lavado en la malla N° 200. A la pérdida en peso debido al lavado, calculado en porcentaje en peso de la muestra original.

**A. Porcentaje que pasa el tamiz # 200 (sin lavado previo).** Se realizó el cálculo del porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200 tal cual se obtuvo de la cantera, utilizándose la siguiente expresión:

$$\% \text{pasa tamiz N}^\circ 200 = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \dots \dots \dots (11)$$

Wi: Peso seco de la muestra original

Wf: Peso seco de la muestra después del lavado

**B. porcentaje que pasa el tamiz # 200 (con lavado previo).** Debido a la excesiva presencia de material fino en los agregados, se realizó un lavado previo de los mismos con agua potable de la red, utilizándose la siguiente expresión:

$$\% \text{pasa tamiz N}^\circ 200 = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \dots \dots \dots (12)$$

Wi: Peso seco de la muestra original

Wf: Peso seco de la muestra después del lavado

**Resistencia a la abrasión (NTP 400.019 - 400.020, ASTM C 131).** Es la fuerza que presentan los agregados al ser sometidos a fuerzas de impacto, al desgaste por abrasión y frotamiento. Cuando la pérdida de peso se expresa en porcentaje de la muestra original se le denomina porcentaje de desgaste.

El método de prueba usado es el de la Máquina los Ángeles, por su rapidez y porque se puede aplicar a cualquier agregado. La resistencia a la abrasión se calcula mediante la siguiente expresión:

$$De = \frac{W_o - W_f}{W_o} \times 100 \dots \dots \dots (13)$$

Wo: Peso Original de la muestra

Wf: Peso final de la muestra

Para el cálculo de la Resistencia a la Abrasión, se escogerá una de las 4 gradaciones (A, B, C, D); establecidas por las aberturas de los tamices de la norma ITINTEC 350.001; y dependiendo el tipo de gradación se procederá al ensayo con un número determinado de esferas.

El número de esferas para el ensayo, deberán ser de fierro fundido, con un diámetro de 48 mm y entre 390 y 445 gr de masa.

Tabla 2.3. Gradaciones de muestras de ensayo

TAMAÑO DE LOS TAMICES (ABERTURAS GRADADAS)		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (g)			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
37.50 mm (1 1/2")	25.40 mm (1")	1250±25	-----	-----	-----
25.40 mm (1")	19.00 mm (3/4")	1250±25	-----	-----	-----
19.00 mm (3/4")	12.70 mm (1/2")	1250±10	2500±10	-----	-----
12.70 mm (1/2")	9.51 mm (3/8")	1250±10	2500±10	-----	-----
9.51 mm (3/8")	6.35 mm (1/4")	-----	-----	2500±10	-----
6.35 mm (1/4")	4.76 mm (Nº 4)	-----	-----	2500±10	-----
4.76 mm (Nº 4)	2.36 mm (Nº 8)	-----	-----	-----	5000±10

Fuente. Norma ITINTEC 350.001



Tabla 2.4. Carga abrasiva

GRADACIÓN	NÚMEROS DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 15

Fuente. Norma ITINTEC 350.001

### 2.2.3. Cemento.

El cemento es una sustancia conglomerante que, mezclado con agregados pétreos (árido grueso o grava, más árido fino o arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica; la misma que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, adquiriendo consistencia pétreo, denominado hormigón o concreto.

Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil, su principal función es la de aglutinante.

**2.2.3.1. Definición de cemento.** (Rivva 2000), define como cemento a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables.

#### 2.2.3.2. Cemento portland (ASTM C 150)

**2.2.3.2.1. Definición de cemento portland.** Según NTP 334.009, se define como un aglomerante hidráulico producido mediante la pulverización del Clínter, compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio con una adición de yeso u otro material durante la molienda.

#### 2.2.3.2.2. Fases de la fabricación de cemento portland.

**1. Extracción de materia prima.** A partir de explosiones a cielo abierto (Canteras), se extrae la piedra caliza, materia prima del proceso, mediante

micro detonaciones controladas. También se extraen arcillas de tierras de cultivo, sin necesidad de utilizar explosivos.

**2. Trituración.** En la misma cantera, las rocas fragmentadas, que pueden llegar a medir un metro, se trituran en fases sucesivas para obtener fragmentos de hasta un máximo de 50 mm, que serán transportados a los parques o almacenes de pre homogenización.

**3. Prehomogenización y almacenamiento de materia prima.** Partiendo de las calidades y proporciones más o menos variables de la piedra, tiene como finalidad conseguir desde el inicio del proceso una composición mineralógica uniforme y óptima.

**4. Molienda de crudo.** La mezcla del material prehomogenizado se transporta con medios mecánicos a los molinos de crudo, de barras o bolas de acero. La molienda tiene la finalidad de conseguir la composición química adecuada según el tipo de Clíinker a producir y la granulometría deseada, con el mínimo consumo energético. Al mismo tiempo que la molienda se realiza el secado del material, aprovechando y conduciendo los gases residuales del horno hacia los molinos.

**5. Precalentamiento.** Antes de entrar en el horno, la harina de crudo homogenizada pasa por el intercambiador de ciclones de precalcificación.

**6. Clinkerización.** La harina de crudo pasa a los hornos rotatorios de calcificación, formado por grandes cilindros de acero recubiertos internamente de material refractario. El crudo sufre una serie de transformaciones físicas y químicas a medida que aumenta la temperatura.

- ✓ Secado, hasta los 150°C.
- ✓ Deshidratación de la arcilla, hasta los 500°C.
- ✓ Descarbonatación, entre 550°C y 1100°C.
- ✓ Clinkerización, entre 1300°C 1500°C.

**7. Enfriamiento.** El Clínter pasa de 1450°C a 140°C aproximadamente mediante parrillas de refrigeración o tubos satélite adosados al final del horno. Los gases liberados con el calor residual del horno se envían a los ciclones de precalcificación en un proceso continuo.

**8. Almacenamiento de clínter.** El Clínter se almacena en grandes hangares o silos antes de llegar a la fase final del proceso de producción.

**9. Yeso y adiciones.** Antes de efectuar la molienda del Clínter se dosifican cantidades variables de yeso (3-10%) para alargar el tiempo de fraguado del cemento, y de otras adiciones (filler calcáreo, cenizas, puzolanas, etc.), con lo que se obtiene diferentes calidades de cemento según los procesos de construcción a los que serán destinados.

**10. Molienda del cemento.** Una vez dosificados el yeso y las adiciones, los materiales se muelen y homogenizan dentro de molinos de bolas de acero, con lo que se obtiene el producto final: Cemento Portland.

**11. Expedición.** El proceso de distribución del cemento se realiza en sacos de papel krap extensible tipo Klupac, generalmente compuesto de 2 a 3 capas y con capacidad de 25 a 45 kg; o a granel, mediante camiones cisterna que suelen transportar entre 28 y 30 toneladas.

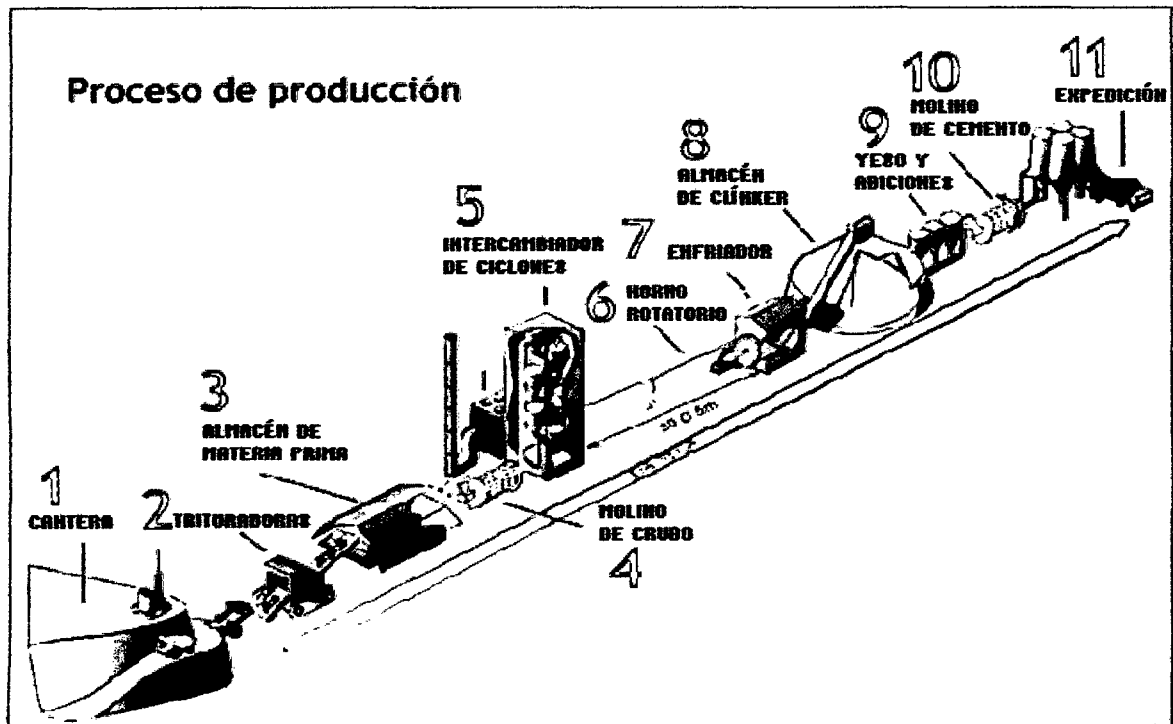


Figura 2.1. Proceso de producción del cemento

Fuente. Basauri Ponce L. M., 2010.

**2.2.3.2.3. Compuestos principales del cemento portland.** Los óxidos principales (C= CaO, S= SiO<sub>2</sub>, A= Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, F= FeO<sub>3</sub>) constituyen prácticamente más del 90% en peso del Clínter. De los cuatro óxidos principales la cal es de carácter básico y los otros tres de carácter ácido, de ellos la sílice y la cal son componentes activos, y la alúmina y el hierro actúan como fundentes.

Tabla 2.5. Porcentaje de variación de los compuestos del cemento

NOMBRE DEL COMPUESTO	NOMENCLATURA	% DE VARIACION
Silicato Tricálcico	C3S	40 - 60
Silicato Dicálcico	C2S	15 - 30
Aluminato Tricálcico	C3A	2 - 14
Ferro aluminato Tetracálcico	C4AF	8- 12

Fuente. Norma ASTM C 150

#### 2.2.3.2.4. Propiedades físicas del cemento portland.

##### 1. Superficie específica o finura del cemento (NTP 334.002, ASTM C 150).

La finura es el tamaño de las partículas que componen el cemento; llamada también superficie específica, se expresa en  $\text{cm}^2/\text{gr}$  y se dice que a mayor superficie específica, mejor y más rápido el tiempo de fraguado.

Entre mayor sea la superficie de contacto, mayor será la superficie del cemento. La superficie específica del cemento está comprendida entre los valores de 2500 a 4500  $\text{cm}^2/\text{gr}$ .

2. **Peso específico (NTP 334.005, ASTM C 150).** El peso específico o densidad aparente expresa la relación entre el peso de una muestra de cemento y el volumen absoluto del mismo; se expresa en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ . Se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{Absoluto}}} \dots\dots\dots(14)$$

Dónde:  $m$  = Peso de la muestra de cemento.

$V_{\text{Absoluto}}$  = Volumen de la materia sólida.

El peso específico del cemento es el valor usado en el diseño de mezclas; el cual debería estar comprendido entre los valores de 3.10 a 3.15  $\text{gr}/\text{cm}^3$ .

Cabe resaltar que un valor bajo de peso específico, nos indica poca presencia de Clínter y alta de yeso.

##### 3. Consistencia normal del cemento (NTP 334.003, ASTM C 150).

La consistencia normal del cemento se expresa como: un porcentaje en peso o volumen de agua con relación al peso seco de del cemento, necesario para obtener una pasta con fluidez. Siendo esta una propiedad óptima de hidratación.

$$\% \text{C.N} = \frac{W_{\text{Agua}}}{W_{\text{Cemento}}} \dots\dots\dots(15)$$

Dónde:

$W_{\text{Agua}}$  = peso del agua.

$W_{\text{Cemento}}$  = peso del cemento.

Por ejemplo 30% de consistencia normal de cemento, significa que por 100 gr de cemento hay que agregar 30 ml de agua. Lo que determina la consistencia normal de cemento es la viscosidad de la pasta (Cemento), la lubricación de los agregados (concretos), entre otros factores. Siendo sus valores normales los comprendidos entre 24% y 32%.

#### **4. Tiempo de fraguado (NTP 334.056, ASTM C 150)**

- ✓ **Fraguado Inicial:** Es el transcurrido desde la adición de agua hasta alcanzar el estado de plasticidad y dureza, en éste tiempo la pasta se deforma por la acción de pequeñas cargas. Es el tiempo que disponemos para fabricar, transportar, vibrar y colocar el concreto en las obras.
- ✓ **Fraguado Final:** Va desde el fraguado inicial hasta que la pastas se endurezca se vuelva indeformable. En éste caso se produce la unión con los agregados en una mezcla de concreto.

**5. Falso fraguado (NTP 334.052, ASTM C 150).** Fenómeno que produce endurecimiento rápido y rigidez prematura anormal del cemento, durante los primeros minutos de su hidratación; restableciéndose las propiedades de la pasta en el transcurso del tiempo. El falso fraguado se debe a 2 factores fundamentales:

- ✓ A la falta de adición de yeso suficiente al cemento.
- ✓ A la falta de adición del Clínter mediante la fabricación.

**6. Calor de hidratación (NTP 334.064, ASTM C 150).** Al reaccionar el agua con el cemento, genera un calor de hidratación en los procesos de fraguado y endurecimiento, incrementándose la temperatura del concreto originando una

rápida evaporación del agua, que lleva a la contracción del material y un ocasional agrietamiento.

Tabla 2.6. Calor de hidratación para cada tipo de cemento portland

TIPO	CARACTERISTICA	% DE CALOR GENERADO
I	Uso general	100
II	Moderada resistencia a los sulfatos	80 a 85
III	Desarrollo de altas resistencias iniciales	150
IV	Desarrollo de Bajo calor hidratación	40 a 60
V	Alta resistencia a los sulfatos	60 <sup>a</sup> 95

Fuente. NTP 334.064

**2.2.3.2.5. Estabilidad de volumen (NTP 334.004, ASTM C 150).** Un cemento es estable, cuando ningún elemento principal experimenta expansión perjudicial o destructiva después del fenómeno de hidratación. Pero generalmente el concreto endurecido presenta ligeros cambios de volumen (retracción), debido a variaciones en la temperatura, en la humedad, en los esfuerzos aplicados, entre otros. Estos cambios de volumen o de longitud pueden variar de aproximadamente 0.01% hasta 0.08%.

Los principales factores que afectan la estabilidad del cemento son:

- ✓ Composición química.
- ✓ Finura del cemento.
- ✓ Cantidades de agregado empleado.
- ✓ Tamaño y forma de la masa de concreto.
- ✓ Temperatura y humedad relativa del medio ambiente.
- ✓ Condiciones de curado.
- ✓ Grado de hidratación y tiempo transcurrido.

**2.2.3.2.6. Resistencia mecánica (NTP 334.051, ASTM C 150).** Es la propiedad más importante del cemento endurecido en cuanto a los requisitos estructurales, la resistencia mecánica debe ser a la tracción, flexión y compresión. Es un requisito que debe cumplir todo cemento, se mide a la compresión y mide la calidad de cemento.

La resistencia a la compresión se hace sobre mortero (Agua + Cemento + Arena), en cubos de 2"x2"x2"; la proporción de la mezcla debe ser 1:3 en volumen. A los 28 días adquiere la resistencia de 100%.

**2.2.3.2.7. Tipos de cemento portland (NTP 334.009).** Los cementos portland por lo general, se fabrican en cinco tipos, cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de las especificaciones de la norma ASTM C 150.

**1. Cemento portland tipo I:** para usos que no requieran propiedades especiales de cualquier otro tipo.

**2. Cemento portland tipo II:** para uso general, y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.

**3. Cemento portland tipo III:** para utilizarse cuando se requiere altas resistencias iniciales.

**4. Cemento portland tipo IV:** para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.

**5. Cemento portland tipo V:** para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

**2.2.3.2.8. Control de calidad del cemento.** Las empresas de cemento han incorporado criterios de control de calidad. Que permiten obtener productos de elevadas cualidades. Dichas plantas cuentan con modernos laboratorios para ensayos y análisis de las materias primas. Los ensayos de rutina de carácter químico, físico y mecánico se ejecuta paralelamente a técnicas modernas como: Difracción de rayos X, absorción atómica, la espectrofotometría, los rayos láser, entre otros.

**2.2.3.2.9. Almacenamiento del cemento.** Según (Rivva 2000), el cemento puede conservarse indefinidamente, sin deteriorarse, en la medida que esté protegido de la humedad, incluyendo la existente en el aire. En las plantas de



hormigón, en las obras y en el transporte de larga duración, el cemento tiende a deteriorarse, por lo que deben observarse ciertas precauciones para su almacenamiento.

**1. Cemento en bolsas.** (Rivva 2000) recomienda para el almacenamiento de cemento en bolsas tener en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ Se almacenara en un lugar techado, fresco, con ventilación adecuada, libre de humedad y protegido de la externa, sin contacto con el agua o suelo.
- ✓ Las bolsas se almacenaran en pilas hasta de diez a fin de facilitar su control y manejo y se cubrirán con material plástico u otro medio de protección adecuado.
- ✓ No se aceptará en obra bolsas cuya envoltura esté deteriorada o perforada, que presenten humedad, o aquellas cuyo peso no corresponda a la norma.

**2. Cemento A Granel:** (Rivva 2000) recomienda para el almacenamiento de cemento a granel tener en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ Se almacenará en sitios metálicos cerrados, a fin de garantizar sus propiedades e impedir cambios en su composición y propiedades físicas y químicas.
- ✓ Los silos deberán ser aprobados por la supervisión, debiendo su geometría facilitar la salida del material e impedir el ingreso de humedad o sustancias contaminantes.
- ✓ Deberá tenerse especial cuidado durante el traslado del cemento de los camiones a los silos, a fin de evitar que se humedezca o contamine con sustancias extrañas.

**2.2.3.2.10. Indicaciones de seguridad.** (Rivva 2000), los operarios deberán proteger sus ojos y piel del cemento y mezclas, ya que el cemento puede causar serias dermatitis y daño a los ojos. Cuando el contacto ocurre las áreas afectadas deben ser limpiadas rápidamente con agua. Si el cemento o la mezcla caen en los ojos, la persona deberá recibir atención médica inmediata.

**1. Usos y aplicaciones.** Entre sus principales usos tenemos:

- ✓ Para construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requiera características especiales o no se especifique otro tipo de cemento.
- ✓ Elementos Pre-fabricados de concreto (hormigón).
- ✓ En la fabricación de bloques, tubos para acueductos y alcantarillados, terrazos, adoquines, etc.
- ✓ Mortero para asentado de ladrillos, tarrajeos, enchapes de mayólicas y otros materiales.

A continuación se da a conocer las características físicas y químicas de los cementos peruanos de mayor uso respecto al cemento utilizado en la presente investigación.

Tabla 2.7. Características físico-mecánicas del cemento Pacasmayo tipo I

CARACTERISTICAS	CEMENTO TIPO I
Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	3.11
Finura: Malla N° 100 (%)	
Finura: Malla N° 200 (%)	
Superficie Específica BLAINE (cm <sup>2</sup> /gr)	3200
Contenido de Aire (%)	10.10
Expansión Autoclave (%)	0.80
Fragua Inicial (vicat) (hrs : min)	2 : 40
Fragua Final (vicat) (hrs: min)	5 : 30
Resistencia a Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	
f'c = 3 días	150
f'c = 7 días	201
f'c = 28 días	267

*Fuente: Alvares Barrantes M. A., 2007*

Tabla 2.8. Características químicas del cemento Pacasmayo tipo I

ELEMENTO	CEMENTO TIPO I (%)
CaO	62.70
SiO <sub>2</sub>	20.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.60
K <sub>2</sub> O	0.68
Na <sub>2</sub> O	0.22
SO <sub>3</sub>	2.2
MgO	2.40
C.L	1.10
P. Ign.	1.93
R.I.	0.68

*Fuente: Alvares Barrantes M. A., 2007*

## 2.2.4. Aditivos (ASTM C-494)

**2.2.4.1 Definición de aditivo.** Material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico que se usa como ingrediente en concretos o morteros y se añade a la mezcla inmediatamente, antes o durante su mezclado.

Los aditivos a diferencia del cemento, los agregados y el agua, no son componentes esenciales de la mezcla, son componentes importantes cuyo uso se generaliza cada vez más en las mezclas concretas.

**2.2.4.2 Naturaleza.** Son materiales orgánicos e inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o luego de formada la pasta y que modifican algunas características como: el proceso de hidratación, el endurecimiento e incluso la estructura interna del concreto.

## 2.2.5. Microsílice

### 2.2.5.1. Definición

La microsíllice (o humo de sílice) suele definirse como una "súper puzolana" por las propiedades que proporciona al cemento. Según el ACI 116R el humo de sílice se define como un "muy fino y no cristalino sílice producido en hornos de arco eléctrico como un subproducto de la producción de silicio o de aleaciones

elementales que contienen silicio; también es conocido como humo de sílice condensado o microsíllice". Es un mineral compuesto de Dióxido de silicio amorfo y ultra fino, que resulta del proceso de obtención de ferrosilicio o silicatos, involucrando la reducción en hornos de arco eléctrico a temperaturas superiores a 2000°C. La microsíllice presenta colores grises que pueden variar de claro a oscuro dependiendo de los rellenos no silicios de la misma y pueden ser carbón u óxido de hierro por ser producto de un proceso de alto horno. Al tener mayor contenido de carbón la microsíllice será más oscura (Allauca, 2010).

Según El comité 116 del ACI "American Concrete Intitute", define a la microsíllice como "Una sílice no cristalina muy fina producida por hornos de arco eléctrico como un subproducto de la fabricación de silicio de metálico o ferro silicio".

## **2.2.6. Concreto**

### **2.2.6.1. Naturaleza del concreto**

**A. Definición del Concreto.** (Rivva 1998), define al concreto como un material artificial compuesto, el cual consiste en un medio ligante, denominado pasta, dentro del que se encuentran embebidas partículas de un medio denominado agregado.

La pasta es el resultado de la combinación química del cemento y el agua. Se le considera la fase continua del concreto, ya que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto, mientras que el agregado es la fase discontinua del concreto, dado que sus diversas partículas no están unidas o en contacto unas con otras, sino se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta endurecidas.

**B. Hidratación y Tiempo de curado.** (Rivva 1998), nos da las definiciones:

**Hidratación** proceso de reacción química del cemento en presencia del agua. La hidratación requiere de presencia de humedad, condiciones de curado favorables y tiempo.

**Tiempo de curado:** Periodo durante el cual el concreto es mantenido en condiciones de humedad y temperatura tales como para lograr la hidratación del cemento en la magnitud que se desea para alcanzar la resistencia seleccionada.

**2.2.6.2. Naturaleza física del concreto.** El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: Agregado y pasta. La pasta, compuesta de Cemento Portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el Cemento y el agua.

La pasta está compuesta de cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. La pasta constituye del 25 al 40 % del volumen total del concreto. El Cemento está comprendido entre el 7 y el 15 %, el agua entre el 14 y el 21 %, el aire y concretos con aire incluido pueden llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

Los agregados deben tener resistencia adecuada, granulometría continua de tamaños de partículas y no contener materiales dañinos al concreto, ya que constituyen aproximadamente del 60 al 75 % del volumen total del concreto.

**2.2.6.3. Porosidad.** Sistema de vacíos presente en la estructura interna del concreto endurecido, determina la conducta posterior del concreto para absorber líquidos y también su permeabilidad o capacidad de flujo a través de él.

La porosidad, permeabilidad y capilaridad comprenden fenómenos físicos que tienen interdependencia, un concreto será más permeable y tendrá más absorción capilar cuanto más poroso sea.

La porosidad se encuentra bajo dos formas:

**1. La porosidad cerrada:** Cuando los poros no se comunican entre ellos ni con el exterior; formada por parte de la porosidad de agregados y por el aire atrapado en el concreto.

**2. La porosidad abierta:** Cuando los poros se comunican entre sí y con el medio exterior al concreto; formada por la porosidad de agregados y por los micro canales dejados al evaporarse parte del agua de mezclado (poros capilares), y es aquella que debe preocupar a los expertos en concreto.

- ✓ Es la que favorece más o menos:
- ✓ El camino de los agentes agresivos hacia las armaduras.
- ✓ La contracción hidráulica.
- ✓ La acción de la helada.
- ✓ La permeabilidad.
- ✓ Las resistencias bajas.

La suma de las dos porosidades constituye la porosidad total o denominada simplemente Porosidad.

La porosidad de acuerdo al lugar como se encuentran, podemos clasificarnos como: la porosidad de la pasta y de la porosidad de los agregados.

**A. Porosidad de la pasta.** (Rivva 1998), define porosidad de la pasta como cantidades variables de espacios vacíos, denominados poros, los cuales no contienen materia sólida aunque, bajo determinadas circunstancias, algunos de ellos podrían estar parcial o totalmente llenos de agua, además clasifica en cuatro categorías especificadas por el origen, tamaño promedio o ubicación, estas cuatro categorías son:

- ✓ Poros por aire atrapado.
- ✓ Poros por aire incorporado.

- ✓ Poros capilares.
- ✓ Poros gel.

**a) Poros por Aire Atrapado:** Durante el proceso de mezclado una pequeña cantidad de aire (1%) aportado por los materiales queda atrapada en la mezcla de concreto, no siendo eliminada en el mezclado, colocación o compactación. Son inevitables en el concreto, varían en tamaño son no visibles o pueden llegar hasta 1 cm. o más de diámetro, de perfil irregular y no siempre están conectados.

**b) Poros por Aire Incorporado:** Esencialmente es por el incremento de la durabilidad del concreto, por la protección de la pasta contra la congelación del agua en el interior, se incorporan intencionalmente mediante aditivos químicos que tienen minúsculas burbujas de aire y se las conocen como poros de aire incorporado.

El principal problema de aire incorporado, es que éstas al incrementar la porosidad, disminuyen la resistencia mecánica en un 5% por cada 1% de aire incorporado.

**c. Poros Capilares:** Son espacios inicialmente de agua en el concreto fresco, que en la hidratación del cemento no se han ocupado por el gel. Dependen de la relación A/C, del grado de hidratación de la pasta; son de tamaño sub microscópico, contienen agua que puede congelarse.

Conforme aumenta el número de poros capilares, la resistencia es menor, tendiendo a aumentar la porosidad, permeabilidad y absorción del concreto.

**d) Poros Gel:** Durante la formación del gel quedan atrapados dentro de este, aislados unos de otros y del exterior. Se presentan en el gel independientemente de la relación A/C y del grado de hidratación, ocupando el 28% aprox. de la pasta.

**e) La porosidad del agregado.** En el agregado son vacíos porosos y permeables, varían de acuerdo a los diferentes tipos de rocas, entre el 0.3% y

el 20%. (Rivva 2000), considera que el problema se presenta en partículas de agregado grueso con altos valores de porosidad o absorción, causados principalmente por poros de tamaño medio en el rango de 0.1 a 5  $\mu\text{m}$ , los cuales son fácilmente saturados y contribuyen al deterioro del concreto.

**2.2.6.4. Relación agua-cemento.** La relación agua / cemento ( $A/C$ ) para el diseño de la mezcla, será el menor valor requerido para cubrir la muestra de diseño. Si la durabilidad no rige el diseño, la relación  $A/C$  deberá elegirse en base a la resistencia a compresión del concreto.

Por la facilidad con que se determina, la resistencia a la compresión es la más universalmente utilizada para la calidad del concreto, pero otras propiedades como: la durabilidad, la permeabilidad y la resistencia al desgaste pueden tener igual o mayor importancia. La resistencia del concreto depende de la cantidad y calidad de los componentes reactivos y del grado de hidratación.

El concreto es más resistente con el tiempo, si existe humedad disponible y temperatura favorable. Luego una resistencia a cualquier edad no está en función de la relación  $A/C$  original, sino del grado de hidratación que alcance el cemento. La importancia de un curado preciso y completo se reconoce fácil a partir de este análisis.

Las diferentes resistencias para una relación  $A/C$  dada puede deberse a los cambios en el tamaño del agregado, granulometría, textura superficial, forma, resistencia, rigidez, contenido de aire incluido; presencia de aditivos; y del curado.

**2.2.6.5. Influencia de la relación agua-cemento.** El total de concreto endurecido está determinado por la cantidad de agua utilizada con el cemento. A continuación se presenta algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- ✓ Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.



- ✓ Tiene menor permeabilidad, por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- ✓ Incrementa la resistencia al intemperismo.
- ✓ Logra mejor unión entre capas sucesivas, entre el concreto y el esfuerzo.
- ✓ Reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

Entre menos agua se utilice, se tendrá mejor calidad de concreto, pero con vibración. Las mezclas más rígidas son las más económicas. Por tanto, el refuerzo del concreto por vibración permite una mejora en la calidad del concreto y en la economía.

#### **2.2.6.6. Propiedades del concreto**

**2.2.6.6.1. Concepto.** (Rivva 1998), en el análisis de las propiedades del concreto es importante recordar que ellas están asociadas con las características y proporciones de los materiales integrantes; que la calidad, cantidad y densidad de la pasta es determinante en las propiedades del concreto, y que la relación A/C lo es sobre las características de la pasta.

**2.2.6.6.2. Propiedades Fundamentales.** (Rivva 1998), sugiere que las propiedades más importantes del concreto no endurecido incluyen: la trabajabilidad, consistencia, fluidez, cohesividad, contenido de aire, segregación, peso unitario, así como el tiempo de fraguado.

Las propiedades más importantes del concreto endurecido incluyen: la resistencia mecánica, durabilidad, propiedades elásticas, cambios de volumen, impermeabilidad, resistencia al desgaste y cavitación, propiedades térmicas y acústicas, apariencia.

**A. Propiedades del concreto fresco.** Es aquel recién preparado cuyo estado es plástico y moldeable en el cual no se produce el fraguado ni el endurecimiento y adopta la forma del encofrado.

**A.1. Trabajabilidad.** (Rivva 2000), define la trabajabilidad como a la facilidad con la cual una cantidad determinada de materiales puede ser mezclada para formar el concreto, y luego este puede ser, para condiciones dadas de obra,

manipulado, transportado y colocado con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad.

Nuestro país se rige por la NTP 339.035 y el ensayo se denomina de Asentamiento. Se mide por el "Slump" o consistencia (cono de ABRAMS), ya que este permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, pero limitadamente, pues es una prueba de uniformidad más que de trabajabilidad.

Es común que esta prueba sea un condicionante de aprobación o desaprobación del concreto fresco.

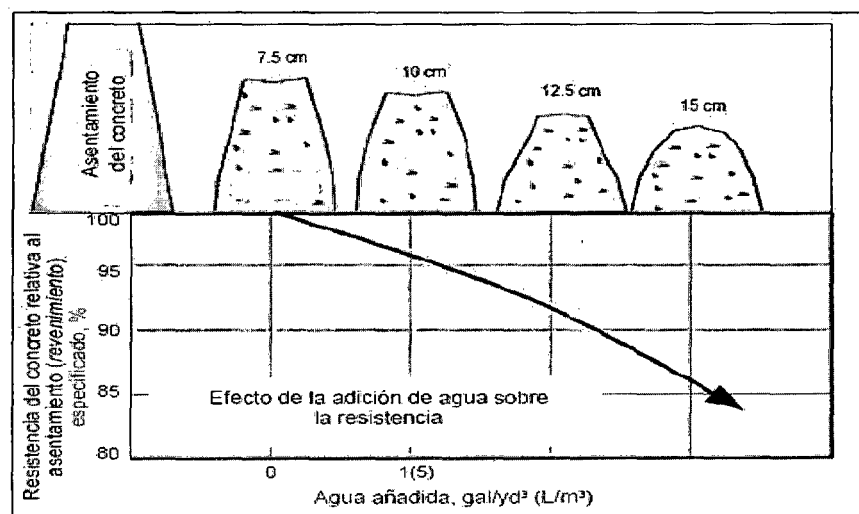


Figura 2.2. Efecto de la adición de agua sobre el asentamiento y la resistencia del concreto.

Fuente: <http://civilgeeks.com>, 2011

Se han establecido 3 tipos de asentamientos característicos:

- 1. Normal o verdadero.** Es propio de una mezcla rica y con una correcta cantidad de agua. El concreto no sufre grandes deformaciones, sus componentes permanecen unidos debido al cemento que los liga.
- 2. Corte.** Producido por exceso de agua, la pasta pierde su poder adhesivo, causando asentamientos mayores y reduciendo el coeficiente de rozamiento.

**3. Desplomado.** Cuando el concreto tiene mucha agua y es pobre en arena, en lugar de asiento se produce rotura por derrumbamiento y a veces por corte.

**A.2. Consistencia o Fluidéz.** (Rivva 2000), define la consistencia como una propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidéz de la misma, entendiéndose por ello que cuando más húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación.

La consistencia se mide mediante el "Slump" con el "Cono de Abrams" (ASTM C-143), es una prueba sencilla que se usa en el campo como en el laboratorio.

**A.3. Segregación.** (Rivva 2000), define la segregación como la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero, lo que es entendible si se considera que el concreto es una mezcla de materiales de diferentes tamaños y gravedades específicas, por lo que se generan al interior del mismo fuerzas las cuales tienden a separar los materiales componentes cuando la mezcla aún no ha endurecido. El resultado de la acción de estas fuerzas es definido como segregación.

**A.4. Exudación.** (Rivva 2000), define la exudación como la elevación de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie, generalmente debido a la sedimentación de los sólidos. El proceso se inicia momentos después que el concreto ha sido colocado y consolidado en los encofrados y continua hasta que se inicia el fraguado de la mezcla, se obtiene máxima consolidación de sólidos, o se produce la ligazón de las partículas.

**A.5. Cohesividad.** (Rivva 2000), define la Cohesividad como aquella propiedad del concreto fresco gracias a la cual es posible controlar el peligro de segregación durante la etapa de colocación de la mezcla, al mismo tiempo que contribuye a prevenir la aspereza de la misma y facilitar su manejo durante el proceso de compactación del concreto.

## **B. Propiedades del concreto endurecido.**

**B.1. Resistencia a la compresión.** (Rivva 1998), define la resistencia como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por el concreto sin romperse. La resistencia en compresión se utiliza como un índice de calidad de concreto.

Se emplean moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de longitud. Para cada edad se debe ensayar como mínimo 2 cilindros y trabajar con el valor promedio. Se debe aceitar las paredes del molde, al llenar a éste se debe lograr una buena compactación, la cual puede realizarse con varilla (método apisonado) si el asentamiento es mayor a 7.5 cm ó con vibrador (método vibrado) si el asentamiento es menor a 2.5 cm para asentamientos entre 2.5 y 7.5 cm puede usarse una varilla o vibrador preferiblemente el método empleado en la obra.

La resistencia a la compresión se calcula así.

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(16)$$

Donde:

P=Carga maxima aplicada en kg.

A=area de la seccio transversal en cm<sup>2</sup>

$\sigma$ =Resistencia a la compresion del cilindro en Kg/cm<sup>2</sup>

**B.2. Módulo de Elasticidad.** (Rivva 2000), afirma que conforme el módulo de elasticidad del agregado se incrementa ocurre lo mismo con el del concreto, por lo que conforme el volumen de agregado se incrementa el módulo de elasticidad del concreto deberá aproximarse al del agregado.

### 2.2.7. Agua (NTP 334.088)

**2.2.7.1. Definición de agua.** En concreto el agua es el elemento por cual el cemento experimenta reacciones que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para producir un material sólido con los agregados.

**2.2.7.2. Control de calidad del agua.** Por la relación entre la calidad de aguas y sus usos, se establecen estándares y criterios de calidad específicos que debe reunir el agua para concreto, requisitos que generalmente vienen expresados como rangos cuantitativos de determinadas características fisicoquímicas y biológicas.

**2.2.7.3. Requisitos de calidad.** Básicamente se refieren a sus características físico-químicas y a sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto. Si el agua es potable, se supone que sus características físico-químicas son adecuadas para hacer concreto, excepto por la posibilidad de que contenga alguna sustancia saborizante.

**Propiedades.** El agua de concreto debe tener por lo menos los siguientes requisitos:

Tabla 2.9 Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua para la elaboración del concreto (valores en partes por millón).

IMPUREZAS	Tipos de cemento	
	Cementos ricos en calcio	Cementos resistentes a los sulfatos (RS)
Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas), máximo	2000	2000
Sólidos en suspensión en aguas recicladas (finos de cemento y agregados), máximo	50000	35000
Cloruros como Cl:		
Para concreto con acero de presfuerzo y piezas de puentes, máximo	400	600
Para concreto reforzados que están en ambiente húmedo o en contacto con metles como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares, máximo	700	1000
Sulfatos como $SO_2$ , máximo	3000	3500
Magnesio como Mg, máximo	100	150
Carbonatos como $CO_3$ , máximo	600	600
Bióxido de carbono disuelto como $CO_2$ , máximo	5	3
Alcalis totales como Na, máximo	300	450
Total de impurezas en solución, máximo	3500	4000
Grasas o aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido, máximo)	150	150
Potencial de hidrogeno (PH), mínimo	6	6.5

\* Se considera como agua reciclada, la que se usó en el lavado de unidades revolventoras de concreto, que después de un proceso incompleto de sedimentación se emplea en la fabricación del concreto hidráulico y que contiene en suspensión un alto porcentaje de finos del cemento y agregados, sales solubles de cemento y aditivos.

\* El agua que exceda los límites listados para cloruros, sulfatos y magnesio, podrá emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados, no excede dicho límite.

\* Cuando se utilice cloruro de calcio ( $CaCl$ ), como aditivo acelerante, se tomara en cuenta la cantidad de este para no exceder el límite de cloruros indicado en la tabla.

Fuente: Características de los materiales 2003

## 2.2.8. Diseño de mezclas método módulo de fineza de la combinación de agregados.

Como consecuencia de las investigaciones realizadas se ha podido establecer una ecuación que relaciona el módulo de fineza de los agregados fino y grueso, así como su participación porcentual en el volumen absoluto total del agregado. Dicha ecuación es:

$$m_c = r_f * m_f + r_g * m_g \dots\dots\dots(17)$$

Dónde:

$m_c$  : Módulo de fineza de la combinación de agregados.

$m_f$  : Módulo de fineza del agregado fino.

$m_g$  : Módulo de fineza del agregado grueso.

$r_f$  : Porcentaje del agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado.

$r_g$  : Porcentaje del agregado grueso en relación al volumen absoluto total de agregado.

Y conociendo que  $r_f + r_g = 100\%$  ; se tiene la siguiente ecuación:

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \times 100 \dots\dots\dots(18)$$

**2.2.8.1. Resistencia Requerida.** Según Norma E.060-2009, Cuando una instalación productora de concreto no tenga registros de ensayos de resistencia en obra para el cálculo de  $S_s$ ,  $f'_{CR}$  debe determinarse de la tabla 2.10.

Tabla 2.10. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21 \text{ MPa}$	$f'_{CR} = f'_c + 7.0 \text{ MPa}$
$35 \text{ MPa} < f'_c < 35 \text{ MPa}$	$f'_{CR} = f'_c + 8.5 \text{ MPa}$
$f'_c > 35 \text{ MPa}$	$f'_{CR} = 1.1f'_c + 5.0 \text{ MPa}$

Fuente: Norma E.060, 2009

**2.2.8.2. Elección del asentamiento (Slump).** Según Laura (2008) si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la tabla 2.11.

Tabla 2.11. Consistencia y asentamientos.

Consistencia	Asentamiento	Trabajabilidad
Seca	0" a 2"	Poco trabajable
Plástica	3" a 4"	Trabajable
Húmeda	≥ 5"	Muy Trabajable

Fuente. Laura Huanca S, 2008

**2.2.8.3. Selección de tamaño máximo del agregado.** Las normas de diseño estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que sea económicamente disponible, siempre que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura. La Norma Técnica de Edificación E. 060 prescribe que el agregado grueso no deberá ser mayor de:

- a) 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrados; o
- b) 1/3 del peralte de la losa; o
- c) 3/4 del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de presfuerzo.

**2.2.8.4. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.** La tabla 2.12. preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI, nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado, consistencia y el perfil del mismo.

Tabla 2.12. Contenido de agua de mezcla para concreto sin aire incorporado

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA EN l/m <sup>3</sup> , PARA LOS ASENTAMIENTOS Y PERFILES DEL AGREGADO GRUESO						
TAMAÑO	1" a 2"		3" a 4"		6" a 7"	
MAXIMO DEL AGREGADO	AGREGADO REDONDEADO	AGREGADO O ANGULAR	AGREGADO REDONDEADO	AGREGADO O ANGULAR	AGREGADO REDONDEADO	AGREGADO O ANGULAR
3/8	185	212	201	227	230	250
1/2	182	201	197	216	219	238
3/4	170	189	185	204	208	227
1	163	182	178	197	197	216
1 1/2	155	170	170	185	185	204
2	148	163	163	178	178	197
3	136	151	151	167	163	182

Fuente. Rivva López E, 2010

**2.2.8.5. Elección de la relación agua/cemento (a/c).** Existen dos criterios (por resistencia, y por durabilidad) para la selección de la relación a/c, de los cuales se elegirá el menor de los valores, con lo cual se garantiza el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones.

Tabla 2.13. Relación agua / cemento por resistencia

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS (kg/cm <sup>2</sup> ) f'cr	RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN PESO PARA AGREGADO GRUESO DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL INDICADO		
	3/8	3/4	1 1/2
140	0.87	0.85	0.80
175	0.79	0.76	0.71
210	0.72	0.69	0.64
245	0.66	0.62	0.58
280	0.61	0.58	0.53
315	0.57	0.53	0.49
350	0.53	0.49	0.45

\* Esta tabla ha sido confeccionada por un grupo de investigadores de la Nacional Ready Mixed Concrete Association.

\*\* Los valores corresponden a concretos sin aire incorporado. En concretos con aire incorporado, la relación agua/cemento deberá estimarse sobre la base de la reducción del 5% en la resistencia por cada 1% de aire incorporado

Fuente. Rivva López E, 2010



### 2.2.8.6. Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.

Las investigaciones realizadas en la Universidad de Maryland han permitido establecer que la combinación de los agregados fino y grueso, cuando éstos tienen granulometrías comprendidas dentro de los límites que establece la Norma ASTM C 33, debe producir un concreto trabajable en condiciones ordinarias.

Tabla 2.14. Módulo de fineza de la combinación de agregados.

TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO	MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS, EL CUAL DA LAS MEJORES CONDICIONES DE TRABAJABILIDAD PARA LOS CONTENIDOS DE CEMENTO EN SACO POR METRO CÚBICO INDICADOS			
	6	7	8	9
3/8	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4	4.96	5.04	5.11	5.19
1	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2	5.56	5.64	5.71	5.79
2	5.86	5.69	6.01	6.09
3	6.16	6.29	6.31	6.39

*Fuente. Rivva López E, 2010*

## CAPÍTULO III. METODOLOGIA, MATERIALES Y MÉTODO

### 3.1. Tipo, nivel, diseño y método de investigación.

Criterio	Tipo de investigación
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque teórico metodológico	Experimental
Objetivos (alcances)	Exploratoria
Fuente de datos	Primaria
Control en el diseño de la hipótesis	Explicativa
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Intervención disciplinaria	Unidisciplinaria

#### Población de estudio.

En la presente investigación se considerará como población a los especímenes concreto.

#### Muestra.

En la presente investigación se consideró como muestra 36 especímenes de concreto. Teniendo en cuenta lo considerado en la norma E-060 en el ítem 4.3.3. Selección de las proporciones por mezcla de prueba, inciso d) Para cada mezcla de prueba deberán prepararse y curarse por lo menos 3 probetas para cada edad de ensayo.

#### Unidad de análisis

Probeta de concreto.

#### Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Variables	Recolección de datos		
	Fuente	Técnica	Instrumento
Resistencia a la compresión	Primaria	Observación directa	Máquina de ensayos de compresión

## **3.2. Materiales**

### **3.2.1. Materiales Experimentales**

3.2.1.1. Cemento Pacasmayo Tipo I.

3.2.1.2. Agua Potable.

3.2.1.3. Microsílice.

3.2.1.4. Características y propiedades de la microsílice usada

La microsílice usada fue CHEMA FUME, proporcionado por la empresa CHEM MASTERS DEL PERU S.A. se presenta en polvo compuesto por sílice en estado cristalino que reacciona con el hidróxido de calcio del cemento para formar silicatos hidratados, de manera que se obtienen morteros y concretos de elevadas resistencias mecánicas, baja permeabilidad y mayor durabilidad. CHEMA FUME cumple con la especificación ASTM C1240.

#### a) Usos

- ✓ Elaboración de concretos y morteros de alta resistencia.
- ✓ En el concreto bajo agua en puertos, puentes, presas, reparaciones, rellenos, entre otros.
- ✓ En concretos de alta impermeabilidad y durabilidad.
- ✓ En concretos de alta resistencia (mayor a 500 kg/cm<sup>2</sup>).
- ✓ En concretos bombeados y proyectados.
- ✓ En morteros y lechadas de inyección.

#### b) Ventajas

- ✓ Disminuye la pérdida de cemento y elementos finos.
- ✓ Aumenta la resistencia mecánica.
- ✓ Aumenta la impermeabilidad.
- ✓ Aumenta la resistencia química.
- ✓ Aumenta la adherencia al acero.
- ✓ Permite utilizar mezclas altamente fluidas con alta cohesión.
- ✓ Aumenta la cohesión y disminuye la exudación de la mezcla fresca.
- ✓ Aumenta la durabilidad frente a agentes agresivos.
- ✓ Aumenta la resistencia a abrasión.

c) Preparación del producto

- ✓ Viene listo para usar.

d) Modo de Empleo

- ✓ Adicionar CHEMA FUME de la misma forma que es dosificado el cemento, en planta de premezclado en mixer, según lo especificado en la norma ASTM C94.
- ✓ Dosis recomendada: de 5% a 15% del peso del cemento.

e) Características Físico-Químicas

Aspecto	: polvo
Color	:gris
Cristalografía	:sólido amorfo
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	:2,35
Retenido sobre malla de 45 µmN° [325 ASTM] (%)	:3,7
Superficie específica BET (m <sup>2</sup> /g)	:24
Índice de actividad puzolánica, 7 días (%)	:142
Perdidas por ignición (%)	:2,4
Contenido de Sílice, SiO <sub>2</sub> (%)	:96,6
Expansión autoclave (%)	:-0,036

Fuente: CHEM MASTERS DEL PERU S.A.

3.1.5. Agregado fino de la Cantera Río Cajamarquino.

3.1.6. Agregado grueso de la cantera Río Cajamarquino.

Esta cantera está ubicada con un rumbo de S 69° E, con respecto a la ciudad de Cajamarca, en el Fundo "La Victoria", se halla constituido de agregado fino (arena) y agregado grueso (grava) de río. Para extraer el material existe buena accesibilidad durante la época que no llueve siguientes características:

Norte:	7°11'11.73" de latitud sur.
Este:	78° 27' 5.19" de longitud oeste.
Altitud promedio:	2720 m.s.n.m. aproximadamente.
Temperatura:	Varia entre los 5.5°C y los 28.8°C
Precipitación media anual:	786.4 mm.
Topografía:	Ondulada.

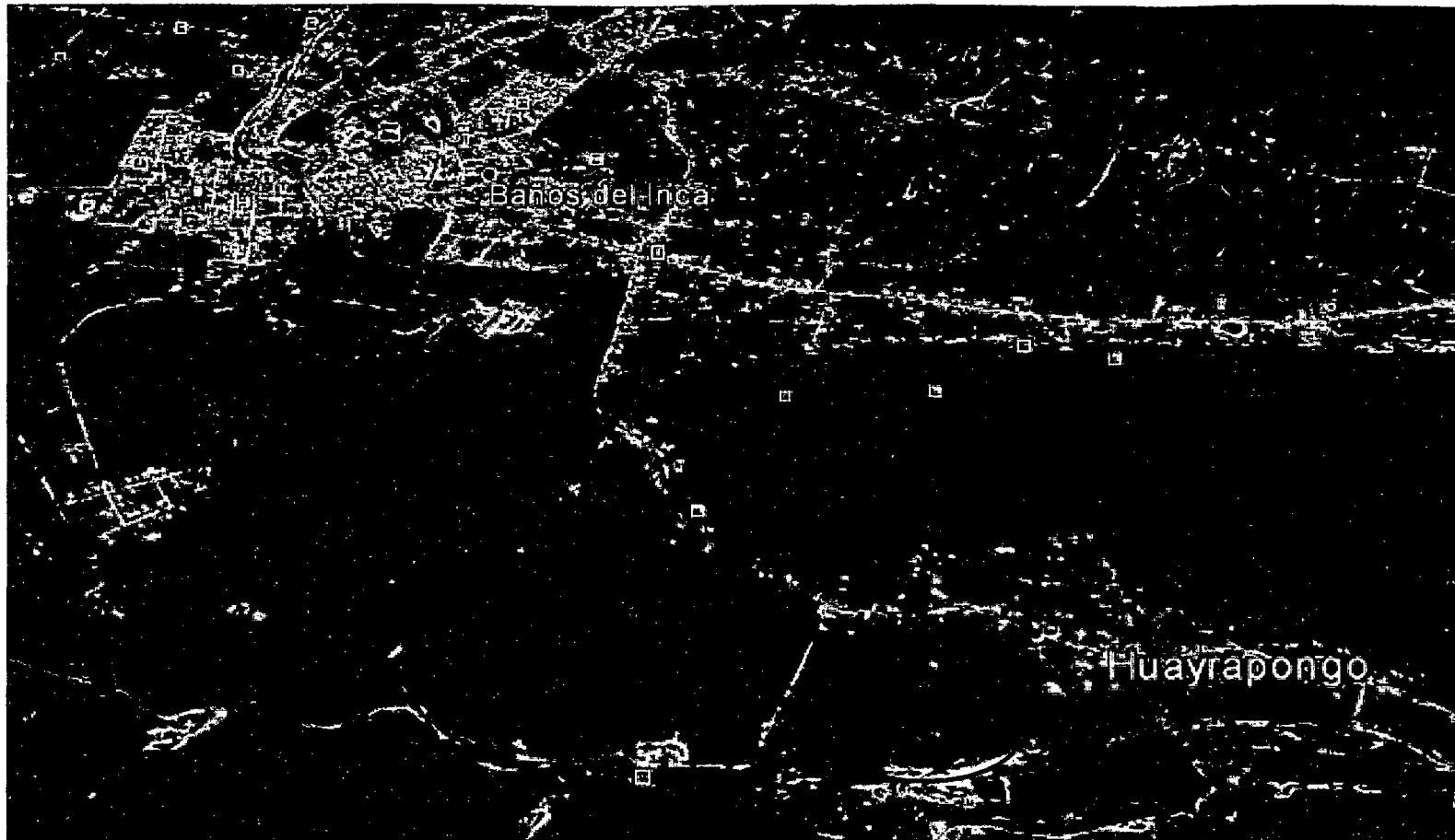


Figura 3.1 Ubicación de la Cantera Río Cajamarquino.

*Fuente: Google earth 2014*

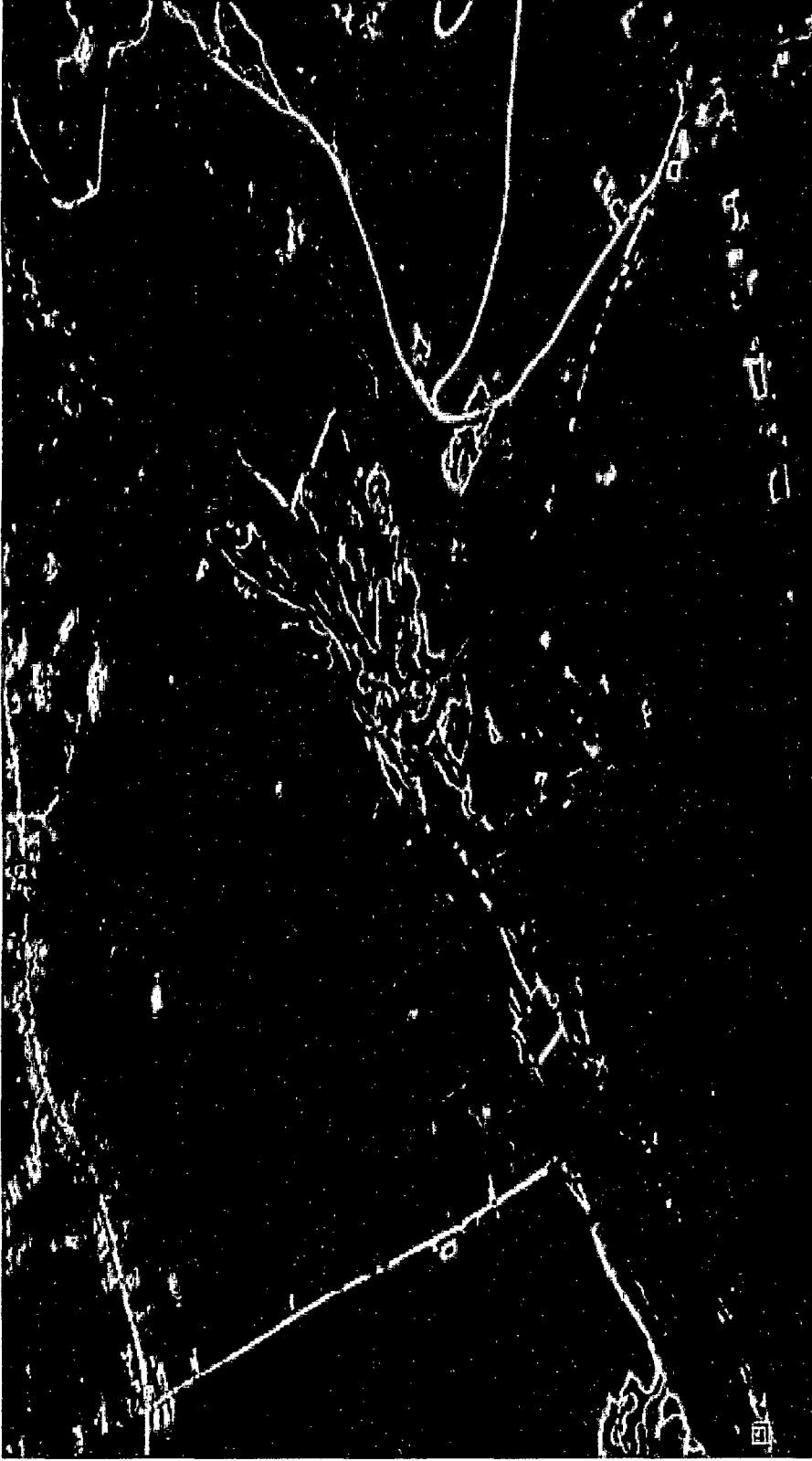


Figura 3.2. Cantera Río Cajamarquino.

Fuente: Google earth 2014

### **3.3 Equipos.**

- ✓ Tamices para selección del agregado.
- ✓ Balanza electrónica con aproximación adecuada.
- ✓ Probeta graduada.
- ✓ Herramientas: palanas, badilejo, balde, cucharón, enrazador, reglas graduadas, calibrador, etc.
- ✓ Cono de Abrahams, varilla de fierro de 60 cm. de largo y 5/8' de diámetro, semi-redondeado en un extremo.
- ✓ Mezcladora de 2.5 pie<sup>3</sup>.
- ✓ Kaping
- ✓ Prensa hidráulica.
- ✓ Deflectómetro.

### **3.4 Procedimiento**

Al inicio del planteamiento del proyecto se tiene contemplado estudiar la resistencia a la compresión simple, para lo cual se elaborará un concreto patrón sin aditivo, luego se elaborarán concretos con tres dosificaciones de microsílice estas proporciones son 0.5%, 0.8% y 10% del cemento.

Los agregados utilizados en la investigación constituyen en promedio 65% del volumen total de una mezcla de concreto y muchas de las propiedades principalmente mecánicas dependen directamente de los agregados, es decir, de sus propiedades físicas y químicas.

El agregado fino proviene de la cantera del río Cajamarquino y cumplen con las normas; cumplen con la NTP 400.037 Y la Norma ASTM C 33.

#### **3.4.1. Preparación del concreto**

##### **3.4.2.1. Diseño del concreto patrón - CPA**

Para el diseño del concreto patrón se usó el Método módulo de fineza de la combinación de agregados, de donde se obtuvo 970.91 Kg/m<sup>3</sup> de agregado fino, 819.63 Kg/m<sup>3</sup> de agregado grueso, 320.07 Kg/ m<sup>3</sup> de cemento y una relación

agua-cemento 0.58 para obtener un asentamiento de 3 a 4 pulgadas. Este diseño no posee en su composición ningún aditivo ni adición.

#### 3.4.2.2. Diseño del concreto con aditivo microsílíce – CMS5, CMSF8 y CMS10

Para el diseño del concreto con microsílíce (CMS 5) se mantuvo la misma relación agua-cemento 0.58, el contenido constante de cemento 320.07 kg/m<sup>3</sup>, contenido de microsílíce 16 Kg (5% del peso del cemento) y 961.36 Kg/m<sup>3</sup> de agregado fino y 811.56 Kg/m<sup>3</sup> de agregado grueso.

Para el diseño del concreto con aditivo más microsílíce (CMS 8) se mantuvo la misma relación agua-cemento 0.58, el contenido constante de cemento 320.07 kg/m<sup>3</sup>, contenido de microsílíce 25.61 Kg (8% del peso del cemento) y 955.63 Kg/m<sup>3</sup> de agregado fino y 806.72 Kg/m<sup>3</sup> de agregado grueso.

Para el diseño del concreto con aditivo más microsílíce (CMS10) se mantuvo la misma relación agua-cemento 0.58, el contenido constante de cemento 320.07 kg/m<sup>3</sup>, contenido de microsílíce 32.01 Kg (10% del peso del cemento) y 951.80 Kg/m<sup>3</sup> de agregado fino y 803.50 Kg/m<sup>3</sup> de agregado grueso.

Tabla 3.1. Resumen de los diseños de mezcla finales

Mezcla	a/c	Agregado fino (Kg)	Agregado grueso (Kg)	Microsílíce (Kg)
CPA	0.58	970.91	819.63	.....
CMS 5	0.58	961.36	811.56	16.00
CMS 8	0.58	955.63	806.72	25.61
CMS 10	0.58	951.80	803.50	32.01

Fuente: Elaboración propia



## **3.5 Tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados**

### **3.5.1 Tratamiento de datos.**

**3.5.1.1 Construcción de dispersogramas.** Gráficos que se construyen sobre dos ejes ortogonales de coordenadas, llamados cartesianos, cada punto corresponde a un par de valores de datos  $x$  e  $y$  de un mismo elemento suceso.

En algunos ensayos de acuerdo a su naturaleza y como la metodología lo exige se tienen que construir dispersogramas. Resistencia a la compresión, esta operación como su nombre lo indica consistió en la construcción de dichos dispersogramas.

También se realizó la construcción de histogramas para el análisis de la resistencia a la compresión para 7, 14 y 28 días de vida del concreto patrón y para las diferentes dosificaciones de microsilice.

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

La cantera río Cajamarquino que fue elegida para la presente investigación por presentar agregados limpios y calidad. Esta cantera está constituida de grandes acumulaciones de material fluvial en ambos márgenes del río Cajamarquino.

### **4.1 Características físicas y mecánicas de los agregados**

Las características físicas y mecánicas de los agregados de la cantera río Cajamarquino se obtuvieron del promedio de los datos obtenidos de tres ensayos consecutivos de los agregados, a continuación se presentan los resultados en la tabla 4.3.

#### **4.1.1. Granulometría de los agregados**

La distribución de los tamaños del agregado, la granulometría está directamente relacionada con las características de manejabilidad del concreto en estado fresco, la demanda de agua, la compactación y la resistencia mecánica del concreto en estado endurecido. Los resultados del análisis granulométrico de los agregados se presentan en las tablas 4.1 y 4.2

Tabla 4.1. Granulometría del agregado fino utilizado

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (gr) Muestra N° 01	Peso retenido (gr) Muestra N° 02	Peso retenido (gr) Muestra N° 03	Peso Retenido (gr) Promedio	% Retenido	% Ret. Acum.	% que pasa
3	75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
2 ½	63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
2	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
1 ½	37.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
1	25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
¾	19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
½	12.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
3/8	9.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
4	4.75	295.50	295.55	292.51	294.52	19.64	19.64	80.36
8	2.38	289.00	289.10	285.20	287.77	19.19	38.83	61.17
16	1.18	190.50	195.00	193.00	192.83	12.86	51.69	48.31
30	0.60	136.00	138.56	138.81	137.79	9.19	60.87	39.13
50	0.30	254.00	251.40	245.90	250.43	16.70	77.57	22.43
100	0.15	202.00	206.39	200.49	202.96	13.53	91.11	8.89
200	0.07	93.50	95.50	91.58	93.53	6.24	97.34	2.66
Cazoleta		39.50	43.50	36.51	39.84	2.66	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

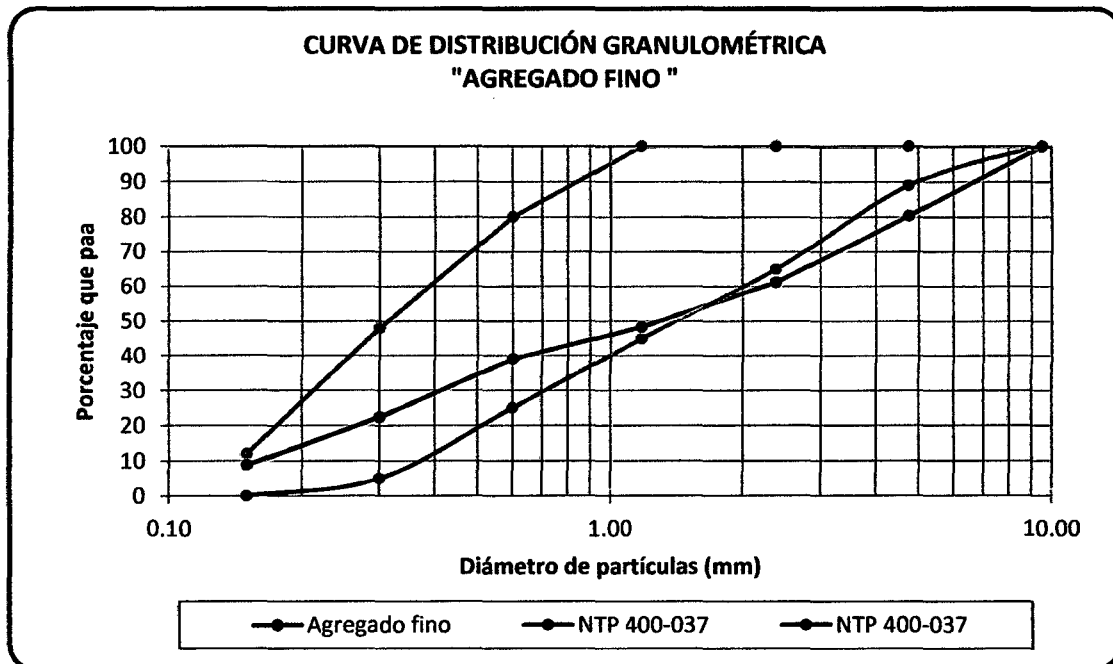


Gráfico 4.1. Curva granulométrica del agregado fino

Tabla 4.2. Granulometría del agregado grueso utilizado

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr) Muestra N° 01	Peso Retenido (gr) Muestra N° 02	Peso Retenido (gr) Muestra N° 03	Peso Retenido (gr) Promedio	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
3	75.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½	63.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½	37.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
¾"	19.00	2896.15	2474.15	2135.15	2501.82	30.12	30.12	69.88
½"	12.70	2546.25	2546.25	2644.25	2578.92	31.05	61.16	38.84
⅜"	9.51	748.60	748.60	853.60	783.60	9.43	70.60	29.40
4	4.76	2229.00	2231.00	2867.00	2442.33	29.40	100.00	0.00
8	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
16	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
30	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
50	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
100	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
200	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
Cazole ta		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

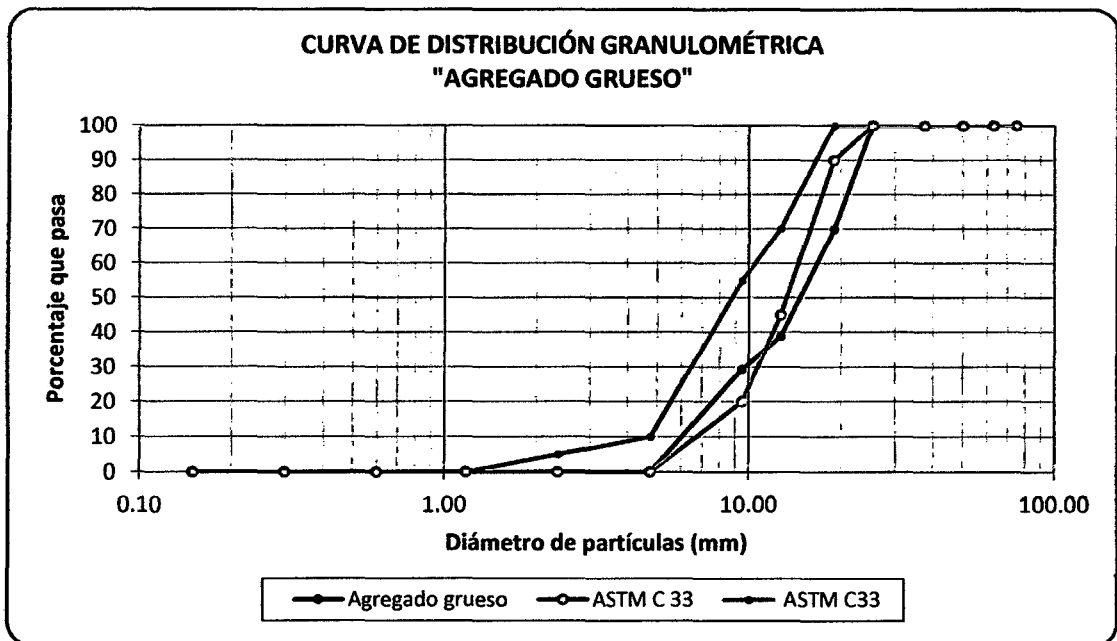


Gráfico 4.2. Curva granulométrica del agregado grueso

Tabla 4.3. Características físicas y mecánicas de los agregados

Descripción	Agregado fino	Agregado Grueso	Unidad
Cantera	Río Cajamarquino	Río Cajamarquino	.....
Peso específico de Masa	2.53	2.54	gr/cm3
Peso unitario seco suelto	1502.24	1344.98	Kg/cm3
Peso unitario seco compactado	1626.98	1462	Kg/cm3
Peso específico superficialmente seco	2.65	2.59	gr/cm3
Peso específico aparente	2.60	2.61	gr/cm3
Módulo de finura	3.40	7.01	...
Contenido de Humedad	3.85	0.25	%
Absorción	1.12	1.09	%
Partículas menores a #200	2.80	.....	%
Perfil	redondeado	redondeado	.....
T.M.N	....	3/4	pulg
Abrasión	....	28.00	%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. En la mayoría de los casos los requerimientos de resistencia a la compresión se alcanzan a los 28 días. La resistencia a la compresión del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir su fractura entre el área promedio de su sección transversal. Los ensayos a compresión se realizaron en especímenes cilíndricos de 6x12 pulgadas curados bajo agua y se ensayaron a las edades de 7, 14 Y 28 días. Los resultados de los ensayos a compresión se muestran en las tablas 4.5, 4.6 y en los gráficos 4.3, 4.4 y 4.5.

Tabla 4.5. Resistencia a la compresión

Edad	Concreto	Probeta N°	Carga (Kg)	Resistencia f <sub>cr</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> =f <sub>cr</sub> -7Mpa (Kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
7 DÍAS	CPA	01	43,100.00	237.52	167.52	165.45
		02	42,840.00	236.09	166.09	
		03	42,232.00	232.74	162.74	
	CMS 5	01	62,270.00	343.16	273.16	269.01
		02	61,380.00	338.26	268.26	
		03	60,900.00	335.61	265.61	
	CMS 8	01	56,590.00	311.86	241.86	246.64
		02	58,070.00	320.02	250.02	
		03	57,710.00	318.03	248.03	
CMS 10	01	53,710.00	295.99	225.99	228.29	
	02	54,630.00	301.06	231.06		
	03	54,040.00	297.81	227.81		
14 DÍAS	CPA	01	45,050.00	248.27	178.27	186.51
		02	47,940.00	264.19	194.19	
		03	46,650.00	257.08	187.08	
	CMS 5	01	63,730.00	351.21	281.21	282.20
		02	64,060.00	353.03	283.03	
		03	63,940.00	352.37	282.37	
	CMS 8	01	62,390.00	343.82	273.82	272.49
		02	61,960.00	341.45	271.45	
		03	62,095.00	342.20	272.20	
CMS 10	01	60,680.00	334.40	264.40	262.29	
	02	60,050.00	330.93	260.93		
	03	60,163.00	331.55	261.55		
28 DÍAS	CPA	01	52,260.00	288.00	218.00	223.17
		02	53,155.00	292.93	222.93	
		03	54,182.00	298.59	228.59	
	CMS 5	01	68,850.00	379.42	309.42	308.66
		02	68,190.00	375.79	305.79	
		03	69,095.00	380.78	310.78	
	CMS 8	01	63,750.00	351.32	281.32	279.69
		02	63,530.00	350.11	280.11	
		03	63,082.00	347.64	277.64	
CMS 10	01	63,160.00	348.07	278.07	276.69	
	02	62,700.00	345.53	275.53		
	03	62,870.00	346.47	276.47		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6. Porcentaje del incremento de resistencia

Mezcla	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )			Incremento de la resistencia
	Edad en días			
	7	14	28	
CPA	165	187	223	6.30%
CMS 5	269	282	309	46.98%
CMS 8	247	272	280	33.19%
CMS 10	228	262	277	31.76%

Fuente: Elaboración propia

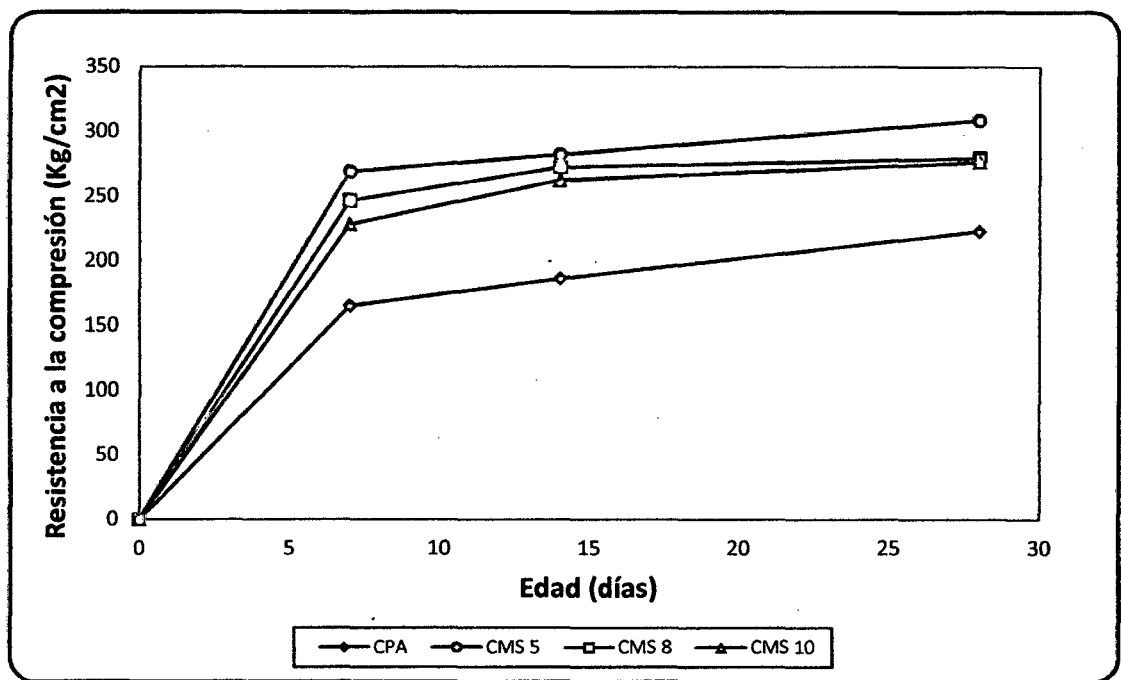


Grafico 4.3. Resistencia a la compresión para diferentes diseños de mezcla

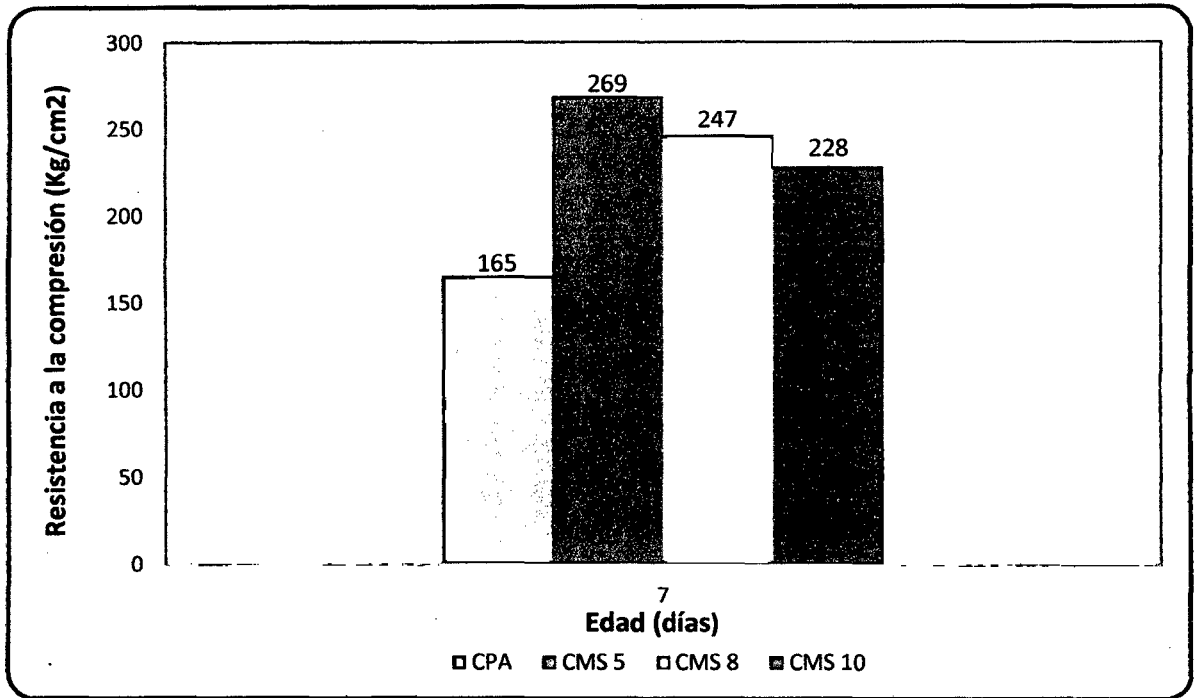


Grafico 4.4. Resistencia a la compresión a los 7 días de vida para diferentes diseños de mezcla.

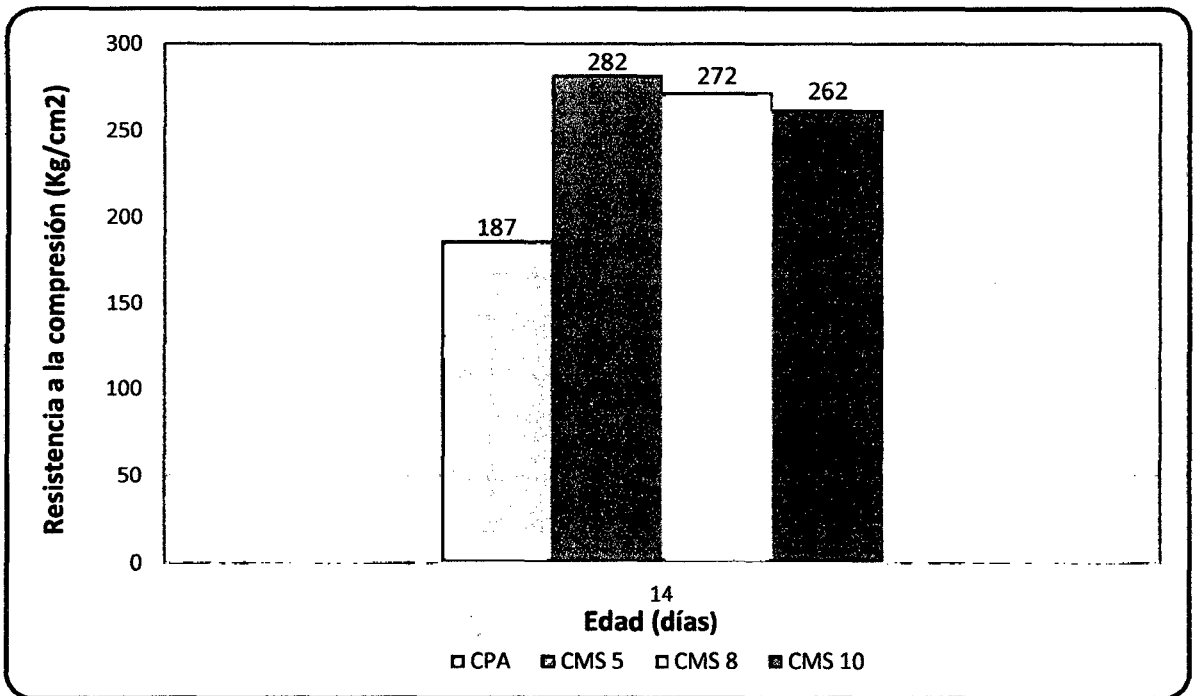


Grafico 4.5. Resistencia a la compresión a los 14 días de vida para diferentes diseños de mezcla.



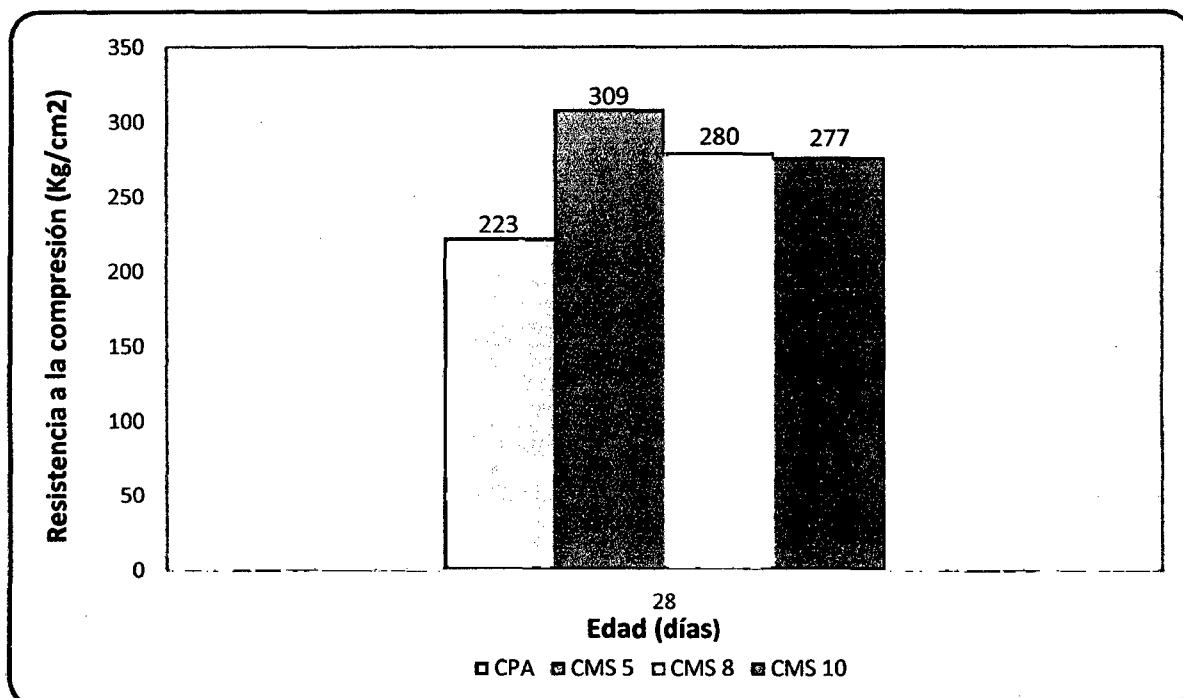


Grafico 4.6. Resistencia a la compresión a los 28 días de vida para diferentes diseños de mezcla.

### 4.3. Discusión de resultados

#### 4.3.1 Generalidades

Los resultados obtenidos a nivel general son alentadores, ya que por primera vez se ha elaborado concreto con microsílíce y utilizando agregados de la cantera Río Cajamarquino de tamaño máximo nominal de 3/4" que ha hecho posible mejorar la resistencia a la compresión del concreto  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

#### 4.3.2. Agregados

De los resultados de los ensayos realizados a los agregados se obtiene que:

- ✓ La granulometría del agregado fino se ajustó a los límites de gradación indicada en la NTP 400.037
- ✓ El agregado fino usado presenta un 2.46% de finos que pasan la malla N° 200 según la NTP 400.018
- ✓ La granulometría del agregado grueso se ajustó aproximadamente al límite de gradación N° 67 indicado en la norma ASTM C 33, desviándose en la parte

superior de la curva hacia la derecha, lo cual es un indicador de que el agregado grueso tiene un exceso de partículas finas.

- ✓ El tamaño máximo nominal del agregado grueso fue elegido teniendo en consideración que el concreto elaborado en la presente investigación se utilizará en estructuras altamente reforzadas.

#### **4.3.3. Resistencia a la compresión**

- ✓ Las mezclas con microsilíce presentan resistencias a la compresión superiores a la mezcla del concreto patrón (CPA).
- ✓ La resistencia a la compresión de las mezclas de microsilíce disminuyen en función del incremento de sus dosis.
- ✓ La máxima resistencia a la compresión fue de 309 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días, obtenido con el 5% de microsilíce.
- ✓ El incremento de resistencia a la compresión del concreto elaborado con microsilíce es muy importante ya que a los 7 días alcanza los 269 kg/cm<sup>2</sup> , a los 14 días alcanza los 282 kg/cm<sup>2</sup> y a los 28 días alcanza los 309 kg/cm<sup>2</sup> tal como se muestra en la tabla 4.6

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

- La mejor dosificación de microsilíce para mejorar la resistencia del concreto fue el 5% del peso del cemento.
- Los concretos con adiciones de microsilíce (5%, 8%, 10% del peso del cemento) reportan resistencias a la compresión superiores al concreto elaborado sin ninguna adición (concreto patrón).
- La máxima resistencia a la compresión se obtuvo con el 5% de microsilíce la cual fue de 309 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.
- Los porcentajes de incremento de la resistencia fueron del 46%, 33.19% y 31.76% para las dosificaciones de 5%, 8% y 10% de microsilíce, respectivamente.

## **5.2 Recomendaciones**

- Realizar investigaciones con microsilíce en porcentajes menores al 5% del peso del cemento.
- Investigar la durabilidad del concreto elaborado con microsilíce.
- Realizar investigaciones de concreto elaborado con microsilíce y un aditivo reductor de agua.
- Investigar las propiedades del concreto fresco elaborado con microsilíce.
- Realizar la rotura de probetas a la edad de 90 días, realizadas con microsilíce.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNIT-HAMOU, Arezki; PETROV, Nikola; LUKE, Karen 2003 Properties of concrete containing diatomaceous earth, pp.73-78 En: ACI materials journal Vol 100.
- Edher Huincho Salvatierra, Tesis: "CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA USANDO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE, MICROSILICE y NANOSILICE CON CEMENTO PORTLAND TIPO 1". Lima Perú 2011.
- Fuchs H. 2010. La microsilice en concretos de alto desempeño y durabilidad. disponible en (<http://es.scribd.com/doc/92236594/La-Microsilice-Revisado-1-Enero-28>).
- GONZALES DE LA COTERA, Manuel 2005 Adiciones minerales, Lima: Indecopi (consulta: 1 de junio) (<http://www.bvindecopi.gob.pe/ponenormaliz/Cpnstruccion-GGonzalesDeLaCotera.ppt>)
- Rivva López, E. 2000. Naturaleza y materiales del concreto. Lima-Perú. Hozlo S.CR.L., 290.
- Norma ASTM C 33: Especificación Normalizada de Agregados para Concreto.
- Norma ASTM C 150: Especificación Normalizada para Cemento Portland.
- Rivva López, E. 1998. Tecnología del Concreto. Lima-Perú. Hozlo S.CR.L., 290.

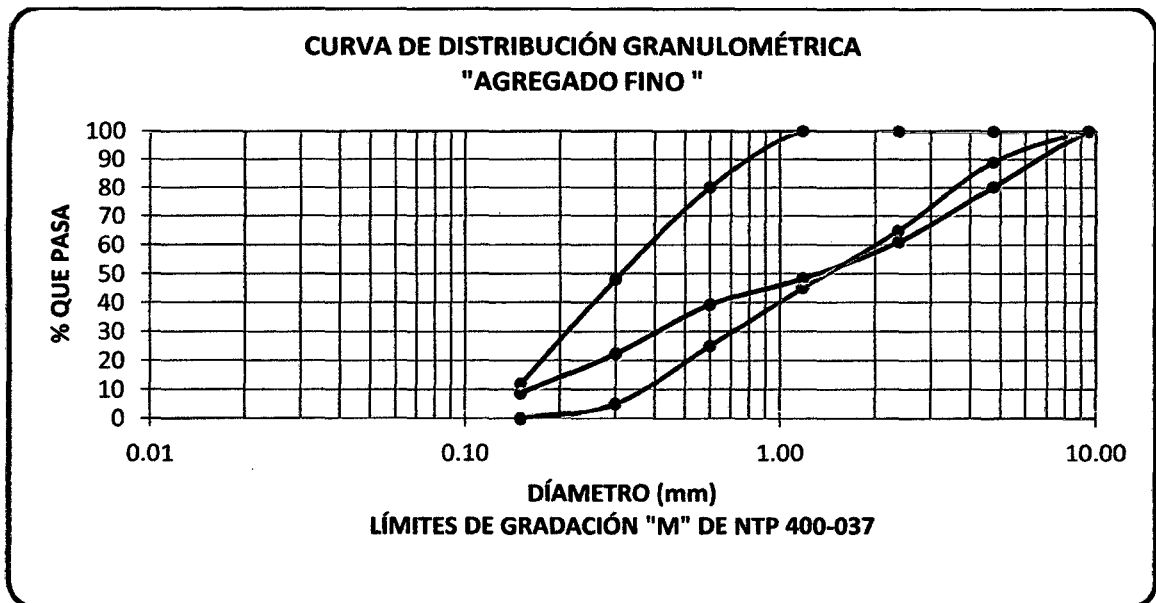
## ANEXOS

### Cálculo de las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino

#### 1. Análisis granulométrico en seco

P. Muestra secada al horno (ensayo 01)      1500.00g

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA
3	75	0.00	0.00	0.00	100
2 ½	63	0.00	0.00	0.00	100
2	50	0.00	0.00	0.00	100
1 ½	37.5	0.00	0.00	0.00	100
1	25	0.00	0.00	0.00	100
¾	19	0.00	0.00	0.00	100
½	12.5	0.00	0.00	0.00	100
⅜	9.5	0.00	0.00	0.00	100
4	4.75	295.50	19.70	19.70	80.30
8	2.38	289.00	19.27	38.97	61.03
16	1.18	190.50	12.70	51.67	48.33
30	0.60	136.00	9.07	60.73	39.27
50	0.30	254.00	16.93	77.67	22.33
100	0.15	202.00	13.47	91.13	8.87
200	0.07	93.50	6.23	97.37	2.63
Cazoleta		39.50	2.63	100.00	0.00



D10 = 0.194

Cu = 4.918

D30 = 0.390

Cc = 0.822

$$D60 = 0.954$$

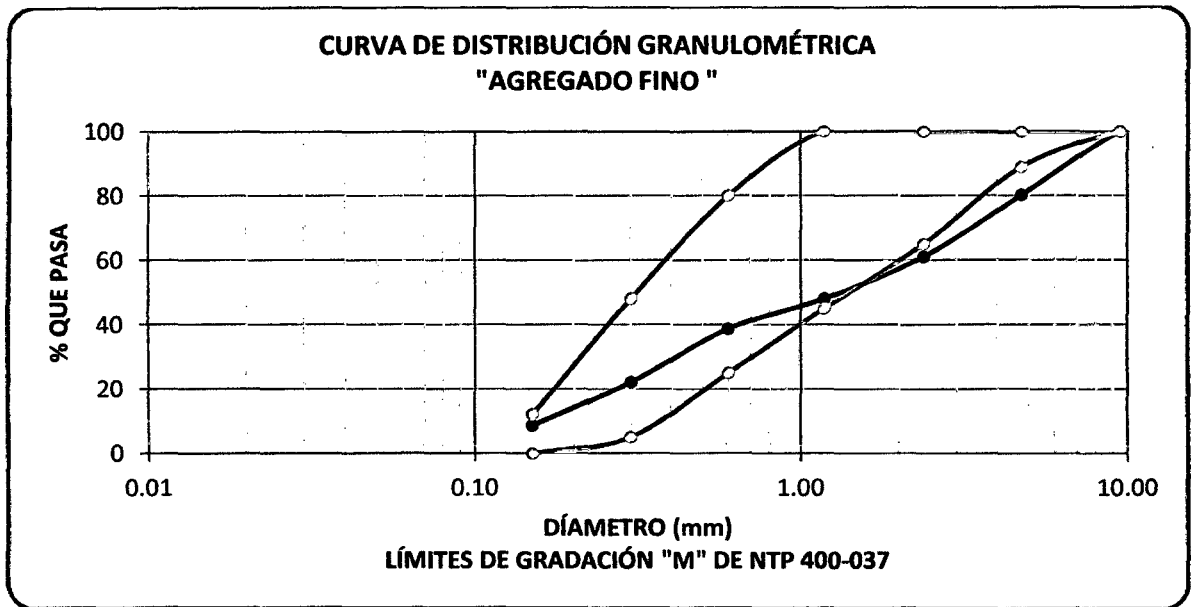
$$Mf = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100}$$

$$Mf = \frac{19.7+38.97+51.67+60.73+77.67+91.13}{100}$$

$$Mf = 3.40$$

P. Muestra secada al horno (ensayo 02) 1515.00g

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA
3	75	0.00	0.00	0.00	100
2 ½	63	0.00	0.00	0.00	100
2	50	0.00	0.00	0.00	100
1 ½	37.5	0.00	0.00	0.00	100
1	25	0.00	0.00	0.00	100
¾	19	0.00	0.00	0.00	100
½	12.5	0.00	0.00	0.00	100
3/8	9.5	0.00	0.00	0.00	100
4	4.75	295.55	19.51	19.51	80.49
8	2.38	289.10	19.08	38.59	61.41
16	1.18	195.00	12.87	51.46	48.54
30	0.60	138.56	9.15	60.61	39.39
50	0.30	251.40	16.59	77.20	22.80
100	0.15	206.39	13.62	90.83	9.17
200	0.07	95.50	6.30	97.13	2.87
Cazoleta		43.50	2.87	100.00	0.00



D10 = 0.208

Cu = 5.692

D30 = 0.440

Cc = 0.786

D60 = 1.184

$$MF = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100}$$

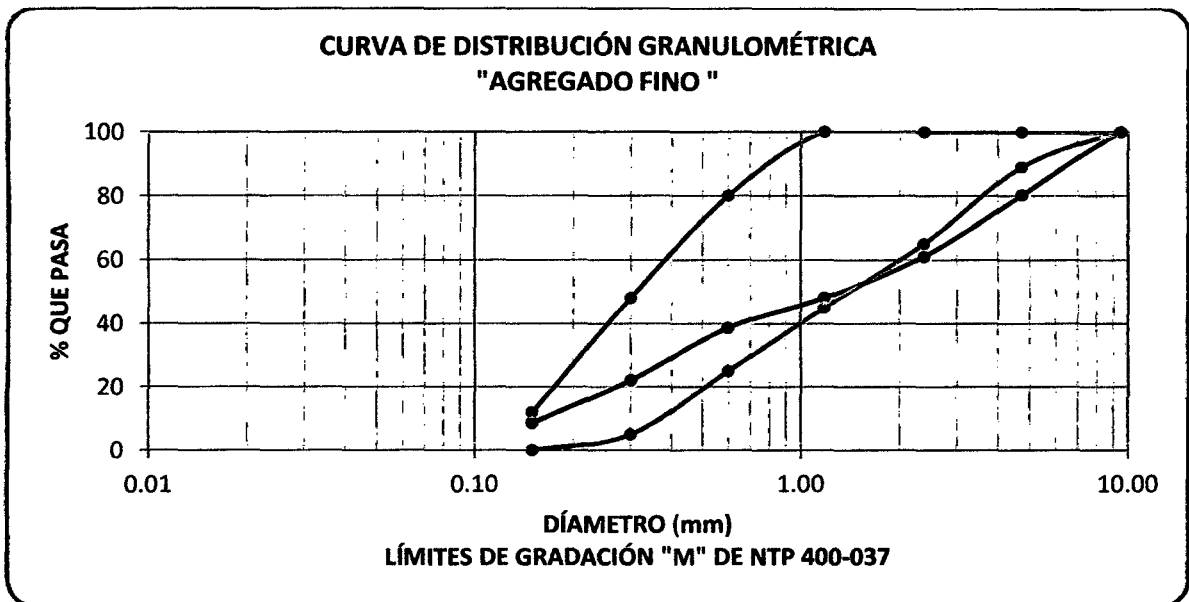
$$MF = \frac{19.51 + 38.59 + 51.46 + 60.61 + 77.2 + 90.83}{100}$$

$$MF = 3.38$$



P. Muestra secada al horno (Ensayo 03) 1484.00g

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA
3	75	0.00	0.00	0.00	100
2 ½	63	0.00	0.00	0.00	100
2	50	0.00	0.00	0.00	100
1 ½	37.5	0.00	0.00	0.00	100
1	25	0.00	0.00	0.00	100
¾	19	0.00	0.00	0.00	100
½	12.5	0.00	0.00	0.00	100
3/8	9.5	0.00	0.00	0.00	100
4	4.75	292.51	19.71	19.71	80.29
8	2.38	285.20	19.22	38.93	61.07
16	1.18	193.00	13.01	51.93	48.07
30	0.60	138.81	9.35	61.29	38.71
50	0.30	245.90	16.57	77.86	22.14
100	0.15	200.49	13.51	91.37	8.63
200	0.07	91.58	6.17	97.54	2.46
Cazoleta		36.51	2.46	100.00	0.00



D10 = 0.215  
D30 = 0.465  
D60 = 1.356

Cu = 6.307  
Cc = 0.742

$$MF = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100}$$

$$MF = \frac{19.71+38.93+51.93+61.29+77.86+91.37}{100}$$

$$MF = 3.41$$

## 2. Módulo de Finura

Ensayo 01	3.40
Ensayo 02	3.38
Ensayo 03	3.41
<b>Promedio</b>	<b>3.40</b>

## 3. Peso específico y absorción

Ws: Peso de la Muestra seca

Ws1	494.4 gr
Ws2	494.6 gr
Ws3	494.4 gr

A: Peso de la Fiola + Muestra

A1	712 gr
A2	712 gr
A3	712 gr

B: Peso de fiola + Agua + Muestra

B1	1019 gr
B2	1021 gr
B3	1022 gr

S: Peso de la muestra saturada Con superficie seca

S1	500 gr
S2	500 gr
S3	500 gr

Va: Volumen de Agua Añadida= B-S-A+500

Va1	302.60 cm <sup>3</sup>
Va2	304.60 cm <sup>3</sup>
Va3	305.60 cm <sup>3</sup>

**A) Peso específico de masa**

$$Pe.m = \frac{Ws}{S-Va}$$

$$Pe.m 1 = \frac{494.40}{500-302.6}$$

$$Pe.m 1 \quad 2.50 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pe.m 2 = \frac{494.40}{500-304.6}$$

$$Pe.m 2 \quad 2.53 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pe.m 3 = \frac{494.60}{500-305.6}$$

$$Pe.m 3 \quad 2.54 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pe.m = 2.53 \text{ gr/cm}^3$$

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Material (Kg)	494.40	494.60	494.40
Peso del materia saturado con superficie seca (Kg)	500.00	500.00	500.00
Volumen de agua añadida (cm³)	302.60	304.60	305.60
Peso específico de masa (Kg/m³)	2.50	2.53	2.54
<b>Peso específico de masa</b>	<b>2.53 Kg/m3</b>		

**B) Peso específico de masa saturada superficialmente seca**

$$Pe S.S.S = \frac{S}{S-Va}$$

$$Pe S.S.S 1 = \frac{500}{500-302.6}$$

$$Pe S.S.S 1 \quad 2.53 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pe S.S.S 2 = \frac{500}{500-304.6}$$

$$Pe S.S.S 2 \quad 2.56 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pe S.S.S 3 = \frac{500}{500-305.6}$$

$$Pe S.S.S 3 \quad 2.57 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pem S.S.S \quad 2.55 \text{ gr/cm}^3$$

Ensayo N°	1	2	3
Peso del materia saturado con superficie seca (Kg)	500.00	500.00	500.00
Volumen de agua añadida (cm³)	302.60	304.60	305.60
Peso específico superficialmente seco (Kg/m³)	2.53	2.56	2.57
<b>Peso específico saturado superficialmente seco</b>	<b>2.55 Kg/m3</b>		

**C) Peso específico nominal o parente**

$$Pe.a = \frac{Ws}{(S-Va)-(S-Ws)}$$

$$Pe.a 1 = \frac{494.40}{500-302.6-500+494.4}$$

$$Pe.a 1 = 2.58 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pe.a 2 = \frac{494.60}{500-304.6-500+494.6}$$

$$Pe.a 2 = 2.60 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pe.a 3 = \frac{494.40}{500-305.6-500+494.4}$$

$$Pe.a 3 = 2.62 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pe.a = 2.60 \text{ gr/cm}^3$$

Ensayo N°	1	2	3
Peso del materia (Kg)	494.40	494.60	494.40
Peso del material saturado con superficie seca (Kg/m³)	500.00	500.00	500.00
Volumen de agua añadida (cm³)	302.60	304.60	305.60
Peso específico aparente (Kg/m³)	2.58	2.60	2.62
<b>Peso específico aparente</b>	<b>2.60 Kg/m3</b>		

**D) Absorción**

$$Abs = \frac{S-Ws}{Ws} \times 100$$

$$Abs 1 = \frac{500-494.4}{494.4} \times 100$$

$$Abs 1 = 1.13 \%$$

$$Abs 2 = \frac{500-494.6}{494.6} \times 100$$

$$Abs 2 = 1.09 \%$$

$$Abs 3 = \frac{500-494.4}{494.4} \times 100$$

$$Abs 3 = 1.13 \%$$

**Abs =1.12 %**

#### 4. Contenido de Humedad

$$W = \frac{A-B}{B} \times 100$$

A: Peso de la muestra humeda

B: Peso de la muestra seca

$$A1 = 1110\text{gr}$$

$$B1 = 1080\text{gr}$$

$$A2 = 1396\text{gr}$$

$$B2 = 1322\text{gr}$$

$$A3 = 772.8\text{gr}$$

$$B3 = 749\text{gr}$$

$$W1 = \frac{1110-1080}{1080} \times 100$$

$$\text{Abs 1} = 2.78 \%$$

$$W2 = \frac{1396-1322}{1322} \times 100$$

$$\text{Abs 2} = 5.60 \%$$

$$W3 = \frac{772.8-749}{749} \times 100$$

$$\text{Abs 3} = 3.18 \%$$

**Promedio =3.85 %**

#### 5. Peso Unitario

##### A) Peso unitario seco Suelto

V. Agua en el molde 5699.71  
cm<sup>3</sup>  
P Agua en el molde 5.700 Kg

$$F = \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{\text{P Agua en el molde}}$$

$$F = \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{5.700 \text{ Kg}}$$

$$F = 175.45/\text{m}^3$$

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Molde (Kg)	8.21	8.21	8.21
Peso del Molde + Material (Kg)	16.74	16.82	16.76
Peso del Material (Kg)	8.53	8.61	8.55
Factor de medida: F (m³)	175.45	175.45	175.45
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1496.57	1510.08	1500.08
<b>Peso Unitario Suelto</b>	<b>1502 Kg/m3</b>		

**B) Peso unitario seco Compactado**

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Molde (Kg)	8.21	8.21	8.21
Peso del Molde + Material (Kg)	17.57	17.43	17.45
Peso del Material (Kg)	9.36	9.22	9.24
Factor de medida: F (m³)	175.45	175.45	175.45
Peso Unitario Compactado (Kg/m³)	1642.19	1617.63	1621.14
<b>Peso Unitario Compactado</b>	<b>1627 Kg/m3</b>		

**6. Porcentaje que pasa el tamiz # 200 (Sin lavado previo)**

$$\% \text{ Pasa tamiz N° 200} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

W<sub>i</sub>: Peso seco de la muestra Original

W<sub>f</sub>: Peso seco de la muestra después del lavado

W <sub>i</sub> 1	=500 gr	W <sub>f</sub> 1	=486 gr
W <sub>i</sub> 2	=500 gr	W <sub>f</sub> 2	=487 gr
W <sub>i</sub> 3	=500 gr	W <sub>f</sub> 3	=485 gr

$$\% \text{ Pasa tamiz N° 200} = \frac{500-486}{486 \text{ gr}} \times 100$$

$$\% \text{ Pasa tamiz N° 200} = 2.80 \%$$

$$\% \text{ Pasa tamiz N° 200} = \frac{500-487}{487 \text{ gr}} \times 100$$

$$\% \text{ Pasa tamiz N° 200} = 2.60 \%$$

$$\% \text{ Pasa tamiz N° 200} = \frac{500-485}{485 \text{ gr}} \times 100$$

$$\% \text{ Pasa tamiz N° 200} = 3.00 \%$$

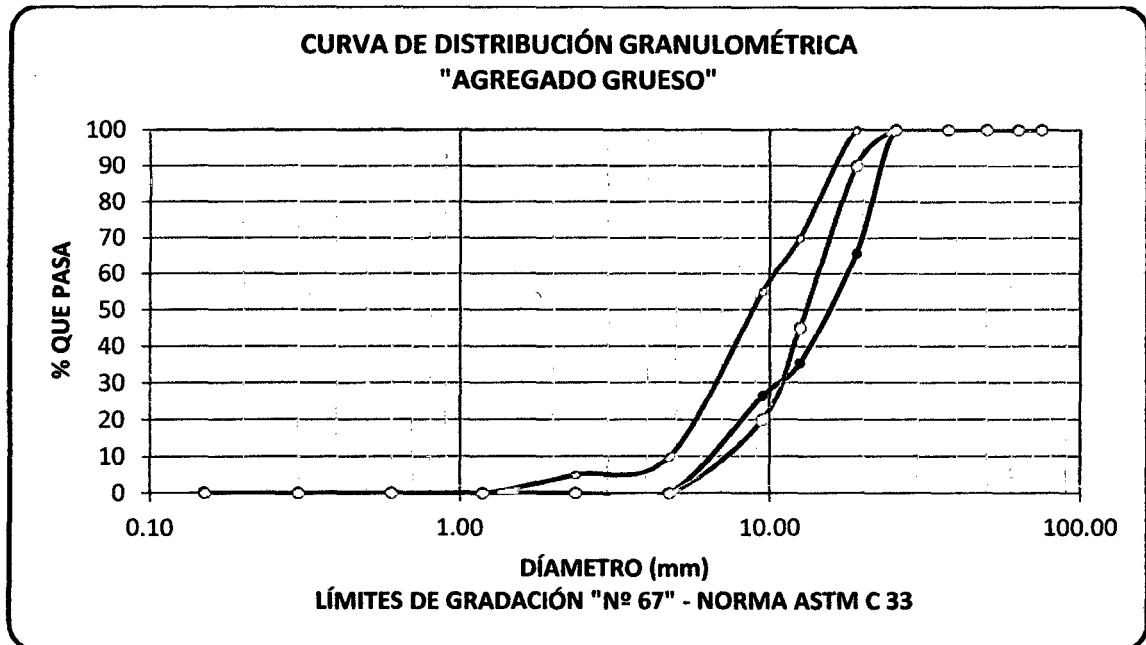
**% Promedio 2.80 %**

## Cálculo de las propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso

### 1. Análisis granulométrico en seco

P. Muestra secada al horno (Ensayo 01) 8.42 Kg

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA
3	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
¾"	19.00	2896.15	34.40	34.40	65.60
½"	12.50	2546.25	30.24	64.64	35.36
⅜"	9.50	748.60	8.89	73.53	26.47
4	4.75	2229.00	26.47	100.00	0.00
8	2.36	0.00	0.00	100.00	0.00
16	1.18	0.00	0.00	100.00	0.00
30	0.60	0.00	0.00	100.00	0.00
50	0.30	0.00	0.00	100.00	0.00
100	0.15	0.00	0.00	100.00	0.00
200	0.08	0.00	0.00	100.00	0.00
Cazoleta		0.00	0.00	100.00	0.00



D10 = 6.261  
D30 = 9.953  
D60 = 15.607

Cu = 2.493  
Cc = 1.014

$$MF = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices (1", 3/4", 3/8", N°4)+500}}{100}$$

$$MF = \frac{0+34.4+73.53+100+500}{100}$$

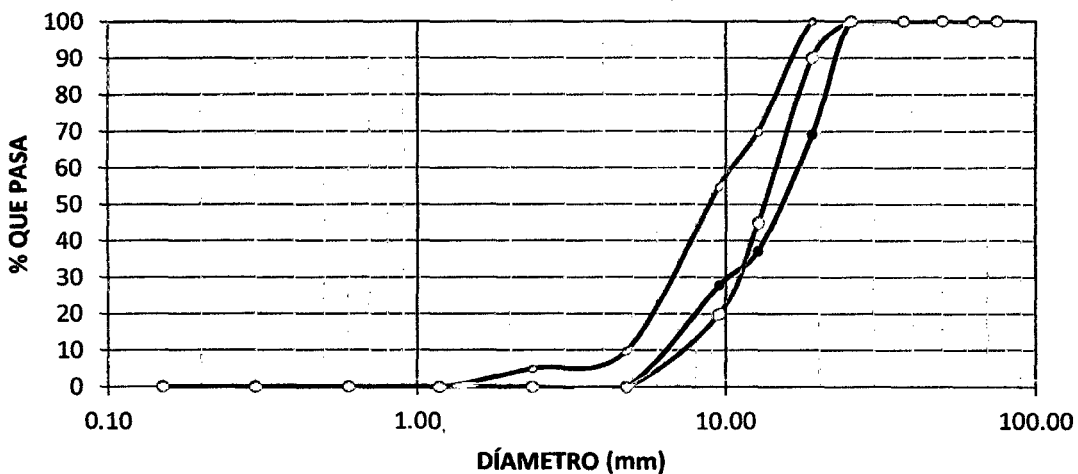
$$MF = 7.08$$

P. Muestra secada al horno (Ensayo 02) 8.00 Kg

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA
3	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	2474.15	30.93	30.93	69.07
1/2"	12.70	2546.25	31.83	62.76	37.25
3/8"	9.51	748.60	9.36	72.11	27.89
4	4.76	2231.00	27.89	100.00	0.00
8	2.36	0.00	0.00	100.00	0.00
16	1.18	0.00	0.00	100.00	0.00
30	0.60	0.00	0.00	100.00	0.00
50	0.30	0.00	0.00	100.00	0.00
100	0.15	0.00	0.00	100.00	0.00
200	0.08	0.00	0.00	100.00	0.00
Cazoleta			0.00	100.00	0.00



**CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA  
"AGREGADO GRUESO"**



**LÍMITES DE GRADACIÓN "Nº 67" - NORMA ASTM C 33**

D10 = 6.065  
D30 = 10.043  
D60 = 15.776

Cu = 2.601  
Cc = 1.054

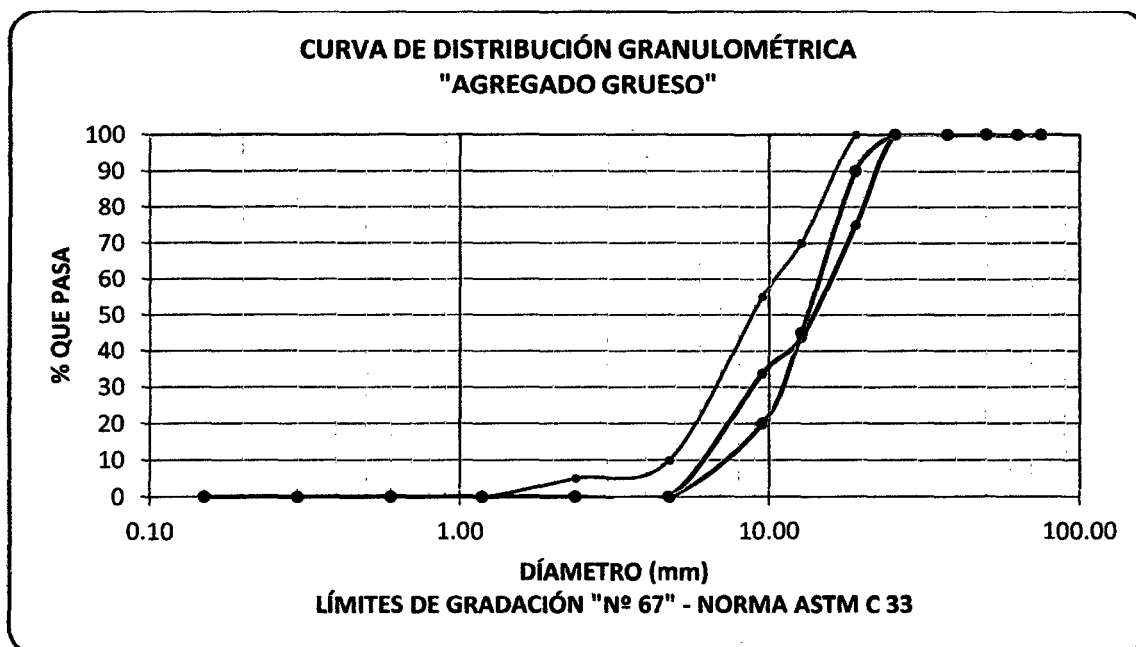
$$MF = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices (1", 3/4", 3/8", N°4)+500}}{100}$$

$$MF = \frac{0+30.93+72.11+100+500}{100}$$

MF= 7.03

P. Muestra secada al horno (Ensayo 03) 8.50 Kg

TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA
3	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 ½	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 ½	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
¾"	19.00	2135.15	25.12	25.12	74.88
½"	12.70	2644.25	31.11	56.23	43.77
⅜"	9.51	853.60	10.04	66.27	33.73
4	4.76	2867.00	33.73	100.00	0.00
8	2.36	0.00	0.00	100.00	0.00
16	1.18	0.00	0.00	100.00	0.00
30	0.60	0.00	0.00	100.00	0.00
50	0.30	0.00	0.00	100.00	0.00
100	0.15	0.00	0.00	100.00	0.00
200	0.08	0.00	0.00	100.00	0.00
Cazoleta		0.00	0.00	100.00	0.00



D10 = 6.085  
 D30 = 9.856  
 D60 = 16.684

Cu = 2.742  
 Cc = 0.957

$$MF = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices (1", 3/4", 3/8", N°4)+500}}{100}$$

$$MF = \frac{0+25.12+66.27+100+500}{100}$$

$$MF = 6.91$$

## 2. Tamaño máximo

Tamaño máximo del agregado: 3/4" (37.5 mm)

## 3. Módulo de Finura

Ensayo 01 =7.08

Ensayo 02 =7.03

Ensayo 03 =6.91

**Promedio =7.01**

## 41. Peso específico y absorción

Wms: Peso en el aire de la muestra secada al horno

A1 =5000 gr

A2 =5000 gr

A3 =5000 gr

S: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca

B1 = 5056.1 gr

B2 = 5058.9 gr

B3 = 5049.2 gr

Wma: Peso en el agua de la muestra saturada

C1 = 3058.1 gr

C2 = 3106.1 gr

C3 = 3091.5 gr

### A) Peso específico de masa

$$Pe.m = \frac{Wms}{S-Wma}$$

$$Pe.m = \frac{5000}{1 = 5056.1 - 3058.1}$$

$$Pe.m 1 = 2.50 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pe.m} \frac{5000}{2= 5058.9-3106.1}$$

$$\text{Pe.m 2} = 2.56 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pe.m} \frac{5000}{3= 5049.2-3091.5}$$

$$\text{Pe.m 3} = 2.55 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pe.m} = 2.54 \text{ gr/cm}^3$$

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Material (Kg)	5000.00	5000.00	5000.00
Peso del materia saturado con superficie seca (Kg)	5056.10	5058.90	5049.20
Volumen de agua añadida (cm³)	3058.10	3106.10	3091.50
Peso específico de masa (Kg/m³)	2.50	2.56	2.55
<b>Peso específico de masa</b>	<b>2.54 Kg/m3</b>		

#### B) Peso específico de masa saturada superficialmente seca

$$\text{Pe S.S.S} = \frac{S}{S-Wma}$$

$$\text{Pe S.S.S} \frac{5056.10}{1= 5056.1-3058.1}$$

$$\text{Pe S.S.S 1} = 2.53 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pe S.S.S} \frac{5058.90}{2= 5058.9-3106.1}$$

$$\text{Pe S.S.S 2} = 2.59 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pe S.S.S} \frac{5049.20}{3= 5049.2-3091.5}$$

$$\text{Pe S.S.S 3} = 2.58 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pem S.S.S} = 2.57 \text{ gr/cm}^3$$

Ensayo N°	1	2	3
Peso del materia saturado con superficie seca (Kg)	5056.10	5058.90	5049.20
Volumen de agua añadida (cm³)	3058.10	3106.10	3091.50
Peso específico superficialmente seco (Kg/m³)	2.531	2.591	2.579
<b>Peso específico saturado superficialmente seco</b>	<b>2.57 Kg/m3</b>		

**C) Peso específico nominal o aparente**

$$Pe.a = \frac{Wms}{Wms - Wma}$$

$$Pe.a 1 = \frac{5000}{5000 - 3058.1}$$

$$Pe.a 1 = 2.57 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pe.a 2 = \frac{5000}{5000 - 3106.1}$$

$$Pe.a 2 = 2.64 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pe.a 3 = \frac{5000}{5000 - 3091.5}$$

$$Pe.a 3 = 2.62 \text{ gr/cm}^3$$

**Pe.a = 2.61 gr/cm<sup>3</sup>**

Ensayo N°	1	2	3
Peso del materia (Kg)	5000.00	5000.00	5000.00
Volumen de agua añadida (cm <sup>3</sup> )	3058.10	3106.10	3091.50
Peso específico aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	2.57	2.64	2.62
<b>Peso específico aparente</b>	<b>2.61 Kg/m<sup>3</sup></b>		

**D) Absorción**

$$Abs = \frac{S - Wms}{Wms} \times 100$$

$$Abs_1 = \frac{5056.1 - 5000}{5000} \times 100$$

$$Abs 1 = 1.12 \%$$

$$Abs_2 = \frac{5058.9 - 5000}{5000} \times 100$$

$$Abs 2 = 1.18 \%$$

$$Abs_3 = \frac{5058.9 - 5000}{5000} \times 100$$

$$Abs 3 = 0.98 \%$$

**Abs = 1.09 %**

## 5. Contenido de Humedad

$$W = \frac{A-B}{B} \times 100$$

A: Peso de la muestra  
humeda  
B: Peso de la muestra seca

$$A1 = 2055\text{gr}$$

$$A2 = 2204\text{gr}$$

$$A3 = 1243\text{gr}$$

$$B1 = 2051\text{gr}$$

$$B2 = 2199\text{gr}$$

$$B3 = 1239\text{gr}$$

$$W1 = \frac{2055-2051}{2051} \times 100$$

$$\text{Abs 1} = 0.20 \%$$

$$W2 = \frac{2204-2199}{2199} \times 100$$

$$\text{Abs 2} = 0.23 \%$$

$$W3 = \frac{1243-1239}{1239} \times 100$$

$$\text{Abs 3} = 0.32 \%$$

**Promedio 0.25 %**

## 6. Peso Unitario

### A) Peso unitario seco Suelto

V. Agua en el molde |

P Agua en el molde 5.700 Kg

$$F = \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{P \text{ Agua en el molde}}$$

$$F = \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{5.700 \text{ Kg}}$$

$$F = 175.45/\text{m}^3$$

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Molde (Kg)	8.21	8.21	8.21
Peso del Molde + Material (Kg)	15.90	15.88	15.85
Peso del Material (Kg)	7.69	7.67	7.64
Factor (F)	175.45	175.45	175.45
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1348.84	1345.33	1340.77
<b>Peso Unitario Suelto</b>	<b>1345 Kg/m3</b>		

### B) Peso unitario seco Compactado

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Molde (Kg)	8.21	8.21	8.21
Peso del Molde + Material (Kg)	16.54	16.55	16.54
Peso del Material (Kg)	8.33	8.34	8.33
Factor (F)	175.45	175.45	175.45
Peso Unitario Compactado (Kg/m3)	1461.65	1462.53	1461.83
<b>Peso Unitario Compactado</b>	<b>1462 Kg/m3</b>		

### 7. Resistencia a la abrasión

$$De = \frac{W_o - W_f}{W_o} \times 100$$

W<sub>o</sub>: Peso Original de la muestra

W<sub>f</sub>: Peso Final de la muestra

W<sub>o1</sub> = 5000 gr

W<sub>f1</sub> = 3672.3 gr

W<sub>o2</sub> = 5000 gr

W<sub>f2</sub> = 3560.7 gr

W<sub>o3</sub> = 5000 gr

W<sub>f3</sub> = 3567.2 gr

$$De = \frac{5000 - 3672.3}{5000 \text{ gr}} \times 100$$

$$De = 26.55 \%$$

$$De = \frac{5000 - 3560.7}{5000 \text{ gr}} \times 100$$

$$De = 28.79 \%$$

$$De = \frac{5000 - 3567.2}{5000 \text{ gr}} \times 100$$

$$De = 28.66 \%$$

**Promedio 28.00 %**

## DISEÑO DE MEZCLAS MÉTODO DE MODULO DE FINURA (CPA)

### 1.- DATOS

Resistencia a compresión =  $f_c$  =

210.00 kg/cm<sup>2</sup>

Características de los materiales:

Tipo de cemento =

Cemento Pacasmayo Tipo I

Cemento Peso específico =

3.11 gr/cm<sup>2</sup>

.....(tabla 2.7)

Agua Potable

<b>Agregados : Características</b>	<b>A. FINO</b>	<b>A. GRUESO</b>
Peso específico de Masa	2.53 gr/cm <sup>3</sup>	2.54 gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto	1502.24 kg/m <sup>3</sup>	1344.98 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado	1626.98 kg/m <sup>3</sup>	1462.00 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico superficialmente seco	2.55 gr/cm <sup>3</sup>	2.57 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	2.60 gr/cm <sup>3</sup>	2.61 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura	3.40	7.01
Contenido de Humedad	3.85 %	0.25 %
Absorción	1.12 %	1.09 %
Partículas menores a #200	2.80 %	-----
Perfil	Redondeado	Redondeado
T.M.N	-----	3/4
Abrasión	-----	28.00

### 2.- SELECCIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA

$f_{cr} = f_c + 7 \text{ Mpa}$

.....(tabla 2.10)

Se tiene tanto:  $f_{cr}$  =

281.40 kg/cm<sup>2</sup>

### 3.- SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

TMN = 3/4

### 4.- SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

SLUMP 3 " .....(tabla 2.11)

### 5.- SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA DE MEZCLADO

Agua de mezclado

185 lt.....(tabla 2.12)

Contenido de aire atrapado =

2 %

Según el TMN y el slump elegido para el diseño



## 6.- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

### 6.1 - POR RESISTENCIA SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

De la tabla 2.13. se tiene:

	<b>f<sub>cr</sub></b>		<b>A/C</b>
	<b>315.00</b>		<b>0.53</b>
	281.40		A/C
	<b>280.00</b>		<b>0.58</b>

$$\frac{35.00}{-0.05} = \frac{33.60}{0.53-A/C}$$

$$0.53-A/C = -0.048$$

Por lo tanto A/C = 0.578

### 6.2 - SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C = 0.578

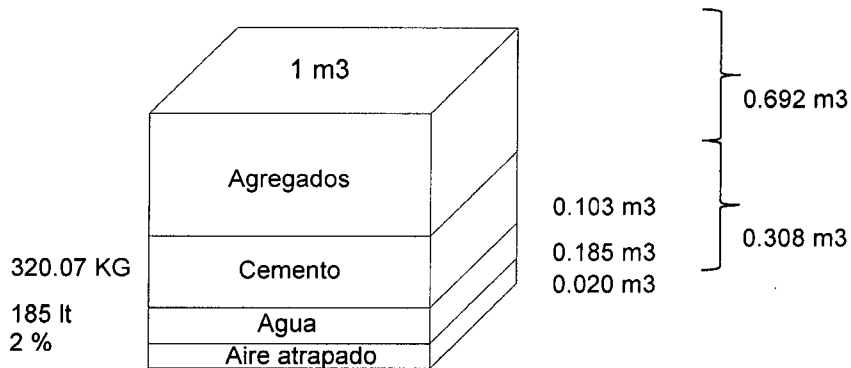
### 6.3 - SELECCIÓN DEL FACTOR CEMENTO

$$A/C = 0.58$$

$$A = 185.00 \text{ lt}$$

$$320.07$$

$$C = \text{KG}$$



## 7.- DISEÑO POR MÉTODO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Módulo de finura A. Fino (mf)	=	3.40
Módulo de finura A. Grueso (mg)	=	7.01
Nº Bolsas = Peso cemento (C) /42.5	=	7.53

De la tabla 2.14. se tiene:

N° Bolsas	mc
7.00	5.04
7.53	mc
8.00	5.11

$$\frac{-1.00}{-0.07} = \frac{-0.53}{mc-5.11}$$

$$mc-5.11 = -0.037$$

Por lo tanto  $mc = 5.08$

$$\% \text{ Volumen absoluto del agregado fino.} = r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} * 100$$

Del 100% de los agregados

$$r_f = 53.471 \%$$

$$r_f = 53.5 \%$$

$$\Rightarrow \text{Volumen absoluto del A. Fino} = 0.370 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow \text{Volumen abs. del A. Grueso} = 0.322 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow \text{Peso seco absoluto del A. Fino} = 934.91 \text{ KG}$$

$$\Rightarrow \text{Peso seco abs. del A. Grueso} = 817.60 \text{ KG}$$

## 8.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES

### 8.1- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN PESO

$$P_p = \frac{320.07}{320.07} : \frac{P_{af}}{320.07} : \frac{P_{ag}}{320.07}$$

**Peso húmedo del agregado:**

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 970.91 \text{ KG} : \text{Peso húmedo del A. Fino}$$

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 819.63 \text{ KG} : \text{Peso húmedo del A. Grueso}$$

**Proporciones en peso:**

$$P_p = \frac{320.07}{320.07} : \frac{970.91}{320.07} : \frac{819.63}{320.07}$$

$$P_p = 1.00 : 3.03 : 2.56 / \begin{matrix} 24.57 \text{ lt} \\ 24.46 \text{ lt} \end{matrix} \text{ mezcla efectiva}$$

## 8.2.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN VOLUMEN

$$P_v = \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}}$$

Pv: Proporción en volumen.  
 Pp: Proporción en peso.  
 Push: Peso unitario suelto húmedo.  
 Puss: Peso unitario seco suelto.

$$P_{ush} = (P_{uss})\left(1 + \frac{W}{100}\right)$$

Push = 44.18 kg/pie3 Agregado Fino.

Push = 38.18 kg/pie3 Agregado Grueso.

$$P_v = \frac{42.5 \text{ kg}}{1 \text{ pie}^3} : \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}} : \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}}$$

$$P_v = \frac{1.00}{1.00} : \frac{128.92}{44.18} : \frac{108.83}{38.18}$$

$$P_v = 1.00 : 2.92 : 2.85 \quad \left/ \begin{array}{l} 24.57 \text{ It} \\ 24.46 \text{ It} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{mezcla} \\ \text{efectiva} \end{array}$$

## 9.- DETERMINAR EL AGUA EFECTIVA

$$A_{efectiva} = \text{Agua mezcla} - \frac{(W-abs)*P_{saf}}{100} - \frac{(W-abs)*P_{sag}}{100}$$

Afectiva : Agua efectiva.

W: contenido de humedad del agregado fino ó agregado grueso.

abs: absorción del agregado fino ó agregado grueso.

Psaf : Proporción en peso seco del agregado fino.

P sag : Proporción en peso seco del agregado grueso.

$$A_{efectiva} = 24.565 - (3.85 - 1.12) * 934.91 / 100 - (0.25 - 1.09) * 817.6 / 100$$

$$\begin{array}{l} A_{efectiva} = 24.46 \text{ It} \\ A_{efectiva} = 151.54 \text{ It} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{(en la proporción)} \\ \text{(mezcla)} \end{array}$$

## 10.- DETERMINAR EL % DE VACIOS

$$\% \text{ de agregados} = \frac{0.692}{\text{m}^3}$$

$$\text{Volumen abs. agregado fino: } \nabla_{abs AF} = 53.5 \%$$

$$\text{Volumen abs. agregado grueso: } \nabla_{abs AG} = 46.5 \%$$

Pusc A. FINO	=	1626.98 kg/m3	Peso unitario seco compactado A. Fino
Pusc A. GRUESO	=	1462.00 kg/m3	Peso unitario seco compactado A. Grueso
Pem A. FINO	=	2526.33 kg/m3	Peso específico de masa A. Fino

Pem A. GRUESO = 2538.98 kg/m<sup>3</sup>      Peso específico de masa A. Grueso

$$Pem(\text{mezcla}) = \frac{Pem\ A.\ FINO * \forall_{abs\ AF} + Pem\ A.\ GRUESO * \forall_{abs\ AG}}{100}$$

Pem(mezcla) = 2532.22 kg/m<sup>3</sup>      = Peso específico de masa de la mezcla

$$Pusc(\text{mezcla}) = \frac{Pusc\ A.\ FINO * \forall_{abs\ AF} + Pusc\ A.\ GRUESO * \forall_{abs\ AG}}{100}$$

Pusc(mezcla) = 1550.22 kg/m<sup>3</sup>      = Peso unitario seco compactado de mezcla

%vacios = 38.780%

Nota:

- El método de diseño de mezcla combinación de agregados, es el que presenta menor % de vacios.
- El módulo de finura es un indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas del agregado.
- El módulo de finura está en relación inversa al área superficial y a la demanda del agua.

#### 11.- CANTIDAD DE MATERIALES POR M3

- Peso seco absoluto del A. Fino	=	934.91 KG
- Peso seco abs. del A. Grueso	=	817.60 KG
- Peso de cemento	=	320.07 KG
- Peso agua de mezcla	=	185.00 KG
Cantidad de materiales por m3	=	<u>2257.58 KG</u>

#### CORRECCIÓN POR HUMEDAD

- Peso húmedo absoluto del A. Fino	=	970.91 KG
- Peso húmedo abs. del A. Grueso	=	819.63 KG
- Peso de cemento	=	320.07 KG
- Peso agua efectiva	=	151.54 KG
Cantidad de materiales por m3	=	<u>2262.15 KG</u>

#### 12.- CANTIDAD DE MATERIALES POR ESPECIMEN DE CONCRETO

- Volumen de espécimen	=	0.020 m3
- Cantidad de cemento	=	6.40 kg
- Cantidad húmedo de A. fino	=	19.42 kg
- Cant. húmedo de A. grueso	=	16.39 kg
- Cantidad de Agua efectiva	=	3.03 lt

## DISEÑO DE MEZCLAS MÉTODO DE MODULO DE FINURA (CMS 5)

### 1.- DATOS

Resistencia a compresión =  $f_c$  =  
Características de los materiales:

**210.00 kg/cm<sup>2</sup>**

Tipo de cemento =

**Cemento  
Pacasmayo  
Tipo I**

Cemento Peso específico =

**3.11 gr/cm<sup>3</sup>**

.....(tabla  
2.7)

Microsilice densidad =

**2.35 gr/cm<sup>3</sup>**

.....Hoja  
técnica

Agua Potable

<b>Agregados : Características</b>	<b>A. FINO</b>	<b>A. GRUESO</b>
Peso específico de Masa	2.53 gr/cm <sup>3</sup>	2.54 gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto	1502.24 kg/m <sup>3</sup>	1344.98 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado	1626.98 kg/m <sup>3</sup>	1462.00 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico superficialmente seco	2.65 gr/cm <sup>3</sup>	2.59 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	2.60 gr/cm <sup>3</sup>	2.61 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura	3.40	7.01
Contenido de Humedad	3.85 %	0.25 %
Absorción	1.12 %	1.09 %
Partículas menores a #200	2.80 %	
Perfil	Redondeado	Redondeado
T.M.N	-----	3/4
Abrasión	-----	28.00

### 2.- SELECCIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA

$f_{cr} = f_c + 7 \text{ Mpa}$  .....(tabla 2.10)

Por lo tanto:  $f_{cr} =$

**281.40 kg/cm<sup>2</sup>**

### 3.- SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

TMN = 3/4

### 4.- SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

SLUMP 3 " .....(tabla 2.11)

### 5.- SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA DE MEZCLADO

Agua de mezclado

**185 lt.....(tabla 2.12)**

Contenido de aire atrapado =

**2 %**

Según el TMN y el slump elegido para el diseño

## 6.- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

### 6.1 - POR RESISTENCIA SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

De la tabla 2.13, se tiene:

<b>f<sub>cr</sub></b>	<b>A/C</b>
<b>315.00</b>	<b>0.53</b>
281.40	A/C
<b>280.00</b>	<b>0.58</b>

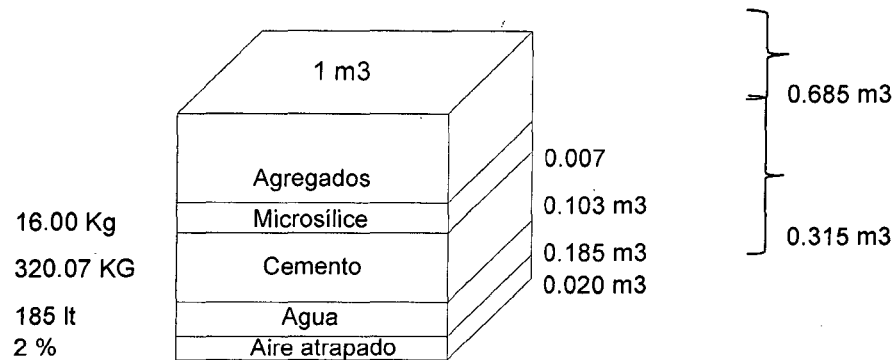
$$\frac{35.00}{-0.05} = \frac{33.60}{0.53-A/C}$$

$$0.53-A/C = -0.048$$

Por lo tanto  $A/C = 0.578$

### 6.2 - SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C = 0.578

### 6.3 - SELECCIÓN DEL FACTOR CEMENTO



**7.- DISEÑO POR MÉTODO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS**

Módulo de finura A. Fino (mf)=	3.40
Módulo de finura A. Grueso (mg) =	7.01
N° Bolsas = Peso cemento (C) /42.5 =	7.53

De la tabla 2.14, se tiene:

N° Bolsas	mc
<b>7.00</b>	<b>5.04</b>
7.53	mc
<b>8.00</b>	<b>5.11</b>

$$\frac{-1.00}{-0.07} = \frac{-0.53}{mc-5.11}$$

$$mc-5.11 = -0.037$$

Por lo tanto  
mc = 5.08

% Volumen absoluto del agregado fino.  $r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} * 100$

Del 100% de los agregados rf = 53.47  
rf = 53.47

⇒ Volumen absoluto del A. Fino = 0.37  
⇒ Volumen abs. del A. Grueso = 0.32

⇒ Peso seco absoluto del A. Fino = 925.71  
⇒ Peso seco abs. del A. Grueso = 809.55

**8.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES**

**8.1- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN PESO**

Pp =  $\frac{320.07}{320.07} \text{ Paf} : \frac{\text{Pag}}{320.07} : \frac{16.00}{320.07}$

Peso húmedo del agregado:

$\gamma_h = \gamma_s(1 + \frac{w}{100}) = 961.36$  : Peso húmedo del A. Fino

$\gamma_h = \gamma_s(1 + \frac{w}{100}) = 811.56$  : Peso húmedo del A. Grueso

Proporciones en peso:

Pp =  $\frac{320.07}{320.07} : \frac{961.36}{320.07} : \frac{811.56}{320.07} : \frac{16.00}{320.07}$

Pp = 1.00 : 3.00 : 2.54 : 0.05 :  $\frac{24.57}{24.46}$  mezcla efectiva

## 8.2.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN VOLUMEN

$$P_v = \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}}$$

Pv: Proporción en volumen.

Pp: Proporción en peso.

Push: Peso unitario suelto húmedo.

$$P_{ush} = (P_{uss}) \left(1 + \frac{w}{100}\right)$$

Puss: Peso unitario seco suelto.

Push = 44.18 kg/pie<sup>3</sup> Agregado Fino.

Push = 38.18 kg/pie<sup>3</sup> Agregado Grueso.

$$P_v = \frac{42.5 \text{ kg}}{1 \text{ pie}^3} : \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}} : \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}} : \frac{P * 42.5}{P_c}$$

$$P_v = \frac{1.00}{1.00} : \frac{127.65}{44.18} : \frac{107.76}{38.18} : \frac{680.00}{320.07}$$

$$P_v = 1.00 : 2.89 : 2.82 : 2.12 \quad \left/ \begin{array}{l} 24.57 \text{ lt} \\ 24.46 \text{ lt} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{mezcla} \\ \text{efectiva} \end{array}$$

## 9.- DETERMINAR EL AGUA EFECTIVA

$$\text{Afectiva} = \text{Agua mezcla} - \frac{(W-abs)}{100} * P_{saf} - \frac{(W-abs)}{100} * P_{sag}$$

Afectiva : Agua efectiva.

W: contenido de humedad del agregado fino ó agregado grueso.

abs: absorción del agregado fino ó agregado grueso.

Psaf : Proporción en peso seco del agregado fino.

P sag : Proporción en peso seco del agregado grueso.

$$\text{Afectiva} = 24.565 - (3.85 - 1.12) * 925.71 / 100 - (0.25 - 1.09) * 809.55 / 100$$

$$\begin{array}{ll} \text{Afectiva} = 24.46 \text{ lt} & \text{(en la proporción)} \\ \text{Afectiva} = 151.87 \text{ lt} & \text{(mezcla)} \end{array}$$

## 10.- DETERMINAR EL % DE VACIOS

$$\% \text{ de agregados} = 0.685 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agregado fino: } \forall_{abs AF} = 53.5 \%$$

$$\text{Volumen abs. agregado grueso: } \forall_{abs AG} = 46.5 \%$$



Pusc A. FINO= 1626.98 kg/m3  
 Pusc A. GRUESO= 1462.00 kg/m3  
 Pem A. FINO= 2526.33 kg/m3  
 Pem A. GRUESO= 2538.98 kg/m3

Peso unitario seco compactado A. Fino  
 Peso unitario seco compactado A. Grueso  
 Peso específico de masa A. Fino  
 Peso específico de masa A. Grueso

$$Pem(mezcla) = \frac{Pem\ A.\ FINO * v_{abs\ AF} + Pem\ A.\ GRUESO * v_{abs\ AG}}{100}$$

**Pem(mezcla) = 2532.22 kg/m3 = Peso específico de masa de la mezcla**

$$Pusc(mezcla) = \frac{Pusc\ A.\ FINO * v_{abs\ AF} + Pusc\ A.\ GRUESO * v_{abs\ AG}}{100}$$

**Pusc(mezcla) = 1550.22 kg/m3 = Peso unitario seco compactado de mezcla**

$$\%vacios = \frac{Pem(mezcla) - Pusc(mezcla)}{Pem(mezcla)} * 100$$

**%vacios = 38.780%**

Nota:

- El método de diseño de mezcla combinación de agregados, es el que presenta menor % de vacios.
- El módulo de finura es un indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas del agregado.

#### 11.- CANTIDAD DE MATERIALES POR M3

- Peso seco absoluto del A. Fino	=	925.71 KG
- Peso seco abs. del A. Grueso	=	809.55 KG
- Peso de cemento	=	320.07 KG
- Peso de microsílíce	=	16.00 KG
- Peso agua de mezcla	=	185.00 KG
<b>CANTIDAD DE MATERIALES POR M3</b>		<b>2256.33 KG</b>

<b>CORRECCIÓN POR HUMEDAD</b>		
- Peso húmedo absoluto del A. Fino	=	961.36 KG
- Peso húmedo abs. del A. Grueso	=	811.56 KG
- Peso de cemento	=	320.07 KG
- Peso de microsílíce	=	16.00 KG
- Peso agua efectiva	=	151.87 KG
		<hr/>
<b>CANTIDAD DE MATERIALES POR M3</b>		<b>2260.86 KG</b>

**12.- CANTIDAD DE MATERIALES POR ESPECIMEN DE CONCRETO**

Volumen de especimen	=	0.020 m3
Cantidad de cemento	=	6.40 kg
Cantidad húmedo de A. fino	=	19.23 kg
Cant. húmedo de A. grueso	=	16.23 kg
Cantidad de microsílíce	=	0.32 kg
Cantidad de Agua efectiva	=	3.04 lt

## DISEÑO DE MEZCLAS MÉTODO DE MODULO DE FINURA (CMS 8)

### 1.- DATOS

Resistencia a compresión =  $f_c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$

Características de los materiales:

Tipo de cemento =

**Cemento Pacasmayo Tipo I**

Cemento Peso específico =

**3.11 gr/cm<sup>3</sup>**

.....(tabla 2.7)

Microsilíce densidad =

**2.35 gr/cm<sup>3</sup>**

.....Hoja técnica

Agua Potable

<b>Agregados : Características</b>	<b>A. FINO</b>	<b>A. GRUESO</b>
Peso específico de Masa	2.53 gr/cm <sup>3</sup>	2.54 gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto	1502.24 kg/m <sup>3</sup>	1344.98 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado	1626.98 kg/m <sup>3</sup>	1462.00 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico superficialmente seco	2.65 gr/cm <sup>3</sup>	2.59 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	2.60 gr/cm <sup>3</sup>	2.61 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura	3.40	7.01
Contenido de Humedad	3.85 %	0.25 %
Absorción	1.12 %	1.09 %
Partículas menores a #200	2.80 %	
Perfil	Redondeado	Redondeado
T.M.N	-----	3/4
Abrasión	-----	28.00

### 2.- SELECCIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA

$f_{cr} = f_c + 7 \text{ Mpa}$  .....(tabla 2.10)

Por lo tanto:  $f_{cr} =$

**281.40 kg/cm<sup>2</sup>**

### 3.- SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

TMN = 3/4

### 4.- SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

SLUMP 3 " .....(tabla 2.11)

### 5.- SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA DE MEZCLADO

Agua de mezclado= **185 lt.**.....(tabla 2.12)

Contenido de aire atrapado =

**2 %**

Según el TMN y el slump elegido para el diseño

De la tabla 2.13. se tiene:

<b>f<sub>cr</sub></b>	<b>A/C</b>
<b>315.00</b>	<b>0.53</b>
281.40	A/C
<b>280.00</b>	<b>0.58</b>

$$\begin{array}{r} 35.00 \\ -0.05 \\ \hline 33.60 \\ 0.53-A/C \end{array}$$

$$0.53-A/C = -0.048$$

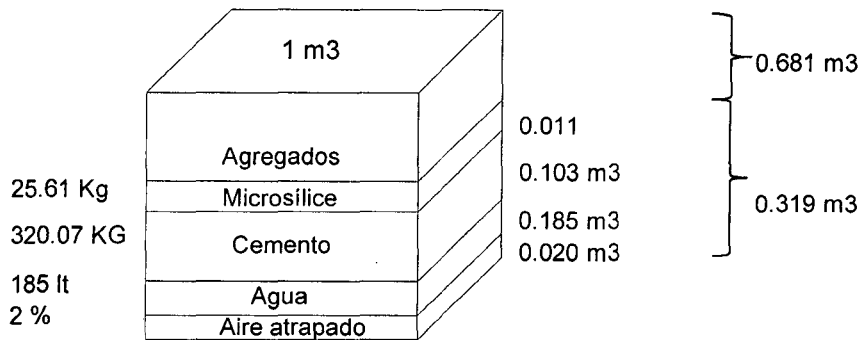
Por lo tanto  
A/C = 0.578

**6.2 - SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C =**

**0.578**

**6.3 - SELECCIÓN DEL FACTOR CEMENTO**

A/C =	0.58
A =	185.00 lt
C =	320.07 KG



De la tabla 2.14. se tiene:

<b>N° Bolsas</b>	<b>mc</b>
<b>7.00</b>	<b>5.04</b>
7.53	mc
<b>8.00</b>	<b>5.11</b>

$$\frac{-1.00}{-0.07} = \frac{-0.53}{mc-5.11}$$

$$mc-5.11 = -0.037$$

Por lo tanto mc = 5.08

$$\% \text{ Volumen absoluto del agregado fino.} = r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} * 100$$

Del 100% de los agregados

	rf	=	53.471 %
	rf	=	53.5 %
⇒	Volumen absoluto del A. Fino =		0.364 m3
⇒	Volumen abs. del A. Grueso =		0.317 m3
⇒	Peso seco absoluto del A. Fino =		<b>920.19 KG</b>
⇒	Peso seco abs. del A. Grueso =		<b>804.73 KG</b>

**8.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES**  
**8.1.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN PESO**

$$P_p = \frac{320.07}{320.07} : \frac{P_{af}}{320.07} : \frac{P_{ag}}{320.07} : \frac{16.00}{320.07}$$

**Peso húmedo del agregado:**

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = \quad \mathbf{955.63 \text{ KG}} \quad : \text{Peso húmedo del A. Fino}$$

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = \quad \mathbf{806.72 \text{ KG}} \quad : \text{Peso húmedo del A. Grueso}$$

**Proporciones en peso:**

$$P_p = \frac{320.07}{320.07} : \frac{955.63}{320.07} : \frac{806.72}{320.07} : \frac{25.61}{320.07} :$$

$$P_p = \quad \mathbf{1.00} \quad : \quad \mathbf{2.99} \quad : \quad \mathbf{2.52} \quad : \quad \mathbf{0.08} \quad \left| \begin{array}{l} \mathbf{24.57 \text{ lt}} \\ \mathbf{24.46 \text{ lt}} \end{array} \right. \quad \text{mezcla efectiva}$$

**8.2.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN VOLUMEN**

$$P_v = \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}}$$

Pv: Proporción en volumen.  
Pp: Proporción en peso.  
Push: Peso unitario suelto húmedo.  
Puss: Peso unitario seco suelto.

$$P_{ush} = (P_{uss}) \left(1 + \frac{w}{100}\right)$$

Push = 44.18 kg/pie3 Agregado Fino.

Push = 38.18 kg/pie3 Agregado Grueso.

$$P_v = \frac{42.5 \text{ kg}}{1 \text{ pie}^3} : \frac{P_p * 42.5}{\text{Push}} : \frac{P_p * 42.5}{\text{Push}} : \frac{P * 42.5}{P_c}$$

$$Pv = \frac{1.00}{1.00} : \frac{126.89}{44.18} \quad \frac{107.12}{38.18} : \frac{680.00}{320.07}$$

$$Pv = 1.00 : 2.87 \quad 2.81 : 2.12 \quad \left| \begin{array}{l} 24.57 \text{ It} \\ 24.46 \text{ It} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{mezcla} \\ \text{efectiva} \end{array}$$

**9.- DETERMINAR EL AGUA EFECTIVA**

$$A. \text{ efectiva} = \text{Agua mezcla} - \frac{(W-abs)}{100} * Psaf - \frac{(W-abs)}{100} * Psag$$

A. efectiva : Agua efectiva.  
W: contenido de humedad del agregado fino ó agregado grueso.  
abs: absorción del agregado fino ó agregado grueso.  
Psaf : Proporción en peso seco del agregado fino.  
Psag : Proporción en peso seco del agregado grueso.

$$A\text{efectiva} = 24.565 - (3.85 - 1.12) * 920.19 / 100 - (0.25 - 1.09) * 804.73 / 100$$

$$\begin{array}{ll} \text{Aefectiva} = 24.46 \text{ It} & \text{(en la proporción)} \\ \text{Aefectiva} = 152.07 \text{ It} & \text{(mezcla)} \end{array}$$

**10.- DETERMINAR EL % DE VACIOS**

$$\% \text{ de agregados} = 0.681 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agregado fino: } \forall_{abs AF} = 53.5 \%$$

$$\text{Volumen abs. agregado grueso: } \forall_{abs AG} = 46.5 \%$$

Pusc A. FINO= 1626.98 kg/m3	Peso unitario seco compactado A. Fino
Pusc A. GRUESO= 1462.00 kg/m3	Peso unitario seco compactado A. Grueso
Pem A. FINO= 2526.33 kg/m3	Peso específico de masa A. Fino
Pem A. GRUESO= 2538.98 kg/m3	Peso específico de masa A. Grueso

$$Pem(\text{mezcla}) = \frac{Pem A. FINO * \forall_{abs AF} + Pem A. GRUESO * \forall_{abs AG}}{100}$$

$$Pem(\text{mezcla}) = 2532.22 \text{ kg/m}^3 \quad = \text{Peso específico de masa de la mezcla}$$

$$Pusc(\text{mezcla}) = \frac{Pusc A. FINO * \forall_{abs AF} + Pusc A. GRUESO * \forall_{abs AG}}{100}$$

$$P_{usc}(mezcla) = 1550.22 \text{ kg/m}^3$$

= Peso unitario seco compactado de mezcla

$$\%vacios = \frac{P_{em}(mezcla) - P_{usc}(mezcla)}{P_{em}(mezcla)} * 100$$

$$\%vacios = 38.780\%$$

Nota:

- El método de diseño de mezcla combinación de agregados, es el que presenta menor % de vacíos.
- El módulo de finura es un indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas del agregado.
- El módulo de finura está en relación inversa al área superficial y a la demanda del agua.

### 11.- CANTIDAD DE MATERIALES POR M3

- Peso seco absoluto del A. Fino	=	920.19 KG
- Peso seco abs. del A. Grueso	=	804.73 KG
- Peso de cemento	=	320.07 KG
- Peso de microsílíce	=	25.61 KG
- Peso agua de mezcla	=	185.00 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2255.59 KG

#### CORRECCIÓN POR HUMEDAD

- Peso húmedo absoluto del A. Fino	=	955.63 KG
- Peso húmedo abs. del A. Grueso	=	806.72 KG
- Peso de cemento	=	320.07 KG
- Peso de microsílíce	=	25.61 KG
- Peso agua efectiva	=	152.07 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2260.09 KG

### 12.- CANTIDAD DE MATERIALES POR ESPECIMEN DE CONCRETO

Volumen de espécimen	=	0.020 m3
Cantidad de cemento	=	6.40 kg
Cantidad húmedo de A. fino	=	19.11 kg
Cant.húmedo de A. grueso	=	16.13 kg
Cantidad de microsílíce	=	0.51 kg
Cantidad de Agua efectiva	=	3.04 lt

## DISEÑO DE MEZCLAS MÉTODO DE MODULO DE FINURA (CMS 10)

### 1.- DATOS

Resistencia a compresión =  $f_c$  = **210.00 kg/cm<sup>2</sup>**  
 Características de los materiales:  
 Tipo de cemento = **Cemento Pacasmayo Tipo I**  
 Cemento Peso específico = **3.11 gr/cm<sup>3</sup>** .....(tabla 2.7)  
 Microsilice densidad = **2.35 gr/cm<sup>3</sup>** .....Hoja técnica  
 Agua Potable

<b>Agregados : Características</b>	<b>A. FINO</b>	<b>A. GRUESO</b>
Peso específico de Masa	2.53 gr/cm <sup>3</sup>	2.54 gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto	1502.24 kg/m <sup>3</sup>	1344.98 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado	1626.98 kg/m <sup>3</sup>	1462.00 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico superficialmente seco	2.65 gr/cm <sup>3</sup>	2.59 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	2.60 gr/cm <sup>3</sup>	2.61 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura	3.40	7.01
Contenido de Humedad	3.85 %	0.25 %
Absorción	1.12 %	1.09 %
Partículas menores a #200	2.80 %	
Perfil	Redondeado	Redondeado
T.M.N	-----	3/4
Abrasión =	-----	28.00

### 2.- SELECCIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA

$f_{cr} = f_c + 7 \text{ Mpa}$  .....(tabla 2.10)

Por lo tanto:  $f_{cr} =$  **281.40 kg/cm<sup>2</sup>**

### 3.- SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

TMN = **3/4**

### 4.- SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

SLUMP **3 "** .....(tabla 2.11)

### 5.- SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA DE MEZCLADO

Agua de mezclado **185 lt** .....(tabla 2.12)

Contenido de aire atrapado = **2 %**

Según el TMN y el slump elegido para el diseño



## 6.- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

### 6.1 - POR RESISTENCIA SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

De la tabla 2.13, se tiene:

$f_{cr}$	A/C
315.00	0.53
281.40	A/C
280.00	0.58

$$\frac{35.00}{-0.05} = \frac{33.60}{0.53-A/C}$$

$$0.53-A/C = -0.048$$

Por lo tanto  $A/C = 0.578$

6.2 - SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C = **0.578**

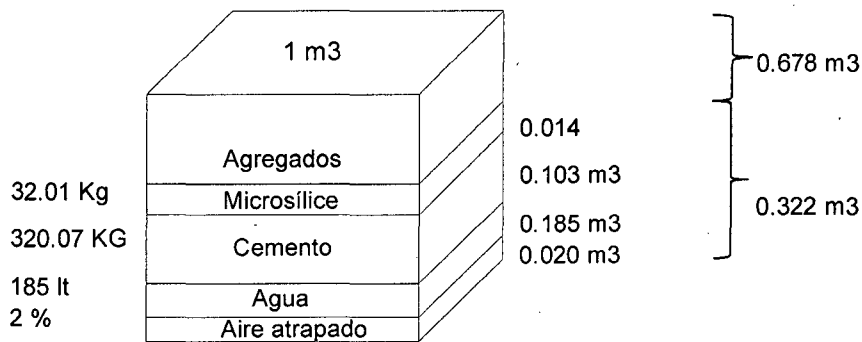
6.2 - SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C = **0.578**

### 6.3 - SELECCIÓN DEL FACTOR CEMENTO

$$A/C = 0.58$$

$$A = 185.00 \text{ lt}$$

$$C = 320.07 \text{ KG}$$



## 7.- DISEÑO POR MÉTODO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Módulo de finura A. Fino (mf)=	3.40
Módulo de finura A. Grueso (mg) =	7.01
N° Bolsas = Peso cemento (C) /42.5 =	7.53

De la tabla 2.14, se tiene:

N° Bolsas	mc
7.00	5.04
7.53	mc
8.00	5.11

$$\frac{-1.00}{-0.07} = \frac{-0.53}{mc-5.11}$$

$$mc-5.11 = -0.037$$

$$\text{Por lo tanto } mc = 5.08$$

$$\% \text{ Volumen absoluto del agregado fino.} = r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} * 100$$

$$\text{Del 100\% de los agregados} \quad r_f = 53.471 \%$$

$$r_f = 53.5 \%$$

$$\Rightarrow \text{Volumen absoluto del A. Fino} = 0.363 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow \text{Volumen abs. del A. Grueso} = 0.316 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow \text{Peso seco absoluto del A. Fino} = 916.51 \text{ KG}$$

$$\Rightarrow \text{Peso seco abs. del A. Grueso} = 801.51 \text{ KG}$$

## 8.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES

### 8.1- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN PESO

$$P_p = \frac{320.07}{320.07} : \frac{P_{af}}{320.07} : \frac{P_{ag}}{320.07} : \frac{16.00}{320.07}$$

**Peso húmedo del agregado:**

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 951.80 \text{ KG} : \text{Peso húmedo del A. Fino}$$

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 803.50 \text{ KG} : \text{Peso húmedo del A. Grueso}$$

**Proporciones en peso:**

$$P_p = \frac{320.07}{320.07} : \frac{951.80}{320.07} : \frac{803.50}{320.07} : \frac{32.01}{320.07} :$$

$$P_p = 1.00 : 2.97 : 2.51 : 0.10 \quad \left. \begin{array}{l} 24.57 \text{ It} \\ 24.46 \text{ It} \end{array} \right/ \text{mezcla efectiva}$$

## 8.2.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN VOLUMEN

$$P_v = \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}}$$

Pv: Proporción en volumen.

Pp: Proporción en peso.  
Push: Peso unitario suelto húmedo.

$$P_{ush} = (P_{uss}) \left(1 + \frac{w}{100}\right)$$

Puss: Peso unitario seco suelto.

Push = 44.18 kg/pie3 Agregado Fino.

Push = 38.18 kg/pie3 Agregado Grueso.

$$P_v = \frac{42.5 \text{ kg}}{1 \text{ pie}^3} : \frac{P_p * 42.5}{\text{Push}} : \frac{P_p * 42.5}{\text{Push}} : \frac{P * 42.5}{P_c}$$

$$P_v = \frac{1.00}{1.00} : \frac{126.38}{44.18} : \frac{106.69}{38.18} : \frac{680.00}{320.07}$$

$$P_v = 1.00 : 2.86 : 2.79 : 2.12 \quad \left/ \begin{array}{l} 24.57 \text{ It} \\ 24.46 \text{ It} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{mezcla} \\ \text{efectiva} \end{array}$$

## 9.- DETERMINAR EL AGUA EFECTIVA

$$A_{efectiva} = \text{Agua mezcla} - \frac{(W-abs)*P_{saf}}{100} - \frac{(W-abs)*P_{sag}}{100}$$

Aefectiva : Agua efectiva.

W: contenido de humedad del agregado fino ó agregado grueso.

abs: absorción del agregado fino ó agregado grueso.

Psaf : Proporción en peso seco del agregado fino.

Psag : Proporción en peso seco del agregado grueso.

$$A_{efectiva} = 24.565 - (3.85 - 1.12) * 916.51 / 100 - (0.25 - 1.09) * 801.51 / 100$$

$$\begin{array}{l} A_{efectiva} = 24.46 \text{ It} \\ A_{efectiva} = 152.20 \text{ It} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{(en la proporción)} \\ \text{(mezcla)} \end{array}$$

## 10.- DETERMINAR EL % DE VACIOS

$$\% \text{ de agregados} = 0.678 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agregado fino: } \nabla_{abs AF} = 53.5 \%$$

$$\text{Volumen abs. agregado gueso: } \nabla_{abs AG} = 46.5 \%$$

Pusc A. FINO = 1626.98 kg/m<sup>3</sup>  
 Pusc A. GRUESO = 1462.00 kg/m<sup>3</sup>  
 Pem A. FINO = 2526.33 kg/m<sup>3</sup>  
 Pem A. GRUESO = 2538.98 kg/m<sup>3</sup>

$$Pem(\text{mezcla}) = \frac{Pem\ A.\ FINO * \forall_{abs\ AF} + Pem\ A.\ GRUESO * \forall_{abs\ AG}}{100}$$

**Pem(mezcla) = 2532.22 kg/m<sup>3</sup> = Peso específico de masa de la mezcla**

$$Pusc(\text{mezcla}) = \frac{Pusc\ A.\ FINO * \forall_{abs\ AF} + Pusc\ A.\ GRUESO * \forall_{abs\ AG}}{100}$$

**Pusc(mezcla) = 1550.22 kg/m<sup>3</sup> = Peso unitario seco compactado de mezcla**

$$\%vacios = \frac{Pem(\text{mezcla}) - Pusc(\text{mezcla})}{Pem(\text{mezcla})} * 100$$

**%vacios = 38.780%**

Nota:

- El método de diseño de mezcla combinación de agregados, es el que presenta menor % de vacios.
- El módulo de finura es un indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas del agregado.
- El módulo de finura está en relación inversa al área superficial y a la demanda del agua.

#### 11.- CANTIDAD DE MATERIALES POR M<sup>3</sup>

- Peso seco absoluto del A. Fino	=	916.51 KG
- Peso seco abs. del A. Grueso	=	801.51 KG
- Peso de cemento	=	320.07 KG
- Peso de microsílíce	=	32.01 KG
- Peso agua de mezcla	=	185.00 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M<sup>3</sup> 2255.09 KG

#### CORRECCIÓN POR HUMEDAD

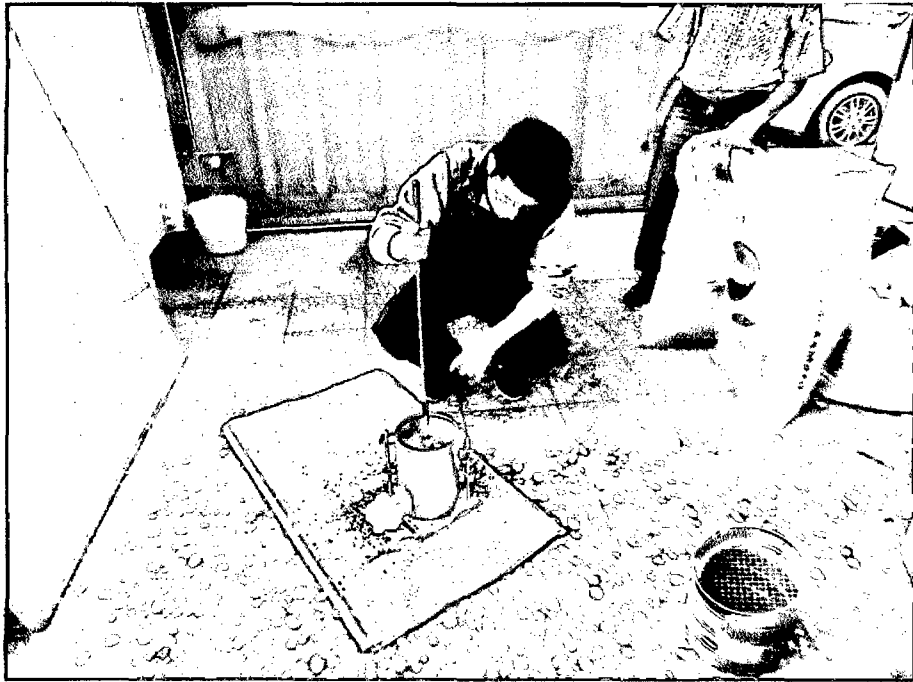
- Peso húmedo absoluto del A. Fino	=	951.80 KG
- Peso húmedo abs. del A. Grueso	=	803.50 KG
- Peso de cemento	=	320.07 KG
- Peso de microsílíce	=	32.01 KG
- Peso agua efectiva	=	152.20 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M<sup>3</sup> 2259.58 KG

## 12.- CANTIDAD DE MATERIALES POR ESPECIMEN DE CONCRETO

Volumen de espécimen	=	0.020 m3
Cantidad de cemento	=	6.40 kg
Cantidad húmedo de A. fino	=	19.04 kg
Cant. húmedo de A. grueso	=	16.07 kg
Cantidad de microsílíce	=	0.64 kg
Cantidad de Agua efectiva	=	3.04 lt

**Panel fotográfico**



**Foto 1. ensayo de peso específico compactado del agregado fino.**



**Foto 2. Foto 1. ensayo de peso específico compactado del agregado grueso.**



Foto 3. Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino.



Foto 4. Ensayo de peso unitario suelto seco del agregado grueso.



Foto 9. Preparación del concreto para la elaboración de los especímenes.



Foto 10. Prueba de Asentamiento.





Foto 11. Especímenes de concreto fresco.



Foto 12. Especímenes de concreto endurecido.

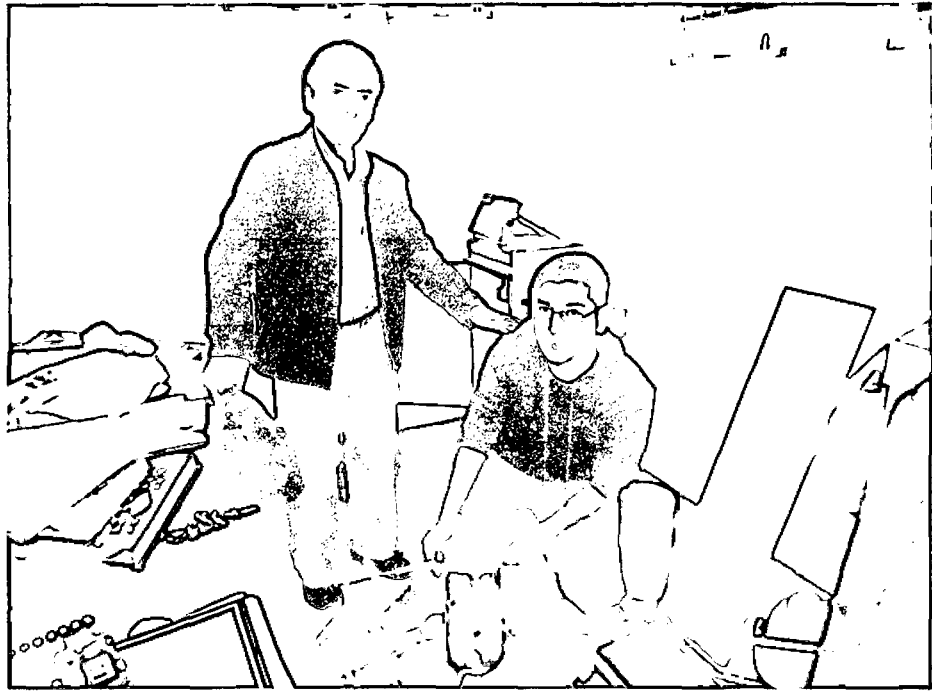


Foto 14. Mediad del diámetro de especímenes.

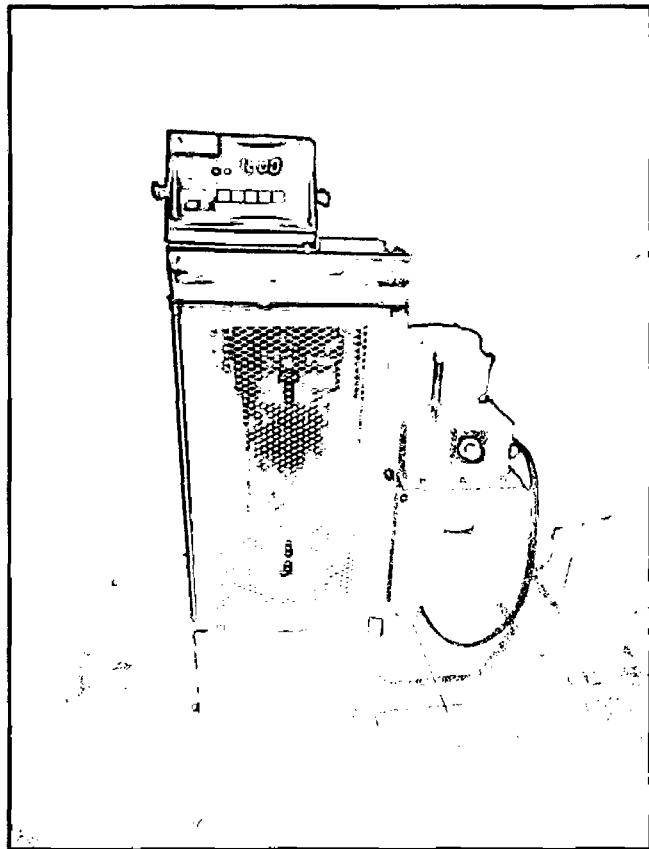


Foto 15. Especímen de concreto sometido a la prueba de resistencia a la compresión.

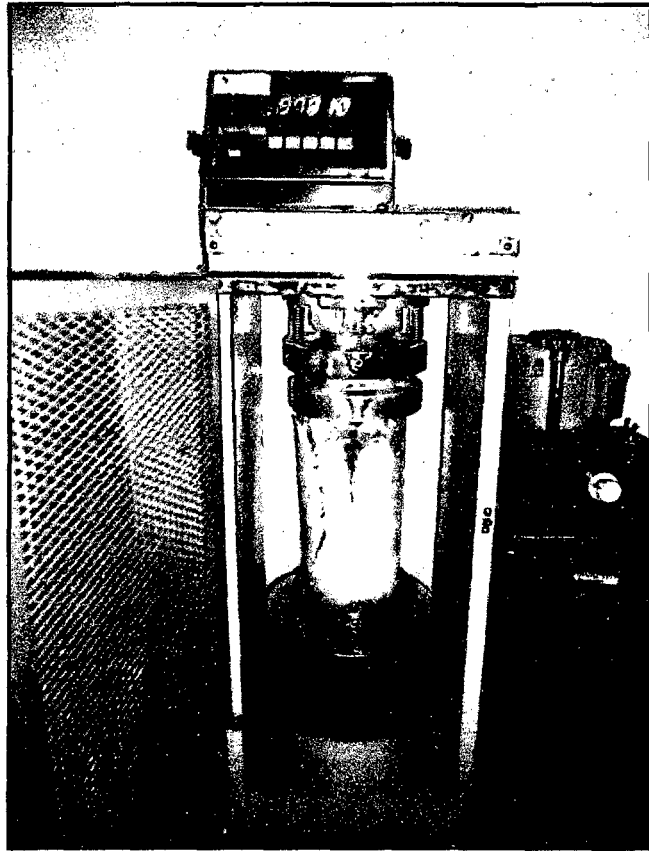


Foto 15. Espécimen de concreto sometido a la prueba de resistencia a la compresión.

## Hoja técnica del fabricante del aditivo Chema fume



**CHEM MASTERS DEL PERU S.A**

**Chema Fume**

Aditivo mineral, microsilica sin densificar

### DESCRIPCIÓN:

CHEMA FUME es un aditivo mineral en polvo compuesto por sílice en estado cristalino (microsilice) que reacciona químicamente con el hidróxido de calcio del cemento para formar silicatos hidratados, de modo que se obtienen morteros y concretos de elevadas resistencias mecánicas, baja permeabilidad y mayor durabilidad. CHEMA FUME cumple con la especificación ASTM C1243.

### USOS:

- Elaboración de concretos y morteros de alta resistencia.
- Elaboración de concretos y morteros para ciclovías (pavimentos).
- Elaboración de concretos de baja permeabilidad y alta durabilidad.
- Estructuras marítimas, puentes, túneles, presas, represas.

### VENTAJAS:

- Aumento de la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión.
- Disminuye el porcentaje de vacíos aumentando la impermeabilidad.
- Forma compuestos hidratados, disminuyendo la exudación y aumentando la cohesión. Mejor resistencia a agentes químicos externos (ácidos, carbonatos, sulfatos).
- Mejora el desempeño de la mezcla cementada.
- Mayor vida útil de la estructura.

### PREPARACIÓN DEL PRODUCTO:

Véase lista para usar.

### APLICACIÓN DEL PRODUCTO:

Añadir CHEMA FUME de la misma forma que es dosificado el cemento, en la planta de procesamiento ó en el mixer, según lo especificado en la norma ASTM C81.

### CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS:

Aspecto	: polvo
Color	: gris
Cristalografía	: sólido amorfo
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	: 2,35
Retenido sobre malla de 45 µm (N° 325 ASTM) (%)	: 3,7
Superficie específica BET (m <sup>2</sup> /g)	: 24
Índice de actividad puzolánica , 7 días (%)	: 142
Pérdidas por ignición (%)	: 2,4
Contenido de sílice, SiO <sub>2</sub> (%)	: 96,6
Expansión autóclava (%)	: + 0,036

La información contenida en esta hoja técnica es solo una referencia general y no constituye una recomendación. La correcta aplicación de este producto depende de la experiencia y el conocimiento del usuario. El fabricante no se hace responsable de los resultados obtenidos por el uso de este producto en condiciones no recomendadas.



**IMPORTADORA TÉCNICA INDUSTRIAL Y COMERCIAL S.A.**

Av. Industrial 725, Lima 1, TEL: (511) 336-8407 - Fax (511) 336-8408  
e-mail: chema@ticias.com web: www.chema.com.pe



Fuente: <http://www.chema.com.pe/images/upload/productos/2-aditivos-para-concreto/2.8-endurecedor-de-pisos/pdf/CHEMAFUME.pdf>