

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL
CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE
VIDRIO MOLIDO, AYACUCHO - 2016**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AGRÍCOLA**

**PRESENTADO POR:
SANDRA LEÓN JUICA**

**AYACUCHO – PERÚ
2016**

DEDICATORIA

Agradezco ante todo a Jehová Dios mi creador, por ser el que me capacitó en cada etapa de mi carrera, brindándome la inteligencia y sabiduría necesaria para poder desenvolverme hasta alcanzar esta meta.

A mis queridos padres: Zósimo y Nancy quienes me brindaron el soporte y la fortaleza para seguir adelante y lograr mis objetivos.

A mi abuelita Bacilia, por su apoyo incondicional en todo sentido.

A todos los que me brindaron su apoyo y amistad sincera.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga (UNSCH); alma máter de mi formación profesional, a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por haberme albergado en sus aulas y brindarme una formación profesional.
- A la Empresa HHC INGENIEROS ASOCIADOS SAC Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto; al Ingeniero Rolando Amilcar Huallanca de la Cruz, por haberme permitido realizar mis ensayos de laboratorio.
- A la distinguida plana docente de la escuela profesional de Ingeniería Agrícola por sus enseñanzas, consejos y orientaciones durante mi formación profesional.
- A mi asesor el Ing. Vance Giorgio Fernández Huamán, por brindarme su asesoría y apoyo para la presentación de esta tesis.

INDICE

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
INDICE.....	iii
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	1
I. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Fundamento teórico	4
1.2.1 El concreto	4
1.2.1.1 Importancia del concreto.....	5
1.2.1.2 Requisitos de las mezclas.....	5
1.2.1.3 Materiales para el concreto.....	7
1.2.1.4 Propiedades del concreto	36
1.2.1.5 Pruebas en el concreto	37
1.2.1.6 Temperatura del concreto.....	37
1.2.1.7 Hidratación y curado del concreto.....	38
1.2.1.8 Diseño de mezclas del concreto	38
1.2.1.9 Tipos de concreto	40
1.2.2 El vidrio	40
1.2.3 El vidrio como agregado	43
1.2.3.1 Características principales del vidrio.....	43
1.2.3.2 Fabricación del vidrio	44

1.2.3.3 Propiedades generales del vidrio	45
1.2.4 Documentos citados	48
1.2.4.1 Normas ASTM / NTP	48
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
2.1 Descripción general de la zona de estudio.....	49
2.1.1 Zona de estudio	49
2.1.2 Características de la zona de estudio	51
2.1.2.1 Vías de comunicación y acceso.....	51
2.1.2.2 Clima.....	51
2.2 Materiales.....	52
2.3 Métodos	52
2.3.1 Descripción general de los ensayos realizados	52
2.3.2 Tratamiento del vidrio	53
2.3.2.1 Limpieza del vidrio	53
2.3.2.2 Triturado del vidrio	54
2.3.2.3 Proceso de molienda	54
2.3.2.4 Material resultante	55
2.3.3 Tratamiento de los áridos y el vidrio molido.....	56
2.3.4 Ensayos previos.....	56
2.3.4.1 Granulometría	56
2.3.4.2 Peso específico.....	63
2.3.4.3 Diseño de dosificación	68
2.3.4.4 Resumen de dosificación.....	69
2.3.4.5 Confección de probetas	70
2.3.4.6 Desmolde y curado	73
III. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	74

3.1 Generalidades.....	74
3.2 Procedimiento	74
IV. CONCLUSIONES.....	86
V. RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	89
ANEXOS.....	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Componentes del concreto	8
Tabla 1.2. Fases minerales del clinker.....	8
Tabla 1.3. Límites de composición aproximados para cemento portland tipo I	13
Tabla 1.4. Compuestos principales del cemento portland	14
Tabla 1.5. Requisitos físicos del cemento.....	18
Tabla 1.6. Límites permisibles para el agua de mezcla y curado según la norma NTP 339.088.....	21
Tabla 1.7. Clasificación de la forma de partículas.....	32
Tabla 2.1. Tiempo de llegada de Ayacucho al río chillico	51
Tabla 2.2. Granulometría de la arena gruesa	59
Tabla 2.3. Granulometría de la piedra chancada	59
Tabla 2.4. Granulometría del vidrio molido	60
Tabla 2.5. Granulometría de la arena gruesa + 20% de vidrio molido	61
Tabla 2.6. Granulometría de la arena gruesa + 25% de vidrio molido	61
Tabla 2.7. Granulometría de la arena gruesa + 30% de vidrio molido	62
Tabla 2.8. Peso específico de la arena gruesa.....	65
Tabla 2.9. Peso específico de la piedra chancada.....	65
Tabla 2.10. Peso específico del vidrio molido.....	66
Tabla 2.11. Peso específico de la arena gruesa + 20% de vidrio molido...	66
Tabla 2.12. Peso específico de la arena gruesa + 25% de vidrio molido...	67
Tabla 2.13. Peso específico de la arena gruesa + 30% de vidrio molido...	67
Tabla 2.14. Resultados de dosificación para concreto base	69
Tabla 2.15. Resultados de dosificación para concreto con 20% de vidrio molido	69
Tabla 2.16. Resultados de dosificación para concreto con 25% de vidrio molido	69
Tabla 2.17. Resultados de dosificación para concreto con 30% de vidrio molido	69
Tabla 2.18. Resultados de dosificación con 20% de vidrio molido.....	71
Tabla 2.19. Resultados de dosificación con 25% de vidrio molido.....	71

Tabla 2.20. Resultados de dosificación con 30% de vidrio molido.....	72
Tabla 3.1. Concreto base para $f'c = 175\text{kg/cm}^2$	77
Tabla 3.2. Concreto base para $f'c = 210\text{kg/cm}^2$	78
Tabla 3.3. Concreto base para $f'c = 280\text{kg/cm}^2$	79
Tabla 3.4. Concreto con 20% de vidrio molido para $f'c = 175\text{kg/cm}^2$	80
Tabla 3.5. Concreto con 20% de vidrio molido para $f'c = 210\text{kg/cm}^2$	81
Tabla 3.6. Concreto con 20% de vidrio molido para $f'c = 280\text{kg/cm}^2$	82
Tabla 3.7. Concreto con 25% de vidrio molido para $f'c = 175\text{kg/cm}^2$	83
Tabla 3.8. Concreto con 25% de vidrio molido para $f'c = 210\text{kg/cm}^2$	84
Tabla 3.9. Concreto con 30% de vidrio molido para $f'c = 210\text{kg/cm}^2$	85

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Prueba del slump.....	6
Figura 1.2. Cementos portland tipo I.....	9
Figura 1.3. Almacenamiento del cemento.....	20
Figura 1.4. Agua potable para la preparación del concreto	21
Figura 1.5. Arena gruesa	23
Figura 1.6. Piedra chancada	24
Figura 1.7. Hormigón	25
Figura 1.8. Diagrama de humedad de los agregados.....	28
Figura 1.9. Diversas aplicaciones del vidrio.....	42
Figura 1.10. El vidrio en la construcción. Tipologías y usos	43
Figura 2.1. Lavado con detergente de las botellas de vidrio.....	54
Figura 2.2. Molienda del vidrio en la máquina donde se realiza la prueba los ángeles.....	55
Figura 2.3. Molienda del vidrio en la máquina donde se realiza la prueba los ángeles.....	55
Figura 2.4. Vidrio triturado	56
Figura 2.5. Realización del peso unitario suelto de la arena gruesa y piedra chancada	57
Figura 2.6. Realización del peso unitario suelto de la arena gruesa y piedra chancada	57
Figura 2.7. Realización del peso unitario suelto del vidrio molido.....	58
Figura 2.8. Realización del peso unitario suelto del vidrio molido.....	58
Figura 2.9. Curva granulométrica de la arena gruesa.....	59
Figura 2.10. Curva granulométrica de la piedra chancada	60
Figura 2.11. Curva granulométrica del vidrio molido.....	60
Figura 2.12. Curva granulométrica de la arena gruesa + 20% de vidrio molido	61
Figura 2.13. Curva granulométrica de la arena gruesa + 25% de vidrio molido	62
Figura 2.14. Curva granulométrica de la arena gruesa + 30% de vidrio molido	62

Figura 2.15. Realización del peso específico de la arena gruesa con 25% del vidrio molido.....	64
Figura 2.16. Realización del peso específico de la arena gruesa con 25% del vidrio molido.....	64
Figura 2.17. Pesado de los materiales para la elaboración del concreto...	71
Figura 2.18. Realizando el compactado del concreto	73
Figura 3.1. Probetas identificadas antes de hacer el ensayo.....	75
Figura 3.2. Refrentando con mortero de azufre	75
Figura 3.3. Probetas colocadas en la máquina de ensayo	76
Figura 3.4. Probetas colocadas en la máquina de ensayo	76
Figura 3.5. Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto base para $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	77
Figura 3.6. Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto base para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	78
Figura 3.7. Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto base para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	79
Figura 3.8. Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto con 20% de vidrio molido para $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	80
Figura 3.9. Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto con 20% de vidrio molido para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	81
Figura 3.10. Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto con 20% de vidrio molido para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	82
Figura 3.11. Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto con 25% de vidrio molido para $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	83
Figura 3.12. Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto con 25% de vidrio molido para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	84
Figura 3.13. Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto con 30% de vidrio molido para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	85

RESUMEN

El presente trabajo de tesis, trató sobre la “Variación de las características mecánicas del concreto a través de la incorporación de vidrio molido, Ayacucho”, la investigación ha sido conceptuada de tipo de investigación aplicada, con un nivel de investigación experimental; aplicación del método y diseño de investigación experimental. Tuvo como propósito determinar de qué manera el concreto con incorporación de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) influye en la variación del esfuerzo a la compresión del concreto para $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.

Para determinar de qué manera el concreto con incorporación de vidrio molido influye en la variación del esfuerzo a la compresión, se confeccionaron mezclas de concreto de prueba, de resistencia $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, con porcentajes variables de vidrio en reemplazo de una fracción del agregado fino (arena gruesa); para ello se realizaron los diferentes ensayos para el diseño de mezcla de concreto. Las resistencias obtenidas se comparan con la resistencia de concreto normalizado, sin adición de vidrio.

Los resultados muestran que el concreto con adición de vidrio molido, mantiene prácticamente inalterable sus propiedades.

La extracción, transporte y tratamiento de materias primas, además del impacto medioambiental ocasionado, impulsa la búsqueda de alternativas para hacer sustentable la ejecución de proyectos de obras civiles en general.

Palabras clave: esfuerzo a la compresión, diseño de mezcla, impacto medioambiental.

INTRODUCCIÓN

Catalan (2013), la ingeniería de materiales de construcción, como rama de la ciencia es una disciplina que avanza día a día, en una constante búsqueda por tener mejores alternativas para dar solución a los distintos requerimientos del mercado. Se desea que las estructuras sean lo más resistentes posibles, que aseguren una determinada vida útil, y un óptimo desempeño de los materiales empleados, pero sin perder de vista la rentabilidad del proyecto, todo esto enmarcado en el ambiente en el cual nos desenvolvemos como sociedad. Enmarcándose en este contexto nace este proyecto de investigación, el cual está comprendido entre los aspectos: innovación tecnológica, específicamente en los materiales de ingeniería; reducción de costos asociados, y cuidado del medio ambiente.

Los agregados (arena gruesa y piedra chancada) son desde lejos los materiales más utilizados en la construcción, debido a su buen comportamiento, cuando se diseña y se produce adecuadamente, el agregado presenta excelentes propiedades mecánicas, en cuanto a resistencia a distintos esfuerzos, impactos, la acción del fuego, ambientes agresivos, etc.

Al determinar la influencia del concreto con incorporación de vidrio molido sobre el esfuerzo a compresión; esta tesis brindara una alternativa diferente para el reciclaje del vidrio, lo cual es una excelente manera de reducir los residuos, reducir los costos de construcción y ayudar al medio ambiente.

Desde un tiempo a esta parte, se han desarrollado investigaciones que apuntan a reducir el impacto que genera la industria del concreto en el medio ambiente, particularmente mediante el uso de material reciclado como agregado para la preparación del concreto para distintos esfuerzos, principalmente el uso de cenizas volantes, escoria de altos hornos en fundiciones de acero, desechos de vidrio, neumáticos, plásticos en general y concreto provenientes de demoliciones, entre otros.

La industria de la construcción, exige cantidades exorbitantes de materiales pétreos para elaborar el concreto.

En los alrededores de las localidades donde se dedican a la extracción de dicho material tienen un alto costo en lo que se refieren a deforestación y contaminación del aire producido por las partículas de polvo. A largo plazo, contribuye a la disminución de los mantos acuíferos y a la elevación de la temperatura en la zona y a nivel mundial.

La presente tesis presenta los siguientes objetivos:

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar de qué manera el concreto con incorporación de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) influye en la variación del esfuerzo a la compresión del concreto.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el esfuerzo a la compresión del concreto con 20% de vidrio molido en reemplazo del agregado fino para $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.
- Determinar el esfuerzo a la compresión del concreto con 25% de vidrio molido en reemplazo del agregado fino para $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.
- Determinar el esfuerzo a la compresión del concreto con 30% de vidrio molido en reemplazo del agregado fino para $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.

I. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Antecedentes

Según Aparicio, Rivera y Rodríguez (2009), el concreto de vidrio no es un concepto nuevo, la idea de usar vidrio reciclado como un agregado para el concreto, ha estado desde al menos 30 años. En su laboratorio en New York, Carretón Meyer y su equipo han creado una exitosa receta para una durable y fuerte forma de concreto de vidrio; con la asistencia de la empresa de ciencia y tecnología de Columbia (Columbinas Sáciense and Tecnología Ventares, S&TV), se ha desarrollado activamente las posibilidades comerciales del mismo, desechando así los argumentos de los que piensan que construir con el concreto de vidrio es demasiado caro o arriesgado porque Columbia está en contacto con un número de compañías capaces de producir su producto innovador. Por ejemplo, la compañía de azulejos Wausau, está todavía produciendo en masa azulejos de terrazo, y otros productos de concreto de vidrio bajo la licencia de Columbia. Dependiendo de los gustos del consumidor el concreto de vidrio puede ser producido con partículas de vidrio con diferentes tamaño y colores combinados con una adaptable matriz coloreada como fondo – arquitectos y diseñadores están comprobando que el concreto no es solamente ambientalmente sólido, puede ser colocado estéticamente. Científicos australianos por su parte han dado luz verde a usar desperdicios de vidrio en la construcción de concreto. Esto significa que el concilio local, recicladores, ingenieros municipales, y contratistas privados pueden ver usar concreto de vidrio para un rango de

aplicaciones de construcción incluyendo rutas de bicicletas, aceras, bordes, y trabajos similares.

El Dr. Kwas Sigue Prensil de CSIRO Ingeniería de Materiales Sostenibles dice:

“Hemos llevado a cabo extensivas pruebas de campo y laboratorio que han mostrado que el desperdicio de vidrio que es triturado es fuerte, seguro y económico cuando es usado como un sustituto de la arena en el concreto. Nuestros estudios han mostrado que los nuevos usos para desperdicios de vidrio en el concreto significan una oportunidad que próximamente todo el vidrio que hoy es tirado pueda ser triturado y puesto en un buen uso. CSIRO ha preparado una guía para concreto premezclado utilizando vidrio triturado.”

1.2 Fundamento teórico

1.2.1 El concreto

Según Rivva (2000), el concreto es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado.

La pasta es el resultado de la combinación química del material cementante con el agua. Es la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de éste.

El agregado es la fase discontinua del concreto dado que sus diversas partículas no se encuentran unidas o en contacto unas con otras, sino que se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta endurecida.

Las propiedades del concreto están determinadas fundamentalmente por las características físicas y químicas de sus materiales componentes, pudiendo ser mejor comprendidas si se analiza la naturaleza del concreto.

Después del vaciado, es necesario garantizar que el cemento reaccione químicamente y desarrolle su resistencia. Esto sucede principalmente durante los 7 primeros días, por lo cual es muy importante mantenerlo

húmedo en ese tiempo, a este proceso se le conoce como curado del concreto.

1.2.1.1 Importancia del concreto

Según Rivva (2000), actualmente el concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro país. Si bien la calidad final del concreto depende en forma muy importante del conocimiento del material y de la calidad profesional del ingeniero, el concreto es, en general, desconocido en muchos de sus siete grandes aspectos: *naturaleza, materiales, propiedades, selección de las proporciones, proceso de puesta en obra, control de calidad e inspección y mantenimiento de los elementos estructurales.*

La principal limitación a las múltiples aplicaciones que se pueden dar al concreto es el desconocimiento de alguno de los aspectos ya indicados; así como de la mayor o menor importancia de los mismos de acuerdo al empleo que se pretende dar al material. Ello obliga al estudio y actualización permanentes para obtener del concreto las máximas posibilidades que como material puede ofrecer al ingeniero.

1.2.1.2 Requisitos de las mezclas

Según Rivva (2000), las mezclas de concreto deberán cumplir con los siguientes requisitos básicos:

- a.** La mezcla recién preparada deberá tener la trabajabilidad, consistencia y cohesividad que permitan su adecuada colocación en los encofrados. Esta mezcla deberá estar libre de segregación y tener una exudación mínima.
- b.** La mezcla endurecida deberá tener las propiedades especificadas en función del empleo que se va a dar a la estructura.
- c.** El costo de la unidad cúbica de concreto endurecido deberá ser el mínimo compatible con la calidad deseada.

Según El manual del maestro constructor – Aceros Arequipa (2010), las propiedades principales del concreto en estado fresco son:

- **Trabajabilidad:** Es el mayor o menor trabajo que hay que aportar al concreto en estado fresco en los procesos de mezclado, transporte, colocación y compactación. La forma más común para medir la "trabajabilidad" es mediante "la prueba del slump". Los instrumentos que se necesitan son una plancha base, un cono y una varilla de metal. Esta prueba consiste en medir la altura de una masa de concreto luego de ser extraída de un molde en forma de cono. Cuanto mayor sea la altura, el concreto será más trabajable. De la misma manera, cuanto menor sea la altura, el concreto estará muy seco y será poco trabajable.

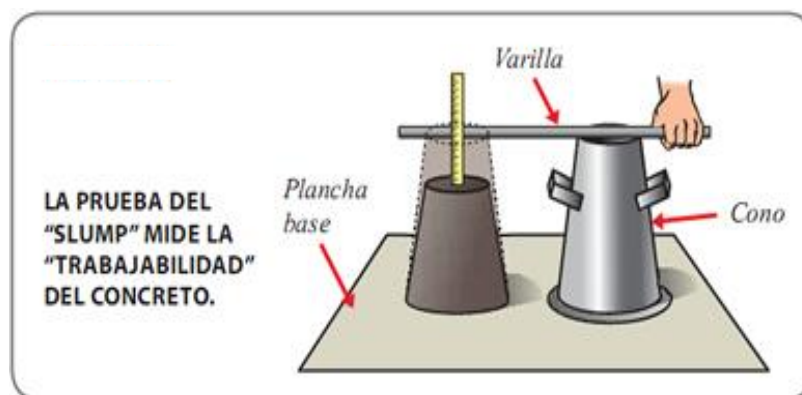


Figura 1.1 Prueba del Slump

Fuente: Manual del Maestro Constructor (2010)

El primer paso para hacer esta prueba consiste en sacar una muestra de concreto de una determinada tanda de la mezcladora. Con esta muestra se llena el cono mediante tres capas y se chucea con la varilla, 25 veces cada una. Inmediatamente después se nivela el cono, se levanta verticalmente y se le coloca al lado del concreto. Por último, se mide la altura entre el cono y el concreto, colocando la varilla horizontalmente sobre el cono.

- **Segregación:** Ocurre cuando los agregados gruesos, que son más pesados, como la piedra chancada se separan de los demás materiales del concreto. Es importante controlar el exceso de segregación para evitar mezclas de mala calidad. Esto se produce, por ejemplo, cuando se traslada el concreto en buggy por un camino accidentado y de largo

recorrido, debido a eso la piedra se segrega, es decir, se asienta en el fondo del buggy.

- **Exudación:** Se origina cuando una parte del agua sale a la superficie del concreto. Es importante controlar la exudación para evitar que la superficie se debilite por sobre-concentración de agua. Esto sucede, por ejemplo, cuando se excede el tiempo de vibrado haciendo que en la superficie se acumule una cantidad de agua mayor a la que normalmente debería exudar.

- **Contracción:** Produce cambios de volumen en el concreto debido a la pérdida de agua por evaporación, causada por las variaciones de humedad y temperatura del medio ambiente. Es importante controlar la contracción porque puede producir problemas de fisuración. Una medida para reducir este problema es cumplir con el curado del concreto.

Por otro lado, las propiedades del concreto en estado endurecido son:

- **Elasticidad:** Es la capacidad de comportarse elásticamente dentro de ciertos límites. Es decir, que una vez deformado puede regresar a su forma original.

- **Resistencia:** Es la capacidad del concreto para soportar las cargas que se le apliquen. Para que éste desarrolle la resistencia indicada en los planos, debe prepararse con cemento y agregados de calidad. Además, debe tener un transporte, colocado, vibrado y curado adecuado.

1.2.1.3 Materiales para el concreto

Según ICG (2014), los materiales para el concreto son:

- a. cemento.
- b. agua.
- c. agregados.
- d. aire.
- e. aditivos.

Tabla 1.1
Componentes del concreto

Aditivo	0.1% - 0.2%
Aire	1% - 3%
Cemento	7% - 15%
Agua	15% - 22%
Agregados	60% - 75%

Fuente: ICG (2014)

a. Cemento:

Según Rivera (2002), es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene: sílice, alúmina y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. Se excluyen las cales hidráulicas, cales aéreas y yesos.

a.1 Clinker

Según ICG (2014), producto obtenido por calcinación de materias primas, calizas y arcillosas adecuadamente dosificadas.

Tabla 1.2
Fases minerales del clinker

Designación	Fórmula	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₃ S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₂ S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C ₃ A
Ferrito aluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C ₄ AF
Cal libre	CaO	
Magnesia libre (Periclasa)	MgO	

Fuente: ICG (2014)

a.2 Cemento portland

Según Rivera (2002), producto que se obtiene por la pulverización del clinker portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el clinker.



Figura 1.2 Cementos Portland Tipo I

Fuente: UNACEM (2013)

a.3 Fabricación del cemento portland

Según Rivera (2002), el cemento portland está compuesto principalmente por materiales calcáreos tales como caliza, alúmina y sílice que se encuentran como arcilla o pizarra; también se utiliza marga, que es un material calcáreo-arcilloso, por yeso y en los últimos años la adición de material puzolánico, que puede ser en estado natural como tierra de diatomeas, rocas opalinas, esquistos, cenizas volcánicas, o material calcinado (los nombrados anteriormente y algunos como las arcillas y esquistos más comunes), o de material artificial (óxido de silicio precipitado y cenizas volantes).

El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente la materia prima, mezclarla minuciosamente en una cierta proporción y calcinarla en un horno rotatorio de gran dimensión, a una temperatura de 1300 a 1400°C, a la cual el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas conocidas como clinker. El clinker se enfría y a continuación, se adiciona un poco de yeso y en los últimos tiempos, material puzolánico, que se tritura hasta obtener un polvo fino; el producto comercial resultante es el cemento Portland, utilizado a gran escala en

todo el mundo. La mezcla y la trituración de materias primas pueden efectuarse tanto en húmedo como en seco, de donde provienen los nombres de proceso "húmedo" o "seco". El método de fabricación a seguir depende, de la naturaleza de las materias primas usadas y principalmente de factores económicos.

Estos dos procesos son los más usados a nivel comercial, pero existen otros métodos empleados en la fabricación del cemento a pequeña escala, que son, entre otros, el semisecho, la fabricación con horno vertical y fabricación con horno de parrilla de preparación (Lepol).

Proceso húmedo

Rivera (2002), cuando se emplea marga, este material se tritura finamente y se dispersa en agua en un molino de lavado, el cual es un pozo circular con brazos revolventes radiales con rastrillos, los cuales rompen los aglomerados de materias sólidas. La arcilla también se tritura y se mezcla con agua, generalmente es un molino de lavado semejante al anterior.

Enseguida se bombean las dos mezclas de forma tal que se mezclen en proporciones determinadas y pasen a través de una serie de cribas. La lechada resultante fluye a estanques de almacenamiento. Si se emplea caliza, debe barrenarse, triturarse, generalmente en dos trituradoras, una más pequeña que la otra, y luego depositarse en un molino de bolas, con arcilla dispersa en agua. Allí se continúa el molido de la caliza hasta el grado de finura de harina, y la lechada resultante se bombea a estanques de almacenamiento.

Generalmente hay varios tanques de almacenamiento en los cuales se guarda la lechada; la sedimentación de los sólidos suspendidos se impide mediante la agitación mecánica o por burbujeo de aire comprimido. El contenido de cal de la lechada está determinado por la proporción de materiales calcáreos o arcillosos.

Un ajuste final para obtener la composición química requerida puede efectuarse mezclando lechadas de diferentes tanques de almacenamiento, utilizando a veces un sistema complicado de tanques de mezclado.

De aquí en adelante, el proceso es el mismo, sin importar la naturaleza original de las materias primas.

Finalmente, la lechada con contenido de cal deseado pasa a un horno rotatorio. Se trata de un cilindro de acero de gran tamaño recubierto de material refractario, con diámetro interior hasta de 5 m, y una longitud que a veces alcanza 150 m, el cual gira lentamente alrededor de su eje, levemente inclinado respecto a la horizontal. La lechada se deposita en el extremo superior del horno mientras se añade carbón pulverizado mediante la insuflación de un chorro en el extremo inferior, donde la temperatura alcanza 1300 a 1500°C.

El carbón no debe tener un contenido demasiado alto de cenizas y merece una mención especial puesto que se consume hasta 350 kg para fabricar una tonelada de cemento.

Cuando la lechada desciende dentro del horno, encuentra progresivamente mayores temperaturas. Primero se elimina el agua y se libera CO₂; posteriormente, el material seco sufre una serie de reacciones químicas hasta que, finalmente, en la parte más caliente del horno, un 20 a 30 por ciento del material se vuelve líquido y la cal, la sílice y alúmina vuelven a combinarse. Después la masa se funde en bolas de diámetros que varían entre 3 y 25 mm, conocidas como clinker. El clinker cae dentro de enfriadores de diferentes tipos que a menudo favorece un intercambio de calor con el aire que después se usa para la combustión del carbón pulverizado. Un horno de grandes dimensiones puede producir más de 700 toneladas de cemento al día.

El clinker frío, que es característicamente negro, reluciente y duro, se mezcla con yeso para evitar un fraguado relámpago del cemento. La mezcla se efectúa en un molino de bolas compuesto de diversos compartimientos, los cuales tienen bolas de acero cada vez más pequeñas.

En algunas plantas se emplea un sistema de circuito cerrado de mezcla donde el cemento descargado por el molino pasa a través de un separador, y las partículas finas se trasladan a un silo de almacenamiento

por medio de una corriente de aire, mientras que las partículas mayores vuelven a pasar por el molino.

El circuito cerrado de mezcla evita la producción de una gran cantidad de material excesivamente fino o de una pequeña cantidad de material demasiado grueso, fallas que a menudo se presentan en sistemas de molido de circuito abierto.

Una vez que el cemento se ha mezclado satisfactoriamente, cuando alcanza a tener hasta $1,1 \times 10^{12}$ partículas por kg, está en condiciones para empacarse en los conocidos sacos de papel (por lo general de 50 kg), en tambores o para transporte a granel.

Procesos seco y semiseco

En los procesos seco y semiseco, las materias primas se trituran y adicionan en las proporciones correctas en un molino de mezclado, donde se secan y se reduce su tamaño a un polvo fino.

El polvo seco llamado grano molido crudo, se bombea al silo de mezclado y se hace un ajuste final en la proporción de materiales requeridos para la manufactura del cemento.

Para obtener una mezcla íntima y uniforme, se mezcla el grano crudo, generalmente mediante aire comprimido, induciendo un movimiento ascendente del polvo y reduciendo su densidad aparente. El aire se bombea por turnos sobre cada cuadrante del silo y esto permite al material aparentemente más pesado de los cuadrantes no aireados, moverse lateralmente hacia el cuadrante aireado.

De este modo, el material aireado tiende a comportarse como un líquido y por aireado sucesivo de todos los cuadrantes, que se completa en un período y alrededor de una hora, se obtiene una mezcla uniforme. En algunas plantas de cemento se emplean sistemas de mezclado continuo.

El grano molido y mezclado se pasa por un tamiz y se deposita en una cuba rotativa llamada granulador. Simultáneamente, se agrega agua en una cantidad correspondiente a un 12% de la masa del grano molido adicionado. De esta forma, se obtienen pastillas duras de alrededor de 15 mm de diámetro interior. Esto es conveniente, si se introdujera

directamente el polvo en el horno, se impediría el flujo en el aire y el intercambio de calor necesarios para las reacciones químicas de la formación del clinker del cemento. Enseguida, las pastillas se meten al horno y las operaciones posteriores son las mismas que en el proceso de fabricación en húmedo. Sin embargo, como el contenido de humedad de las pastillas es sólo del 12%, comparado con el 40% de la lechada empleada en el proceso húmedo, el horno utilizado en el proceso seco tiene dimensiones considerablemente menores. La cantidad de calor requerida es mucho más baja puesto que hay que eliminar alrededor de sólo un 12% de humedad, aunque ya se ha utilizado previamente calor adicional para remover la humedad original de las materias primas (generalmente del 6 al 10 por ciento). El proceso es, por lo tanto, bastante económico, pero sólo si las materias primas están relativamente secas. En tal caso, el consumo total del carbón puede ser tan pequeño como 100 kg por tonelada de cemento.

a.4 Composición química del cemento portland

Según Rivera (2002), se ha visto que las materias primas utilizadas en la fabricación de cemento Portland consisten principalmente de cal, sílice, alúmina e hierro.

Tabla 1.3
Límites de composición aproximados para cemento portland tipo I

ÓXIDO	CONTENIDO (%)
CaO	60 – 67
SiO ₂	17 – 25
Al ₂ O ₃	3 – 8
Fe ₂ O ₃	0,5 – 6,0
MgO	0,1 – 4,0
Álcalis	0,2 – 1,3
SO ₃	1 – 3

Fuente: Rivera (2002)

Estos compuestos interactúan en el horno, para formar un serie de productos más complejos, hasta alcanzar un estado de equilibrio químico, con la excepción de un pequeño residuo de cal no combinada (CaO), que no ha tenido suficiente tiempo para reaccionar. Sin embargo, el equilibrio no se mantiene durante el enfriamiento, y la velocidad de éste afecta el

grado de cristalización y la cantidad de material amorfo, conocido como vidrio, difieren considerablemente de las de compuestos cristalinos de una composición química nominal similar. Otra complicación aparece debido a la interacción de la parte líquida del clinker con los compuestos cristalinos ya presentes.

No obstante, se puede considerar que el cemento se encuentra en un estado de equilibrio congelado, es decir, que los productos congelados reproducen el equilibrio existente durante la temperatura de formación del clinker. De hecho, se hace esta suposición para calcular la composición de compuestos de los cementos comerciales; la composición "potencial" se calcula a partir de las cantidades medibles de óxidos que están presentes en el clinker, como si se hubiera producido una cristalización completa de los productos en equilibrio.

Se suelen considerar cuatro compuestos como los componentes principales del cemento; se enumeran en la tabla N°1.4, junto con sus símbolos de abreviación. Esta anotación abreviada, utilizada por los químicos del cemento, describe cada óxido con una letra, a saber:



Análogamente, el H₂O del cemento hidratado se indica por una H.

Tabla 1.4
Compuestos principales del cemento portland

Nombre del Compuesto	Fórmula	Abreviatura
Silicato dicálcico	2CaO . SiO ₂	C ₂ S
Silicato tricálcico	3CaO . SiO ₂	C ₃ S
Aluminato tricálcico	3CaO . Al ₂ O ₃	C ₃ A
Aluminoferrito tretacálcico	4CaO . Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Fuente: Rivera (2002)

En realidad los silicatos que se encuentran en el cemento no son compuestos puros, pues contienen pequeñas cantidades de óxidos en soluciones sólidas. Estos óxidos tienen efectos importantes en los ordenamientos atómicos, las formas cristalinas y las propiedades hidráulicas de estos silicatos.

El *silicato dicálcico* (C₂S) endurece lentamente y contribuye en gran parte al aumento de resistencia a edades mayores de una semana, se

considera que a los 180 días ha reaccionado aproximadamente un 50% únicamente.

El **silicato tricálcico (C₃S)** endurece rápidamente y es el factor principal del fraguado inicial y del rápido endurecimiento. En general, la resistencia prematura (durante el primer mes) del cemento es mayor al aumentar los porcentajes de C₃S.

El **aluminato tricálcico (C₃A)** libera una gran cantidad de calor durante los primeros días de endurecimiento, en la primera semana se hidrata casi completamente contribuyendo ligeramente con la resistencia temprana. Su principal función es facilitar la reacción de la sílice con la cal. Los cementos con un bajo contenido de C₃A son especialmente resistentes a los suelos y aguas que contengan sulfatos.

La formación del **aluminoferrito tetracálcico (C₄AF)** reduce la temperatura de calcinación en el horno rotatorio, ayudando, por tanto, a la fabricación del cemento. Se hidrata con relativa rapidez (a los tres días casi en su totalidad), pero contribuye muy poco a la resistencia.

Los cálculos de composición potencial del cemento Portland basados en el trabajo de R.H. Bogue y otros investigadores, se denominan generalmente como "composición Bogue". Existen además otros métodos para calcular la composición.

Existen algunos "compuestos menores" como: MgO, TiO₂, Mn₂O₃, K₂O y Na₂O, que generalmente no sobrepasan de un pequeño porcentaje de la masa del cemento. Dos de los componentes menores revisten especial interés: Los óxidos de sodio y potasio, Na₂O y K₂O, conocidos como "álcalis" (aunque en el cemento existen también otros álcalis). Se ha encontrado que estos componentes reaccionan con algunos agregados y que los productos de esa reacción ocasionan una desintegración del concreto, además de afectar la rapidez con que el cemento adquiere resistencia. Debido a esto, se debe destacar que el término "compuesto menor" se refiere principalmente a la cantidad, pero no necesariamente a

su importancia. La cantidad de álcalis y Mn_2O_3 puede determinarse rápidamente utilizando un espectrofotómetro.

Dos conceptos importantes que son indicativos de la calidad de un cemento son:

- El residuo insoluble, determinado por el tratamiento con ácido clorhídrico, es una medida de la adulteración del cemento, que proviene principalmente de las impurezas del yeso.
- La pérdida al fuego muestra la medida de carbonatación e hidratación de la cal libre y el magnesio libre, debido a la exposición del cemento a la atmósfera.

a.5 Tipos de cemento portland

Según Rivera (2002), tipos especificados en norma NTP 334.009 y ASTM C-150-99. A medida que varían los contenidos de C_2S , C_3S , C_3A , C_4AF se modifican las propiedades del cemento Portland, por lo tanto se pueden fabricar diferentes tipos con el fin de satisfacer ciertas propiedades físicas y químicas para situaciones especiales.

Cemento portland tipo I

De uso común y corriente en construcciones de concreto y trabajos de albañilería donde no se requieren propiedades especiales.

Cemento puzolánico IP

Cemento al que se ha añadido puzolana hasta en un 15%, material que le da un color rojizo y que se obtiene de arcillas calcinadas, de cenizas volcánicas o de ladrillos pulverizados. La ventaja de reemplazar parte del cemento por este material, es que permite retener agua, por lo que se obtiene una mayor capacidad de adherencia.

Esto retrasa, además, el tiempo de fraguado y es conveniente cuando se necesita de más tiempo, por ejemplo, para frotachar un piso de concreto.

Cemento portland tipo II

De moderada resistencia al ataque de los sulfatos, se recomienda usar en ambientes agresivos. Los sulfatos son sustancias que aparecen en las

aguas subterráneas o en los suelos, que cuando entran en contacto con el concreto, lo deterioran.

Cemento portland tipo III

De desarrollo rápido de resistencia. Se recomienda usar cuando se quiera adelantar el desencofrado. Al fraguar, produce alto calor, por lo que es aplicable en climas fríos.

Cemento portland tipo IV

Al fraguar produce bajo calor, recomendable para vaciados de grandes masas de concreto. Por ejemplo, en presas de concreto.

Cemento portland tipo V

De muy alta resistencia al ataque de sales, recomendable cuando el elemento de concreto esté en contacto con agua o ambientes salinos.

Los cementos tipo III y IV no son fabricados en nuestro país.

Según ICG (2014), los tipos I son susceptibles de adicionarles incorporadores de aire, en cuyo caso, se le agrega el sufijo A; ejemplo: cemento tipo IIIA.

La norma ASTM-C-595-00 especifica las características de los cementos adicionados, los que contienen además de los compuestos mencionados, escoria y puzolanas, que modifican el comportamiento. Entre los tipos de cementos y el porcentaje añadido, tenemos:

- Tipo IS, entre 25% y 70% en peso de escoria de alto horno.
- Tipo ISM, menos del 25% en peso de escoria de alto horno.
- Tipo IP, entre 15% y 40% en peso de puzolana.
- Tipo IPM, menos del 15% en peso de puzolana.

Tabla 1.5
Requisitos físicos del cemento

Requisitos Físicos	Tipo					
	I	II	V	MS	IP	ICo
Resistencia a la compresión mín kg/cm ²						
3 días	120	100	80	100	130	130
7 días	190	170	150	170	200	200
28 días	280*	280*	210	280*	250	250
Tiempo de fraguado, minutos						
Inicial mínimo	45	45	45	45	45	45
Final máximo	375	375	375	375	375	375
Expansión en autoclave						
% máximo	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Resistencia a los sulfatos						
% máximo de expansión			0.04*	0.1	0.10*	
	--	--	14 días	6 meses	6 meses	--
Calor de hidratación máx KJ/Kg						
7 días	--	290°	--	--	290°	--
28 días	--	--	--	--	330°	--

Opcionales

Fuente: Rivera (2002)

Puzolanas son materiales que al reaccionar con los productos de hidratación del cemento como los hidróxidos de calcio, y el agua adquieren propiedades aglomerantes que no presentan individualmente.

En Perú se fabrican tipo I, tipo II, tipo V, tipo IP y tipo IPM. También se usa cemento que reduce la contracción de fragua.

a.6 Propiedades del cemento portland

Rivera (2002), la mayor parte de las especificaciones para cemento portland establecen límites a la composición química y algunas propiedades físicas, por lo tanto, el conocimiento de algunas de estas propiedades es provechoso para interpretar los resultados de las pruebas del cemento.

a.7 Almacenamiento del cemento en obra

Según ICG (2014), el cemento que se mantiene seco conserva sus características. Almacenado en envases estancos o en ambientes de temperatura y humedad controlada, su duración será indefinida. En las obras se requiere adoptar disposiciones adecuadas para que el cemento se mantenga en buenas condiciones, por un espacio de tiempo determinado.

Lo esencial es conservar el cemento seco, para lo cual debe cuidarse, que no sea afectado por la acción de la humedad directa, además se evitará la acción del aire húmedo.

En obras grandes o en aquellos casos en que el cemento deba almacenarse por un tiempo considerable, se deberá proveer una bodega, de tamaño adecuado sin aberturas ni grietas, que pueda mantener el ambiente lo más seco posible. En los casos en que sea previsible la presencia de lluvias, el techo tendrá la pendiente adecuada.

El piso deberá ser de preferencia de tablas, que se elevan sobre el suelo natural para evitar el paso de la humedad. Eventualmente se pueden usar tarimas de madera.

Las bolsas se deberán apilar juntas, de manera de minimizar la circulación del aire, dejando un espacio alrededor de las paredes.

Las puertas y las ventanas deberán estar permanentemente cerradas.

El apilamiento del cemento, por periodos no mayores de 60 días, podrá llegar hasta una altura de doce bolsas. Para mayores periodos de almacenamiento el límite recomendado es de ocho bolsas, para evitar la compactación de cemento.

Las bolsas de cemento se dispondrán de manera que se facilite su utilización de acuerdo al orden cronológico de recepción, a fin de evitar el envejecimiento de determinadas partidas.

No deberá aceptarse, de acuerdo a lo establecido en la norma, bolsas deterioradas o que manifiesten señales de endurecimiento del cemento.

En obras pequeñas, o cuando el cemento va a estar almacenado en periodos cortos de no más de 7 días, puede almacenarse con una mínima

protección, por ejemplo, sobre una base afirmada de concreto pobre y la protección de una cobertura, con lonas o láminas de plástico.

Las cubiertas deberán rebasar los bordes para evitar la penetración de la lluvia a la plataforma.

El recubrimiento deberá afirmarse en la parte inferior y si es posible en la superficie para evitar que sea levantada por el viento.

En todos los casos el piso deberá estar separado del terreno natural y asegurar que se mantenga seco.



Figura 1.3 Almacenamiento del cemento

b. Agua:

Rivva (1992), el agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 334.088 y ser, de preferencia, potable.

Está prohibido el empleo de aguas ácidas, calcáreas, minerales, carbonatadas, aguas provenientes de minas o relaves, aguas que contengan residuos minerales o industriales, aguas con un contenido de sulfatos mayor del 1%, aguas que contengan algas, materia orgánica, humus o descargas de desagües, aguas que contengan azúcares o sus derivados.



Figura 1.4 Agua potable para la preparación del concreto

Igualmente está prohibido el empleo de aquellas aguas que contengan porcentajes significativos de sales de sodio o de potasio disueltas, en todos aquellos casos en que la reacción álcali-agregado es posible.

Según ICG (2014), el agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

Tabla 1.6
Límites permisibles para el agua de mezcla y curado según la norma NTP 339.088

Descripción	Límite Permissible		
Sólidos en suspensión	5000	ppm	Máximo
Materia orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1000	ppm	Máximo
Sulfatos (ión SO ₄)	600	ppm	Máximo
Cloruros (ión Cl ⁻)	1000	ppm	Máximo
pH	5 a 8	ppm	Máximo

Fuente: ICG (2014)

b.1 Utilización de aguas no potables

Según Rivva (2000), cuando el agua utilizada no cumple uno o varios de los requisitos ya conocidos, deberá realizarse ensayos comparativos empleando el agua en estudio y agua destilada o potable, con similares materiales y procedimientos. Estos ensayos incluirán la determinación del tiempo de fraguado de las pastas y la resistencia a la compresión de morteros a edades de 7 y 28 días.

La norma NTP 339.084 considera que los tiempos de fraguado inicial y final de la pasta preparada con el agua en estudio podrán ser hasta 25% mayores o menores, respectivamente, que los correspondientes a las pastas que contienen el agua de referencia. Y el ACI 318 y RNE considera $f'c$ de cubos de mortero mayor o igual que el 90% de mortero de comparación con agua de referencia.

c. Agregados:

Según Rivva (2000), se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la norma NTP 400.011. Los agregados son la fase discontinua del concreto.

Ellos son materiales que están embebidos en la pasta y ocupan entre el 62% y el 78% de la unidad cúbica del concreto.

Un adecuado conocimiento de la naturaleza física y química del concreto, así como del comportamiento de éste, implica necesariamente el de los materiales que conforman la corteza terrestre, estudiados a la luz de la geología y, específicamente, de la petrología.

c.1 Clasificación

Según Rivva (2000), el agregado empleado en la preparación del concreto se clasifica en agregado fino, agregado grueso y hormigón, conocido este último como agregado integral.

c.1.1 Agregado fino

Rivva (1992), se define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el Tamiz NTP

9.5mm (3/8") y queda retenido en el tamiz N° 200. El más usual de los agregados finos es la arena, definida como el producto resultante de la desintegración natural de las rocas.

- El agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfiles preferentemente angulares, duros, compactos y resistentes.
- El agregado fino 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 fino deberá estar graduado dentro de los límites indicados en la norma NTP 400.037.
- El agregado fino no deberá indicar presencia de materia orgánica cuando ella es determinada de acuerdo a los requisitos de la norma NTP 400.013.



Figura 1.5 Arena gruesa

c.1.2 Agregado Grueso

Rivva (1992), define como agregado grueso al material retenido en el tamiz NTP 4.75mm (N°4) y cumple los límites establecidos en la norma NTP 400.037.

- El agregado grueso podrá consistir de grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. El agregado grueso empleado en la preparación de concretos livianos podrá ser natural o artificial.
- El agregado grueso deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semiangular, 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.



Figura 1.6 Piedra chancada

c.1.3 Hormigón

Rivva (1992), el agregado denominado comúnmente hormigón es una mezcla natural, en proporciones arbitrarias, de agregado fino y grueso procedente de río o cantera.

- El hormigón 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.

- El hormigón deberá ser manejado, transportado y almacenado de manera tal de garantizar la ausencia de contaminación con materiales que podrían reaccionar con el concreto.
- El hormigón deberá emplearse únicamente en la elaboración de concretos con resistencias en compresión hasta de 100kg/cm^2 a los 28 días. El contenido mínimo de cemento será 255 kg/m^3 .



Figura 1.7 Hormigón

c.2 Funciones del agregado

Rivva (2000), las tres principales funciones del agregado en el concreto son:

- Proporcionar un relleno adecuado a la pasta, reduciendo el contenido de ésta por unidad de volumen y, por lo tanto, reduciendo el costo de la unidad cúbica de concreto.
- Proporcionar una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas, de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

c.3 Interrelación agregado - concreto

Rivva (2000), las propiedades del concreto resultantes del empleo de un agregado determinado dependen de:

- La composición mineral de las partículas de agregado, la cual influye fundamentalmente sobre la resistencia, durabilidad y elasticidad del concreto.
- Las características superficiales de las partículas, las cuales influyen especialmente sobre la trabajabilidad, fluidez y consistencia del concreto; así como sobre la adherencia entre la pasta y el agregado.
- La granulometría de los agregados fino y grueso, definida por sí misma, así como por la superficie específica, módulo de fineza, y tamaño máximo del agregado grueso. Estas propiedades influyen fundamentalmente sobre las propiedades del concreto al estado no endurecido, sobre su densidad y sobre la economía de la mezcla.
- El volumen de agregado por unidad de volumen del concreto, el cual influye especialmente en los cambios de volumen debidos a los procesos de humedecimiento y secado; a los procesos de calentamiento y enfriamiento; así como en el costo de la unidad cúbica de concreto.
- La porosidad y absorción del agregado, las cuales influyen sobre la relación agua – cemento efectiva, así como sobre las propiedades del concreto al estado no endurecido.

c.4 Importancia de la porosidad del agregado

Rivva (2000), las cuatro clases de poros que pueden estar presentes en la pasta corresponden a espacios que están en el concreto fuera de los límites del agregado. Sin embargo, normalmente éste es poroso y permeable, pudiendo variar el total de poros, de acuerdo a los diferentes tipos de rocas, entre el 0.3% y el 20%.

Algunas rocas presentan macroporos, los cuales se definen como poros lo suficientemente grandes como para que los efectos de la capilaridad en ellos sean muy pequeños o despreciables. Los macroporos presentes en la superficie de la roca, o el concreto, o en el cuerpo de la roca pero conectados a la superficie por otros macroporos, pueden ser llenados

fácilmente por inmersión de la roca en agua. Sin embargo, si tales macroporos están dentro del cuerpo de la roca y se encuentran separados de la superficie por una fina estructura porosa que no es fácilmente permeable, no deberán llenarse rápidamente por un proceso ordinario tal como una prolongada inmersión en agua.

La dimensión promedio de los poros en las diversas rocas comprende un amplio rango de tamaños. Usualmente las rocas que presentan una alta porosidad y poros relativamente grandes, tienen una alta permeabilidad al agua. Sin embargo, esta regla presenta excepciones encontrándose rocas, por el ejemplo el horsteno, las cuales tienen una porosidad moderada a alta pero baja permeabilidad, lo que indica poros de tamaño promedio pequeño. En este tipo de rocas el tamaño promedio de los poros podría estar en el rango del diámetro de los poros capilares presentes en la pasta.

La porosidad de los agregados naturales generalmente empleados en la preparación de concretos de peso normal, se encuentra usualmente por debajo del 10% y casi siempre por debajo del 3%, en contraste con el 30% ó más de la porosidad total de las pastas. Es lógico esperar, a partir de estos valores, que la permeabilidad de los agregados usualmente empleados sea mucho menor que la de la pasta.

Sin embargo, a nivel de laboratorio se ha podido comprobar que ello no siempre es así, habiéndose encontrado que muchas rocas empleadas como agregado en el concreto pueden tener valores de permeabilidad en el orden de, o más altos que, aquellos que se encuentran en pastas preparadas con relaciones agua-cemento en los rangos de 0.4 a 0.7.

La explicación de esta aparente anomalía se encuentra en el hecho que los capilares o espacios porosos en el agregado a través de los cuales el agua puede fluir, son en promedio considerablemente mayores que los existentes en la pasta aun cuando ellos se presentan en mucho menor proporción.

Los pequeños vacíos presentes en el agregado, en forma similar a los poros capilares de la pasta, pueden bajo determinadas circunstancias ser

parcial o totalmente llenados de agua. Esta puede congelarse a las temperaturas que usualmente se dan en climas fríos.

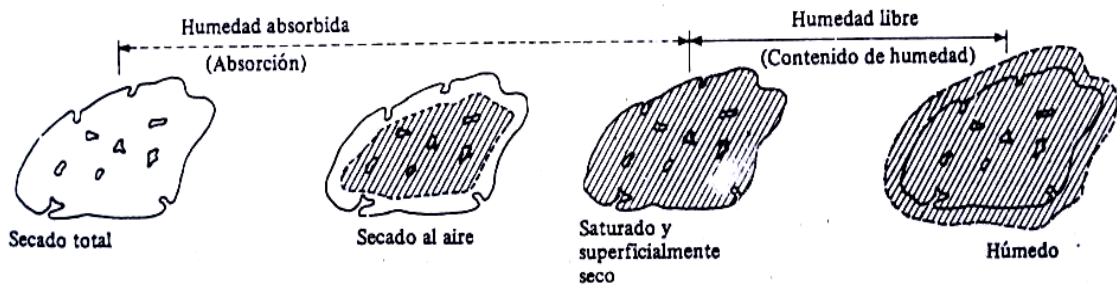


Figura 1.8 Diagrama de humedad de los agregados

c.5 Propiedades de los agregados

Aparicio et al. (2009), porque al menos tres cuartas partes del volumen del concreto están ocupadas por agregado, no es de extrañar que la calidad de éste sea de suma importancia. Los agregados no sólo pueden limitar la resistencia del concreto, puesto que agregados débiles no pueden constituir un concreto resistente, sino que además sus propiedades afectan en gran medida tanto la durabilidad como el comportamiento estructural del concreto.

Originalmente, los agregados se consideraban un material inerte, que se repartía en toda la pasta de cemento, más que nada por razones económicas. Sin embargo, es posible asumir un punto de vista opuesto y pensar que los agregados son un material de construcción unido a un todo cohesivo por medio de la pasta de cemento, como sucede en las construcciones de mampostería. De hecho, los agregados no son realmente inertes y sus propiedades físicas, térmicas y a veces químicas, influyen en el comportamiento del concreto.

Los agregados son más baratos que el cemento y, por lo tanto, es más económico poner la mayor cantidad posible de aquéllos y la menor de éste. No obstante, la economía no es la única razón para utilizar agregados: éstos proporcionan además al concreto una enorme ventaja técnica, al darle mayor estabilidad volumétrica y más durabilidad que si se empleara solamente pasta de cemento.

c.6 Clasificación general de los agregados

Aparicio et al. (2009), los tamaños de agregados utilizados en el concreto están en el rango de unos cuantos milímetros hasta partículas pequeñísimas de décimas de milímetro en sección transversal. El tamaño máximo que se usa en la realidad varía pero en cualquier mezcla se incorporan partículas de diverso tamaño. La distribución de las partículas según su tamaño se llama granulometría. Cuando se quiere hacer un concreto de baja granulometría, se utilizan agregados que provienen de depósitos que contienen gran variedad de tamaños, desde el más pequeño hasta el más grande; esto se llama agregado sin cribar o agregado en bruto. La opción más común en la fabricación de concreto de buena calidad es obtener agregados en al menos dos grupos de tamaño; la división principal se hace entre agregado fino, llamado a menudo arena no mayor de 5 mm (3/16 pulg.) y agregado grueso, que comprende el material mayor de 5 mm. En Estados Unidos, la división se hace por medio del tamiz núm. 4, de, 4.75 mm (3/6 de pulg.). Cabe señalar que el uso del término agregado (que significa agregado grueso) en contraposición con arena, no es correcto.

Generalmente, se dice que la arena natural tiene como límite inferior de tamaño 60 o 70 μm o menos. El material entre 60 y 2 μm se clasifica como limo, y si son partículas más pequeñas, se los conoce como arcilla. La marga es un depósito blando que está formado por arena, limo y arcilla en proporciones aproximadamente iguales. Aunque el contenido de partículas menores de 75 μm se informa usualmente de manera global, la influencia del limo y arcilla en las propiedades del concreto resultante es muchas veces significativamente diferente, no sólo porque estas partículas difieren en tamaño, sino también en composición.

Se ha observado que ciertos agregados aparentemente inadecuados no causan ningún problema cuando se utilizan para hacer concreto. Por ejemplo, una muestra de roca se puede desintegrar cuando se congela, pero no le sucede necesariamente lo mismo cuando está

ahogada en concreto, especialmente si las partículas de agregado están totalmente cubiertas de una pasta de baja permeabilidad. Sin embargo, los agregados que se consideran pobres en más de una característica, no suelen hacer un concreto satisfactorio, por lo que las pruebas realizadas en los agregados solos son de gran ayuda para determinar su conveniencia para utilizarlos en el concreto.

c.7 Muestreo

Aparicio et al. (2009), el agregado se muestreara de acuerdo a lo indicado en la norma ASTM D75 o la norma NTP 400 010, se han normalizado pruebas de las diversas propiedades del agregado en muestras del material y, por lo tanto, los resultados de las mismas se aplican estrictamente sólo al agregado contenido en la muestra. Tal como se suministran en la obra, o están disponibles, es preciso asegurarse de que la muestra analizada sea representativa de las propiedades promedio del agregado. A esa muestra se le llama representativa y, para, obtenerla, es necesario tomar ciertas precauciones.

Sin embargo, no se puede proporcionar ningún procedimiento detallado de muestreo, ya que las condiciones y situaciones que se presenten en la recolección de las muestras en el campo pueden variar mucho de un caso a otro. No obstante, un experimentador inteligente puede obtener resultados confiables si recuerda siempre que la muestra que debe tomar ha de ser representativa del total del material a considerar. Un ejemplo de un procedimiento cuidadoso puede ser el empleo de un cucharón en lugar de una pala, para evitar que rueden todas las partículas de ciertos tamaños al retirarla.

La muestra principal se forma de diferentes porciones tomadas de diversos puntos del total. Sin embargo, si la fuente de la que se obtienen las muestras es variable o está segregada, se deben tomar más incrementos y la muestra que se va a enviar para la prueba debe ser mayor. Esto se aplica especialmente a las pilas de material almacenadas, en las que los incrementos se tienen que tomar de todas partes de la pila, no sólo de la superficie, sino también del interior.

Hay dos maneras de reducir el tamaño de una muestra, ambas la dividen en partes iguales: en cuartos o en mitades. La división en cuartos se hace mezclando muy bien la muestra principal y, cuando contiene agregado fino, humedeciéndole para evitar la segregación. El material se apila para formar un cono, y se voltea después para formar un nuevo cono. Este proceso se repite dos veces, depositando el material siempre en la punta del cono para que las partículas que vayan cayendo se distribuyan en forma uniforme alrededor de la circunferencia. El cono final se aplana y se divide en cuartos. Se desecha un par de cuartos diagonalmente opuestos y los que quedan se usan para la muestra o, si todavía es demasiado abundante, se vuelve a repetir la operación de cuarteo. Se debe tener cuidado de incluir todo el material fino en el cuarto que corresponda.

c.8 Forma y textura de partículas

Aparicio et al. (2009), además del aspecto petrográfico de los agregados, son también importantes sus características externas, especialmente la forma y la textura superficial de las partículas. Es bastante difícil describir la forma de los cuerpos tridimensionales y, por lo tanto, es conveniente definir ciertas características geométricas de dichos cuerpos. La redondez es la medida del filo o angularidad relativos de los bordes o esquinas de una partícula. La redondez está controlada principalmente por la resistencia a la compresión y a la abrasión de la roca original, y por la cantidad de desgaste a la que hayan estado sujetas las partículas.

En el caso de agregados triturados, la forma de la partícula depende de no sólo de la naturaleza de la roca original, sino también del tipo de trituradora y su relación de reducción, es decir, de la relación que existe entre el tamaño del material que se introduce a la trituradora y el tamaño del producto terminado.

Tabla 1.7
Clasificación de la forma de partículas

Clasificación	Descripción	Ejemplos
Redondeada	Completamente desgastadas por el agua o totalmente formadas por fricción	Grava de río o de playa; arena del desierto, de playa o acarreada por el viento
Irregular	Irregulares por naturaleza, parcialmente formadas por fricción o con bordes redondeados	Otras gravas; pizarra de superficie o subterránea
Escamosa	Materiales cuyo espesor es pequeño en comparación con sus otras dos dimensiones	Roca laminada
Angular	Con bordes bien definidos, formados en las intersecciones de caras aproximadamente planas	Rocas trituradas de todos tipos, taludes detríticos y escoria triturada
Alargada	Material que suele ser angular, pero cuya longitud es bastante mayor que las otras dos dimensiones	
Escamosa y alargada	Material cuya longitud es bastante mayor que el ancho y el ancho bastante mayor que el espesor	

Fuente: Aparicio, Rivera y Rodríguez (2009)

c.9 Adherencia del agregado

Aparicio et al. (2009), la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento es un factor importante para la resistencia del concreto, especialmente la resistencia a la flexión, pero no se ha comprendido la naturaleza de la adherencia. La adherencia se debe en parte a que el agregado y la pasta se entrelazan debido a la aspereza de la superficie del primero. Una superficie áspera, como la de las partículas trituradas, da como resultado una mejor adherencia, por causa de entrelazado mecánico que también se consigue cuando se usan materiales compuestos por partículas suaves, porosas y mineralógicamente heterogéneas. Por lo general, las características de textura que no

permiten la penetración de las partículas por la superficie no producen una buena adherencia. Además, hay otras propiedades químicas y físicas de los agregados que afectan la adherencia, que están relacionadas con su composición mineralógica y química y con las condiciones electrostáticas de la superficie de la partícula.

La determinación de la calidad de adherencia de los agregados es bastante difícil y no existen pruebas aceptadas. Generalmente, cuando hay buena adherencia, el espécimen de concreto triturado de concreto de resistencia normal deberá contener algunas partículas de agregados fracturadas de lado a lado, además de aquellas mucho más numerosas arrancadas de su sitio.

c.10 Resistencia del agregado

Aparicio et al. (2009), está claro que la resistencia a la compresión del concreto no puede exceder de la mayor parte de los agregados que contiene, aunque no es fácil establecer cuál es la resistencia de las partículas individuales. De hecho, es difícil probar la resistencia a la trituración de partículas individuales del agregado y, generalmente, la información necesaria se tiene que obtener por medio de pruebas indirectas: valor de trituración de agregado a granel. Fuerza requerida para compactar agregado a granel, y comportamiento de agregado en el concreto. Esto último significa que los agregados se habrán probado en experimentos previos, o que se han analizado en una mezcla de concreto con agregados probados de antemano cuya resistencia sea conocida. Si el agregado que se está sometiendo a prueba conduce a una resistencia del concreto a la compresión más baja, en especial si hay muchas partículas fracturadas después de que se ha fracturado la muestra de concreto, entonces la resistencia del agregado es menor que la resistencia nominal a la compresión de la mezcla de concreto en la que se ha incorporado dicho agregado. Queda claro que ese tipo de agregado sólo puede utilizarse en un concreto de menor resistencia. Es por ejemplo, el caso de la laterita, un material ampliamente empleado en África, el Sur

de Asia y Sudamérica, donde pocas veces se puede producir un concreto con una resistencia mayor a los 10 MPa.

c.11 Otras propiedades mecánicas de los agregados

Se tiene varias propiedades mecánicas de los agregados que son de interés, en especial cuando hay que utilizar dichos agregados para la construcción de pavimentos o van a estar sujetos a un gran desgaste. La primera de ellas es *tenacidad*, que se puede definir como la resistencia de una muestra de roca a la falla por impacto. Aunque esta prueba revelaría los efectos adversos de la acción de la intemperie en la roca, no se utiliza.

Existe una prueba que se practica en América del Norte llamada *prueba de Los Ángeles*, que combina desgaste por frotación con abrasión. También se usa con cierta frecuencia en otros países, porque sus resultados muestran buena correlación, no sólo con el desgaste real del agregado cuando se usa en el concreto, sino también con las resistencias a la compresión y a la flexión del concreto hecho con dichos agregados. En esta prueba, se colocan agregados de una granulometría específico dentro de un tambor cilíndrico montado horizontalmente y con un entrepaño en su interior. Se le añade una carga de bolas de acero y se hace girar el tambor determinadas revoluciones. Al caerse y golpearse el agregado con las bolas de acero se produce abrasión y desgaste por frotación, y este efecto se mide de la misma manera que en la prueba de desgaste.

La prueba de Los Ángeles se puede aplicar a agregados de diferentes tamaños y obtener el mismo desgaste, utilizando la masa apropiada de la muestra de agregados, de la carga de bolas de acero, así como el número adecuado de revoluciones por minuto.

Aunque no existe una relación clara entre la resistencia del concreto y la absorción de agua del agregado utilizado, los poros de la superficie de la partícula afectan la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento y, por lo tanto, pueden ejercer cierta influencia en la resistencia del concreto.

Por lo general, se supone que, en el momento del fraguado del concreto, los agregados se encuentran saturados y superficialmente secos. Si la dosificación del agregado se hizo estando seco, se supone que absorberá de la mezcla el agua suficiente para que el agregado se sature, y esta agua absorbida no está incluida en el agua disponible o efectiva de mezclado. Tal situación se puede hallar en un clima cálido y seco. Sin embargo, es posible que cuando se utilice agregado seco las partículas se recubran rápidamente con pasta de cemento, lo que impide el paso del agua necesaria para lograr la saturación.

c.12 Almacenamiento del agregado en obra

ICG (2014), la buena disposición que se adopte para el almacenamiento de los insumos del concreto, contribuye a la buena marcha de la obra, y permite la producción eficiente de un concreto de calidad.

El diseño general de las instalaciones de almacenamiento, se efectúa en la etapa previa de la construcción, teniendo en cuenta entre otros los siguientes parámetros:

- Ubicación y características del área donde se asienta la construcción.
- Espacios disponibles.
- Consumo promedio de concreto de acuerdo al cronograma de la obra.
- Consumo máximo y duración de periodo en el cual se realiza la mayor producción de concreto.
- Formas y medios de aprovisionamiento de los materiales.
- Stock mínimo que es conveniente mantener.
- Ubicación de las mezcladoras de la central de mezcla.
- Evaluación de las alternativas de instalaciones de almacenamiento aplicables.

De los agregados

El almacenamiento de los agregados debe garantizar continuidad para la fabricación del concreto, evitando los siguientes desarreglos:

- La mezcla de agregados de origen y tamaños diferentes.
- La segregación.

- La contaminación (suciedad) con sustancias perjudiciales.
- Variaciones en el contenido de humedad.

Los agregados deben de colocarse en terreno duro y seco, limpiando el suelo de materiales arcillosos o sustancias orgánicas.

En caso necesario podrá construir una losa de concreto pobre de 10cm de espesor. El nivel tendrá una ligera pendiente para permitir el drenaje.

Como generalmente los agregados se apilan cerca de la mezcladora, es conveniente construir divisiones provisionales para evitar mezclas de agregados de diferentes diámetros.

Cuando se requiere almacenar agregados gruesos de diferente diámetro, se ubicarán en espacios separados, colocando señales visibles para evitar que los choferes de los camiones descarguen el material equivocadamente.

Las pilas de agregados se deberán formar por capas horizontales de espesor uniforme, que no excedan el metro de espesor.

Cuando se estime que los agregados son provistos con apreciable contenido de humedad, o en épocas de lluvias, se colocarán sobre una capa granular que facilite el drenaje.

El apilamiento de los agregados deberá tener una altura que impida la segregación.

1.2.1.4 Propiedades del concreto

Rivva (2000), para cada caso particular de empleo se requieren en el concreto determinadas propiedades. Es por ello que el conocimiento de todas y cada una de las propiedades del concreto, así como de la interrelación entre ellas, es de importancia para el ingeniero el cual debe decidir, para cada caso particular de empleo de concreto, la mayor o menor importancia de cada una de ellas.

Al analizar las propiedades del concreto, el ingeniero debe recordar las limitaciones de las mismas en función de las múltiples variables que pueden actuar sobre el concreto modificándolo. En este análisis es importante que el ingeniero recuerde que el concreto, como cualquier otro

material, puede sufrir adicionalmente modificaciones en el tiempo y que puede claudicar por fallas atribuibles a problemas de durabilidad, aun cuando su resistencia haya sido la adecuada.

En el análisis de las propiedades del concreto es importante recordar que ellas están íntimamente asociadas con las características y proporciones relativas de los materiales integrantes; que la calidad, cantidad y densidad de la pasta es determinante en las propiedades del concreto; y que la relación agua-cemento lo es sobre las características de la pasta.

1.2.1.5 Pruebas en el concreto

Aparicio et al. (2009), aunque se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada así como una trabajabilidad apropiada. Además es asumido que si se logran estas dos propiedades las otras propiedades del concreto también serán satisfactorias.

1.2.1.6 Temperatura del concreto

Según Rivva (2000), la temperatura del concreto al ser mezclado es influenciada por la temperatura y calor específico de los materiales constituyentes. Por ello, el agregado al estar presente en la mezcla en el volumen más importante, puede tener un efecto sobre la temperatura del concreto.

En climas cálidos el riego de las pilas de agregado reduce la temperatura de éste y por ende la del concreto. En aquellos casos en que es necesario un concreto muy frío, el agregado grueso puede ser enfriado por inmersión en agua fría o por rociado de las pilas de agregado, de acuerdo a la recomendación ACI 305R.

En climas fríos el calentamiento del agregado puede ser necesario para obtener la temperatura deseada en el concreto, de acuerdo a las

recomendaciones del ACI 306R. Los agregados congelados no deberán ser empleados en las mezclas de concreto.

1.2.1.7 Hidratación y curado del concreto

Según Rivva (2000), se define como hidratación al proceso de reacción química del cemento en presencia del agua. La hidratación requiere de presencia de humedad, condiciones de curado favorables, y tiempo.

Se define como tiempo de curado al período 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.

1.2.1.8 Diseño de mezclas del concreto

Según ICG (2014), elementos que conforman el concreto:

Elementos activos: cemento + arena + piedra + agua + aditivos (*)

Elemento "pasivo": aire. (°)Opcional

Proporciones en volumen:	aditivo.....	0.1% a	0.2%
	aire.....	1.0% a	3.0%
	cementos.....	7.0% a	15.0%
	agua.....	15.0% a	22.0%
	agregados.....	60.0% a	75.0%

a. Consideraciones generales previas al diseño

1. Características técnicas de la estructura a realizar.

De la obra: Puede ser colocado en: edificaciones, solados, zapatas, cimientos, sobre-cimientos, columnas, placas, vigas, techos aligerados, losas para otros elementos, cisternas, tanques, puentes, cajones de cimentación, aeropuertos, muelles, pilote, etc.

Del análisis estructural: La estructura puede ser Simple, Armada, Postensada, Pretensada, Prefabricada, etc.

De donde:

* Resistencia especificada: $f'c$ (planos)

* Trabajabilidad: asentamiento (cono de abrams): 2", 4", 7"

2. Condiciones a las que estará expuesta la estructura de concreto.

Ambientales en costa, sierra, selva, norte, centro, mar, lago, etc.

3. Características de los materiales para la producción de concreto.

Cantera: arena, piedra, hormigón, de río o cerro; natural, artificial, reciclado.

Agregados: peso específico, peso unitario suelto, peso unitario compactado, humedad, absorción, tamaño nominal máximo, módulo de finura.

Agua: potable, río, pozo, cisternas y reciclada.

Cemento: portland normales (3120 kg/m³), puzolánico (2960 kg/m³), desconocido (3150 kg/m³)

4. Condiciones ambientales durante el proceso de vaciado.

b. Resistencia de diseño

Selección de la resistencia requerida f'_{cr} (diseño de concreto).

$$f'_{cr} = f'_c + \text{factor de Seguridad}$$

Una prueba: Resultado del promedio de dos ensayos realizados:

$$f'_c = \frac{1}{2} \times (f'_{c1} + f'_{c2})$$

* Cuando no se conocen propiedades estadísticas (Factor de Seguridad) de la resistencia del concreto, se pueden tomar los valores siguientes:

$$\text{Si } f'_c < 210 \text{ kg/cm}^2 \quad f'_{cr} = f'_c + 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Si } 210 \text{ kg/cm}^2 \leq f'_c \leq 350 \text{ kg/cm}^2 \quad f'_{cr} = f'_c + 84 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Si } 350 \text{ kg/cm}^2 < f'_c \quad f'_{cr} = f'_c + 98 \text{ kg/cm}^2$$

Los valores anteriores están formulados en el RNE E.060 y ACI.

Tenemos que tener presente que la distribución de los resultados a compresión de las probetas de concreto, siguen siendo una tendencia similar con la forma Gausiana (campana de Gauss), por lo que se puede

obtener parámetros de f_{cr} , también utilizando las propiedades de la estadística.

1.2.1.9 Tipos de concreto

Según El manual de construcción UNACEM (2013),

- Concreto simple

Concreto que no tiene armadura de refuerzo (veredas, pavimentos, falsopiso y contrapiso, etc.)

- Concreto armado

Concreto que tiene armadura de refuerzo (fierro) para resistir esfuerzos (columnas, vigas, techo).

- Concreto ciclópeo

Concreto simple a cuya masa se agrega grandes piedras o bloques. No contiene armadura (cimiento).

- Concreto premezclado

Concreto que se dosifica en planta, que puede ser mezclado en la misma o en camiones mezcladores y que es transportado a la obra.

- Concreto prefabricado

Elementos de concreto simple o armado, fabricados en un lugar diferente a su posición final en la estructura.

1.2.2 El vidrio

Los vidrios forman un grupo familiar de cerámicas. La nobleza del vidrio reside en un conjunto de cualidades que son la transparencia óptica, la resistencia, el aislamiento y la facilidad con que puede fabricarse.

Difícil es imaginarse hoy en día una sociedad que no utilice el vidrio. Todos nosotros lo conocemos por su fragilidad, su transparencia, su peso, sus diferentes formas y colores. Lo empleamos sin mayor problema, sabiendo que con un golpe no muy fuerte se puede romper. El vidrio se ha convertido en un elemento vital en la arquitectura de nuestros días,

donde la búsqueda de máximas superficies vidriadas para obtener las mejores visuales y la mayor iluminación natural, se contraponen con la necesidad de lograr la mayor eficiencia energética y los más elevados estándares de seguridad. Esto ha derivado en una ampliación exponencial de la oferta de productos transparentes, y en una sofisticación cada vez mayor de sus tecnologías de producción, para dar respuesta a las más heterogéneas demandas de diseño y confort.

Por ello la decisión del tipo de vidrio a utilizar, su espesor, tamaño, color, proporción y su forma de sujeción, merece ser estudiada en profundidad para cada caso en particular, teniendo en cuenta los parámetros de seguridad, resistencia estructural, aislamiento térmico y acústico requeridos para su diseño.

La correcta elección de un vidrio, aunque su costo sea elevado, permite disminuir el costo final de otros rubros como las carpinterías, el aire acondicionado, dispositivos de oscurecimiento y seguridad.

En la actualidad existen cristales de 6 mm. de espesor, totalmente incoloros, que permiten filtrar hasta el 70 % de la radiación infrarroja y el 99,5% de la ultravioleta; o cristales de 12 mm. que detienen un proyectil calibre 9mm.

Por tanto, el vidrio es una solución a problemas de:

- Aislamiento térmico y acústico
- Ahorro energético
- Resistencia estructural
- Seguridad física
- Protección de personas y bienes (vidrios anti-robo, anti-intrusión y antibalas)
- Decoración (vidrio curvo, vidrio serigrafiado, satinado, arenado)

El vidrio es un material resistente, pero también es frágil y peligroso cuando sufre roturas. Y por este motivo debería evitarse su uso intuitivo o irresponsable, que es utilizar un tipo de vidrio que no sea adecuado para el uso que se le da.

A simple vista, todos los vidrios son iguales. Pero en caso de impacto o rotura no lo son. Ahí radica la diferencia entre el vidrio crudo común y el vidrio de seguridad, templado o laminado. Este es el más recomendable ante el riesgo de impacto humano debido a su forma de rotura.

El vidrio laminado suele astillarse como consecuencia de un impacto muy fuerte, pero sigue cumpliendo su función de cerramiento, sostenido por la lámina de PVC. En cambio, el vidrio templado - aunque es el más resistente- se rompe pero lo hace en trozos muy pequeños y sin aristas cortantes, de forma que no presenta riesgos de heridas para las personas, como el parabrisas de un auto.

El vidrio es un material sano y puro. Por ello, constituye un envase ideal para los productos alimenticios que pueden ser conservados durante largos periodos de tiempo sin alteración de su gusto ni de sus aromas.

El vidrio ofrece también múltiples posibilidades de formas, colores y puede decorarse por medio de varias técnicas. La botella o el tarro pueden por lo tanto ser personalizados en función de su contenido. Revelan su valor y sus cualidades y permiten al producto afirmar su marca así como su posición en el mercado. Las aplicaciones típicas son recipientes, ventanas, lentes y fibra de vidrio. (“El Vidrio”, 2012)



Figura 1.9 Diversas aplicaciones del vidrio

Fuente: El Vidrio (2012)

1.2.3 El vidrio como agregado

1.2.3.1 Características principales del vidrio

Castillo (2010), según la American Society for Testing Materials (ASTM), el vidrio es un: “producto inorgánico de fusión, el cuál se ha enfriado hasta un estado rígido pero sin sufrir cristalización.”

De manera general, existe una confusión entre vidrio y cristal. Si bien estos materiales pueden tener la misma composición, pero poseen una ordenación diferente de su estructura atómica. Mientras que en el cristal los átomos permanecen ordenados, en el vidrio estos se presentan de forma desordenada, dando lugar a lo que llamaríamos un material amorfo. La estructura del vidrio se vuelve más discontinua, este funde a menor temperatura y resulta fácil de manejar. El vidrio resultante es más económico a la hora de la fabricación.

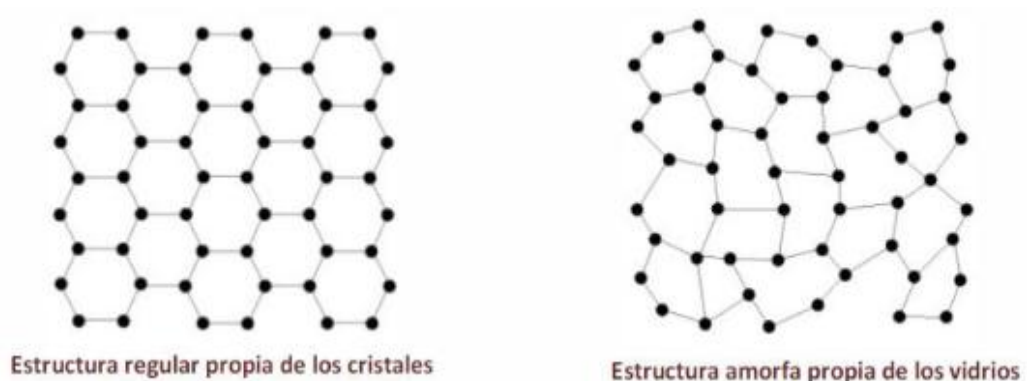


Figura 1.10 El vidrio en la construcción. Tipologías y usos

Fuente: Castillo (2010)

El vidrio presenta cierta transparencia, su subestructura es amorfa, reduce su viscosidad en función de la temperatura, etc., por lo que este comportamiento se asemeja mucho al de cualquier líquido. Por lo que el vidrio podría ser definido más claramente como un líquido con una viscosidad tan alta que le proporcionaría un aspecto de sólido, sin serlo.

En cuanto a la composición, el principal componente del vidrio es el sílice, además del óxido de sodio, óxido de calcio, óxido de aluminio y componentes secundarios. Las características generales de estos componentes son:

- **El sílice (SiO₂):** Es el constituyente más importante conformando las tres cuartas partes de su composición, se lo obtiene de las arenas de cuarzo.
- **El óxido de sodio:** Tiene por finalidad el favorecer la formación de vidrio, rebajando su temperatura de fusión y así facilitar su elaboración, son conocidos como fundentes.
- **El óxido de calcio:** Su presencia aumenta la estabilidad química y mecánica del vidrio, por lo que desde el punto de vista funcional actúa como estabilizante.
- **El óxido de aluminio:** Es un estabilizante, añadiéndole además ciertas características como: aumento de la resistencia mecánica, un mejoramiento de la estabilidad química, una elevación de la refractariedad, una disminución del coeficiente de dilatación térmica y una mejor resistencia al choque térmico.

En la composición de los vidrios, también se observan otros constituyentes minoritarios con funciones determinadas como colorantes, afinantes, decolorantes, opacificantes, etc., haciendo especial mención a los fluoruros en su papel de fluidificantes. Por ejemplo para el color ámbar se añade óxido de hierro, para el color verde se añade óxido de cromo (CrO).

1.2.3.2 Fabricación del vidrio

Según Aparicio et al. (2009), el vidrio se fabrica a partir de una mezcla compleja de compuestos vitrificantes, como sílice, fundentes, como los álcalis, y estabilizantes, como la cal. Estas materias primas se cargan en el horno de cubeta (de producción continua) por medio de una tolva. El horno se calienta con quemadores de gas o petróleo. La llama debe alcanzar una temperatura suficiente, y para ello el aire de combustión se calienta en unos recuperadores construidos con ladrillos refractarios antes de que llegue a los quemadores. El horno tiene dos recuperadores cuyas funciones cambian cada veinte minutos: uno se calienta por contacto con los gases ardientes mientras el otro proporciona el calor acumulado al aire

de combustión. La mezcla se funde (zona de fusión) a unos 1.500 °C y avanza hacia la zona de enfriamiento, donde tiene lugar el recocido. En el otro extremo del horno se alcanza una temperatura de 1.200 a 800 °C. Al vidrio así obtenido se le da forma por laminación o por otro método.

1.2.3.3 Propiedades generales del vidrio

Castillo (2010), el vidrio posee algunas características que lo hacen muy útil para la fabricación de distintos objetos como por ejemplo ventanas, botellas, frascos y vasos.

La resistencia de los envases de vidrio es realmente sorprendente en algunos casos. Está determinada por los siguientes puntos: forma del envase, distribución de vidrio y grado de recocido. Al tener algún defecto en su resistencia, pueden ocurrir distintos tipos de fractura: por impacto, por choque térmico o por presión interna; todas ellas originadas por una descompensación en las fuerzas de tensión interna. Las imperfecciones en los envases de vidrio no sólo provocan ruptura, sino muchas otras consecuencias, como defectos en las máquinas que las manejan, defectos de apariencia o reacción en el contenido.

a. Densidad

2500 Kg/m³, es la densidad del vidrio, lo cual le otorga al vidrio plano un peso de 2,5 Kg/m² por cada milímetro de espesor.

b. Punto de ablandamiento

730° C, aproximadamente

c. Conductividad térmica

1.05 W/mK

d. Coeficiente de dilatación lineal

Es el alargamiento experimentado por la unidad de longitud al variar 1° C su temperatura. Para el vidrio entre 20 y 220° C de temperatura, dicho coeficiente es: $9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$.

Por ejemplo un vidrio de 2000 mm de longitud que incremente su

temperatura en 30 °C, sufrirá un alargamiento de 2000 (9x 10-6) 30 = 0.54 mm.

Coefficientes de dilatación de otros materiales

Aluminio.....	23 x 10 ⁻⁶ °C
Acero.....	11x10 ⁻⁶ °C
Cobre.....	16 x 10 ⁻⁶ °C
Madera.....	5-8 x 10 ⁻⁶ °C
Polycarbonato.....	68 x 10 ⁻⁶ °C

e. Dureza

* 6 a 7 en la escala de Mohs. El vidrio templado tiene la misma dureza superficial que el vidrio recocido o crudo.

f. Módulo de Young

720.000 Kg/cm²

Otros materiales:

Acero.....	2.100.000
Aluminio.....	700.000
Concreto.....	200.000
Polycarbonato.....	21.000 - 25.000

g. Coeficiente de Poisson

Varía entre 0.22 y 0.23

h. Resistencia a la intemperie

No presenta cambios

i. Resistencia química

El vidrio resiste el ataque de la mayoría de los agentes químicos, excepto el ácido hidrofúorídrico y, a alta temperatura, el fosfórico. Los álcalis atacan la superficie del vidrio. Cuando se emplean marcos de concreto, los álcalis liberados del cemento, durante una lluvia, pueden opacar la

superficie del vidrio.

La presencia de humedad entre dos hojas de vidrio estibadas durante un tiempo puede producir el "impresionado" (manchas blanquecinas) de sus superficies que, son muy difíciles de remover.

j. Resistencia mecánica

El vidrio siempre rompe por tensiones de tracción en su superficie.

k. Resistencia a la tracción

Varía según la duración de la carga y oscila entre 300 y 700 kg/cm². Para cargas permanentes, la resistencia a la tracción del vidrio disminuye en un 40%.

- A mayor temperatura menor resistencia a la tracción.
- Depende del estado de los bordes del vidrio.
- El borde pulido brillante es el más resistente, le sigue el borde arenado y por último el borde con un corte neto realizado con una rueda de carburo de tungsteno.

l. Resistencia a la compresión

10.000 Kg/cm² aproximadamente es el peso necesario para romper un cubo de vidrio de 1cm de lado, por lo que en sus aplicaciones normales es prácticamente imposible la rotura del vidrio por compresión.

m. Resistencia a la flexión

La carga a flexión se descompone en una carga a tracción y otra a compresión. Debido a que la resistencia del vidrio a tracción siempre será menor que la resistencia a compresión y en consecuencia el vidrio romperá por este esfuerzo, la resistencia a flexión será semejante a la de tracción. En cuanto al vidrio reciclado, se puede mencionar, que el vidrio reciclado y el vidrio de primera fabricación tienen unas propiedades muy similares, de hecho para la fabricación de nuevas botellas de vidrio se utiliza calcín de antiguas botellas. Por lo tanto no hay diferencias entre botellas recicladas y nuevas. Lo que es una gran ventaja a la hora de pensar en la producción de botellas.

n. Módulo de rotura:

Vidrios recocidos: 350 a 550 Kg/cm²

Vidrios templados: 1850 a 2100 Kg/cm²

ñ. Módulo de trabajo:

Según Aparicio et al. (2009),

Vidrio recocido, carga momentánea 170 Kg/cm²

Vidrio recocido, carga permanente 60 Kg/cm²

1.2.4 Documentos citados

1.2.4.1 Normas ASTM / NTP

ASTM D75, NTP 400 010 : Muestreo del agregado.

ASTM C33, NTP 400.037 : Establece los requisitos de gradación (granulometría) y calidad de los agregados para uso en concreto de peso normal.

ASTM C150 : Cemento portland Tipo I, II o V; empleado en la preparación de concreto.

NTP 334.088 : Agua potable, utilizada en la preparación del concreto.

ASTM C136, NTP 400.012 : Análisis granulométrico por tamizado.

ASTM C143, NTP 339.035 : Determinación del asentamiento del concreto fresco (slump).

ASTM C31, NTP 339.033 : Elaboración y curado de probetas cilíndricas en obra.

ASTM C39, NTP 339.034 : Determinación de resistencia del concreto.

ASTM C40, NTP 400.013 : Determinación del grado de contaminación del agregado fino.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción general de la zona de estudio

2.1.1 Zona de estudio

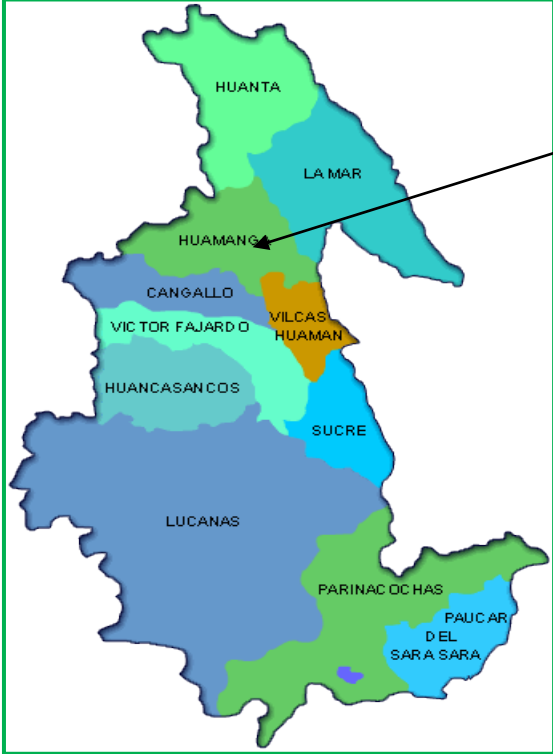
Para determinar la variación de las características mecánicas del concreto a través de la incorporación de vidrio molido, se escogió como elemento de estudio la *Cantera de Chillico*, ubicado en el distrito de Pacaycasa, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, siendo sus coordenadas $13^{\circ}04'00''$ S y $74^{\circ} 16' 60''$ W en formato DMS (grados, minutos y segundos) o -13.0667 y -74.2833 (en grados decimales). Su posición UTM es WL75 y su referencia es SD 18-07; los diferentes ensayos se realizaron en la Empresa HHC INGENIEROS ASOCIADOS SAC Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto.

UBICACIÓN DEPARTAMENTAL

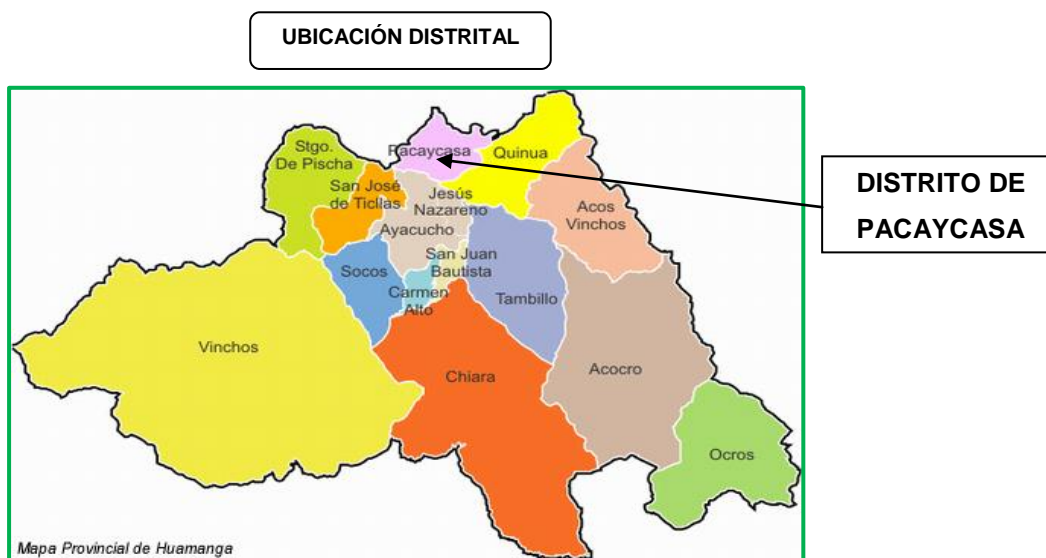


**DEPARTAMENTO DE
AYACUCHO**

UBICACIÓN PROVINCIAL



**PROVINCIA DE
HUAMANGA**



2.1.2 Características de la zona de estudio

2.1.2.1 Vías de comunicación y acceso

La principal vía de acceso a la cantera de Chillico, es terrestre (vía asfaltada y afirmada) desde Ayacucho – río Chillico. Teniendo una duración de 40 minutos, siendo la distancia de 25 km. Tal como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 2.1
Tiempo de Llegada de Ayacucho al río Chillico

ITINERARIO	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE CARRETERA	TIPO DE MOVILIDAD
Ayacucho – Río Chillico	25 km.	40 min.	Asfaltada y Afirmada	Transporte Interdistrital

Fuente: Elaboración propia

2.1.2.2 Clima

El clima del río Chillico es templado a frío, la temperatura más baja se registra en los meses de junio, julio, agosto y las temperaturas altas es en el mes de octubre; las lluvias se presentan en los meses de noviembre – marzo. En cuanto a la temperatura mínima y máxima, se indica de 6 °C a 18°C aprox. Existe una notable diferencia de temperatura entre el día y la noche.

2.2 Materiales

Materiales de escritorio

- Papel bond
- Libreta de campo
- Lapiceros
- Plumones
- Corrector
- Material bibliográfico
- Documentos
- Hojas de cálculo

Equipos y herramientas

- Computadora
- Impresora
- Proyector multimedia
- Cámara fotográfica
- Mezcladora
- Balanza electrónica
- Wincha

2.3 Métodos

2.3.1 Descripción general de los ensayos realizados

Para determinar de qué manera el concreto con incorporación de vidrio molido en reemplazo del agregado fino influye en la variación del esfuerzo a la compresión, primeramente se seleccionaron los agregados a emplearse según la Norma ASTM C33 (arena gruesa, piedra chancada), el cemento empleado en la preparación del concreto cumplió la Norma ASTM C150 y el agua que se utilizó fue potable, cumpliendo la Norma NTP 334.088; luego se procedió a realizar los diferentes ensayos para el diseño de mezcla de concreto y posteriormente se realizó la preparación de las probetas cilíndricas cuyas dimensiones fueron: \varnothing de base 10cm y altura 20cm fabricados según los procedimientos indicados en la norma

ASTM C31 las que posteriormente fueron curadas para 7, 14, 21 y 28 días; para luego ser ensayadas a compresión según la norma ASTM C39, determinando así su resistencia.

Dichas probetas se fabricaron para los tres tipos de resistencias $f'c=175$ kg/cm², $f'c=210$ kg/cm² y $f'c=280$ kg/cm²; además cada serie de probetas contiene un porcentaje determinado de vidrio reemplazando una fracción del agregado fino, el cual varía desde un 20% hasta un 30%.

2.3.2 Tratamiento del vidrio

La molienda del vidrio se realizó considerando las disposiciones de la norma ASTM C33, relativas a la granulometría que deben cumplir los áridos para la elaboración de morteros y hormigones.

El vidrio utilizado en esta tesis proviene de la recolección de botellas en su totalidad, con la finalidad de tener una muestra lo más parecida posible a los típicos desechos domiciliarios correspondientes a este material.

2.3.2.1 Limpieza del vidrio

Las botellas recolectadas fueron sometidas a un lavado con agua y detergente, con la finalidad de remover cualquier residuo acumulado producto de su uso anterior, especialmente restos orgánicos, además de remover las etiquetas correspondientes a cada envase.

El proceso fue relativamente sencillo, debido a que las etiquetas se desprendieron con facilidad, en su gran mayoría.

Luego de limpiar y enjuagar las botellas se secaron en su totalidad para evitar problemas en el proceso de trituración, sobre todo con el material fino producido en la molienda.



Figura 2.1 Lavado con detergente de las botellas de vidrio

2.3.2.2 Triturado del vidrio

Una vez que las botellas se encontraron libres de toda suciedad y secas, son transportadas al laboratorio HHC INGENIEROS ASOCIADOS SAC Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto, donde se encuentra la máquina en la cual se realiza la prueba de los ángeles el cual fue utilizado para realizar la molienda del vidrio.

2.3.2.3 Proceso de molienda

El proceso utilizado para la molienda del vidrio fue el siguiente:

- Se colocó en la máquina donde se realiza la prueba de los ángeles aproximadamente 15 botellas, se colocaron las bolas de acero de 1.5" de diámetro de acuerdo a la cantidad de botellas, se cerró la máquina para evitar la proyección de material triturado.
- Los tiempos de molienda fueron variables, desde 1,5 hasta los 2,5 min; dependiendo de la cantidad de botellas.
- Por último se descargó la máquina y se tamizó parcialmente el material triturado, haciéndolo pasar por la malla N°04.

Cabe mencionar que el tamizado realizado en este paso no es definitivo, el material obtenido después fue sometido a tamizado en el laboratorio

HHC INGENIEROS ASOCIADOS SAC, realizando los diferentes ensayos para así obtener la curva granulométrica correspondiente.

El proceso de molienda se realizó reiteradas ocasiones, para obtener la cantidad deseada de material triturado de acuerdo al porcentaje a utilizar.

Para la correcta consecución de los pasos mencionados, fue necesario tomar resguardos por un tema de seguridad, debido a la naturaleza extremadamente abrasiva del material triturado, utilizando implementos de seguridad básicos como mascarilla, lentes, guantes y zapatos de seguridad, teniendo especial cuidado con el material triturado más fino.



Figura 2.2 y 2.3 Molienda del vidrio en la máquina donde se realiza la prueba de Los Ángeles

2.3.2.4 Material resultante

El resultado de las moliendas es un material con una textura similar a la arena gruesa, con una cantidad considerable de finos debido a los ajustes hechos al tiempo de molienda, masa de vidrio utilizada en cada moliendo, cantidad y peso de las bolas usadas. Producto del trabajo de molienda, el material obtenido prácticamente no presenta cantos vivos, al estar

sometido a desgaste entre partículas, estas se van puliendo a medida que se ejecuta el proceso.

El vidrio utilizado, al provenir de botellas, está compuesto básicamente por dióxido de silicio (conocido comúnmente como sílice, SiO_2), y óxido de sodio (Na_2O), es químicamente inerte, y transparente.



Figura 2.4 Vidrio triturado

2.3.3 Tratamiento de los áridos y el vidrio molido

Antes de poder realizar correctamente la dosificación y la posterior elaboración de los moldes de concreto, se realizó una serie de ensayos, con el fin de determinar la granulometría de los áridos y el vidrio molido a emplear, además como su peso específico y verificar ciertas condiciones que pone como requisito la norma técnica peruana.

El vidrio fue tratado bajo los mismos parámetros que la arena gruesa y sometido a los mismos ensayos, además de verificar que cumpla con los requisitos sobre la cantidad de finos presentes.

2.3.4 Ensayos previos

2.3.4.1 Granulometría

El análisis granulométrico por tamizado se realizó siguiendo las directrices de la Norma NTP 400.012, ASTM C 136.

Primeramente se tomó una pequeña muestra de los agregados y del vidrio, se pesó, luego se llevó a la cocina para hacer el secado respectivo, se volvió a pesar, para saber cuál es el contenido de humedad. Luego se procedió a realizar el peso unitario suelto, se llenó la briqueta echando el agregado a una altura de 20cm como mínimo y se niveló con una varilla de acero de 5/8" de 60cm de largo, para luego pesarlo, esto se realizó 3 veces para la arena gruesa y el vidrio molido, en el caso de la piedra chancada fueron 2 veces, para así sacar un promedio.



Figura 2.5 y 2.6 Realización del peso unitario suelto de la arena gruesa y piedra chancada



Figura 2.7 y 2.8 Realización del peso unitario suelto del vidrio molido

Después se procedió a hacer el peso unitario varillado, se llenó la briqueta en 3 capas de igual volumen, compactando cada capa con 25 penetraciones de la varilla distribuyéndolas uniformemente y se niveló con la varilla de acero, para luego pesarlo, esto se realizó 2 veces para sacar un promedio.

Posteriormente se hizo el tamizado del agregado por la malla 3/8", N° 04 y el resto del material fue <4.

Del resto del material <4 se tomó una muestra y se lavó el material, una vez limpio se puso en la cocina para el secado respectivo, una vez seco se hizo enfriar al aire libre, se pesó y se procedió a realizar el tamizado. Se colocaron el juego de mallas para el tamizado respectivo; empezando de Lavado, fondo, N°200, N°100, N°50, N°30, N°16, N°8; obteniéndose distintas fracciones de dicho material retenidos en cada tamiz, los cuales fueron pesados, determinando así la granulometría del árido en función de dichos porcentajes.

Tabla 2.2
Granulometría de la arena gruesa

MALLA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
		(gr)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM	C-33
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1-1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.50	16.00	0.05	0.05	99.95	100	100
Nº4	4.75	994.00	3.11	3.16	96.84	95	100
Nº8	2.34	6987.69	21.86	25.02	74.98	80	100
Nº16	1.18	7548.68	23.62	48.64	51.36	50	85
Nº30	0.60	5978.91	18.71	67.35	32.65	25	60
Nº50	0.30	4625.66	14.47	81.82	18.18	10	30
Nº100	0.15	3021.44	9.45	91.27	8.73	2	10
Nº200	0.07	1235.15	3.86	95.13	4.87	0	3
FONDO		172.23	0.54	95.67	4.33	0	0
LAVADO		1382.78	4.33	100.00	0.00		

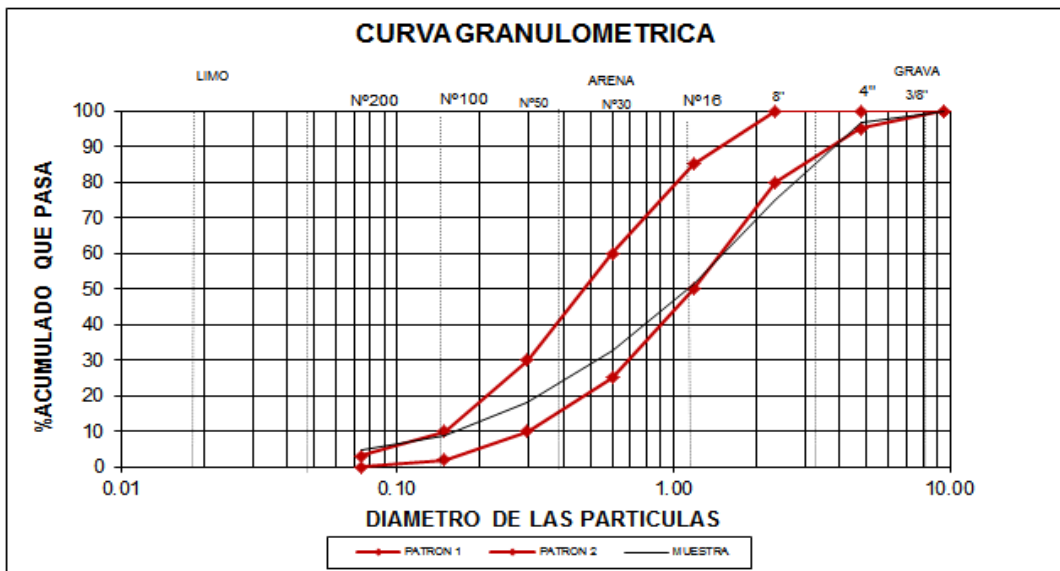


Figura 2.9 Curva granulométrica de la arena gruesa

Tabla 2.3
Granulometría de la piedra chancada

MALLA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
		(gr)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM	C-33 HUSO 7
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1-1/2"	38.10	252.00	1.02	1.02	98.98	95	100
1"	25.00	4308.00	17.48	18.51	81.49	45	80
3/4"	19.00	10238.00	41.55	60.06	39.94	35	70
1/2"	12.50	8224.00	33.38	93.43	6.57	20	40
3/8"	9.50	1078.00	4.37	97.81	2.19	10	30
Nº4	4.75	286.00	1.16	98.97	1.03	0	5
Nº8	2.36	20.00	0.08	99.05	0.95	0	5
FONDO	0.00	186.00	0.75	99.80	0.20	0	0
LAVADO	0.00	48.26	0.20	100.00	0.00		

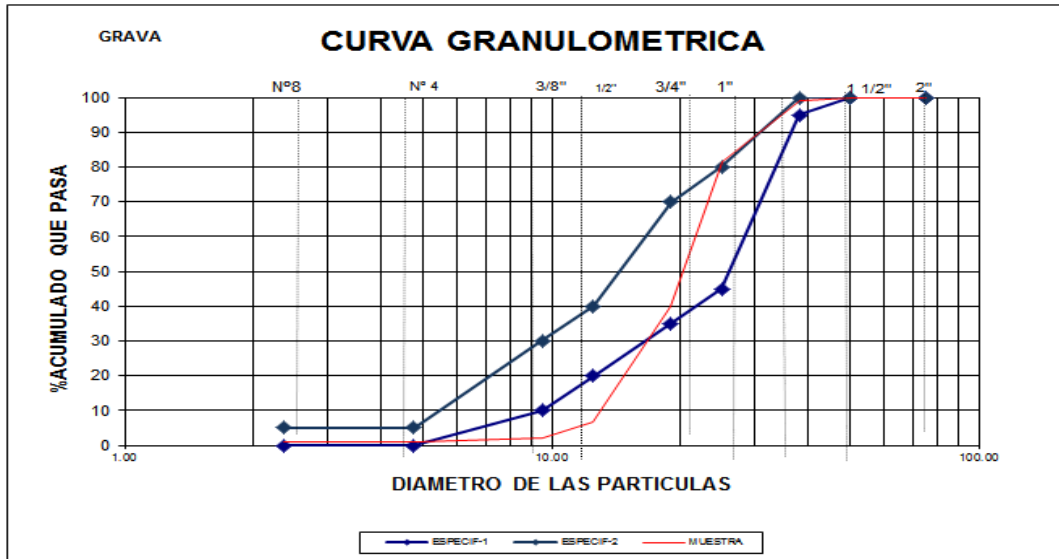


Figura 2.10 Curva granulométrica de la piedra chancada

Tabla 2.4
Granulometría del vidrio molido

MALLA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO (gr)	PORCENTAJES ACUMULADOS (%)	PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
				Retenido	Pasa	ASTM C-33	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1-1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
Nº4	4.75	3.30	0.02	0.02	99.98	95	100
Nº8	2.34	3374.50	19.59	19.61	80.39	80	100
Nº16	1.18	4090.11	23.75	43.36	56.64	50	85
Nº30	0.60	2652.33	15.40	58.76	41.24	25	60
Nº50	0.30	4552.95	26.43	85.19	14.81	10	30
Nº100	0.15	1263.80	7.34	92.53	7.47	2	10
Nº200	0.07	590.87	3.43	95.96	4.04	0	3
FONDO		9.85	0.06	96.02	3.98	0	0
LAVADO		686.06	3.98	100.00	0.00		

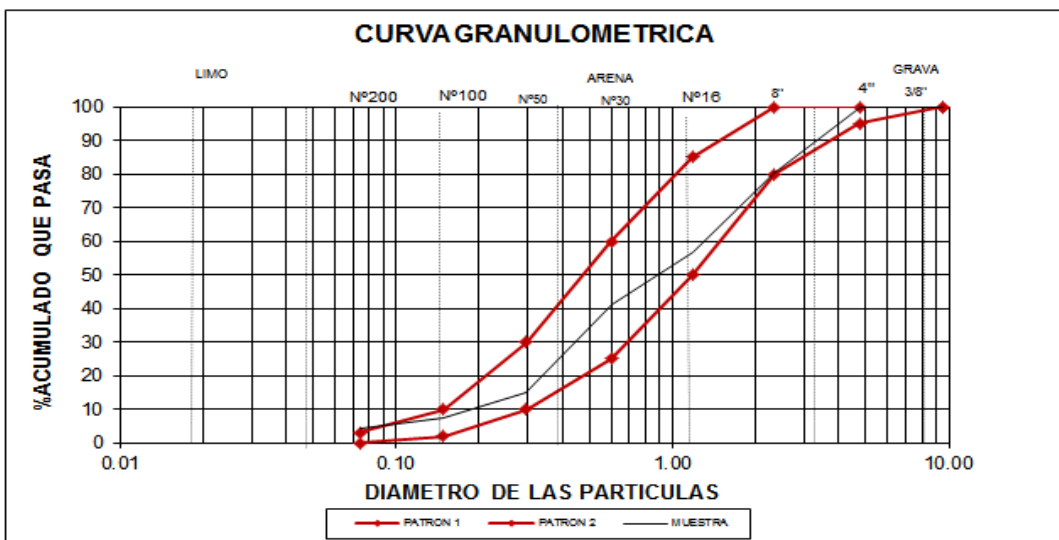


Figura 2.11 Curva granulométrica del vidrio molido

Tabla 2.5
Granulometría de la arena gruesa + 20% de vidrio molido

MALLA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
		(gr)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM C-33	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1-1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.50	12.00	0.06	0.06	99.94	100	100
Nº4	4.75	1342.00	6.83	6.89	93.11	95	100
Nº8	2.34	2939.70	14.95	21.84	78.16	80	100
Nº16	1.18	3976.58	20.23	42.06	57.94	50	85
Nº30	0.60	3711.66	18.88	60.94	39.06	25	60
Nº50	0.30	4401.01	22.38	83.32	16.68	10	30
Nº100	0.15	2031.02	10.33	93.65	6.35	2	10
Nº200	0.07	794.75	4.04	97.70	2.30	0	3
FONDO		25.64	0.13	97.83	2.17	0	0
LAVADO		427.28	2.17	100.00	0.00		

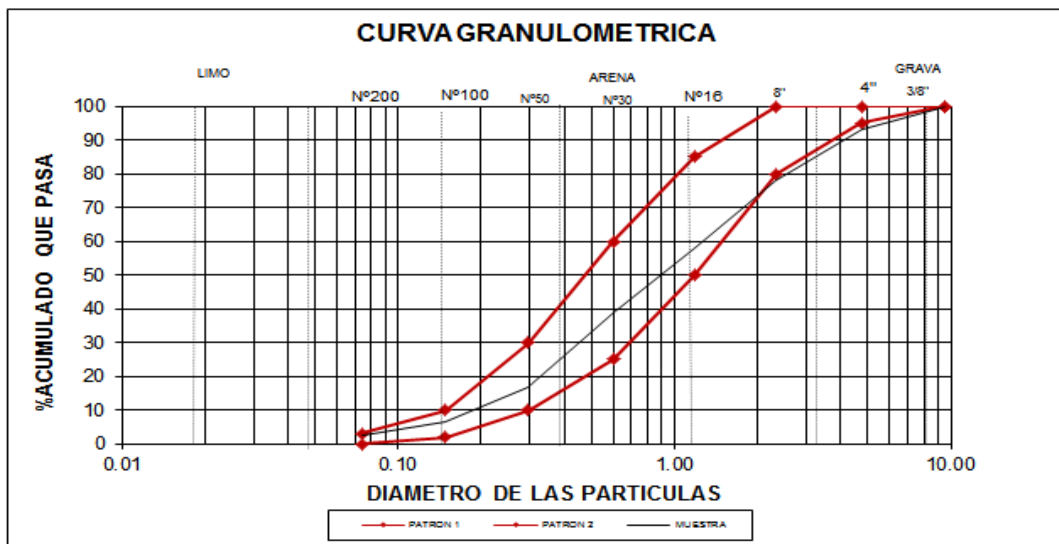


Figura 2.12 Curva granulométrica de la arena gruesa + 20% de vidrio molido

Tabla 2.6
Granulometría de la arena gruesa + 25% de vidrio molido

MALLA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
		(gr)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM C-33	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1-1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.50	12.00	0.06	0.06	99.94	100	100
Nº4	4.75	1022.00	5.14	5.20	94.80	95	100
Nº8	2.34	3825.66	19.24	24.45	75.55	80	100
Nº16	1.18	3841.35	19.32	43.77	56.23	50	85
Nº30	0.60	3722.09	18.72	62.49	37.51	25	60
Nº50	0.30	3295.28	16.58	79.07	20.93	10	30
Nº100	0.15	2309.83	11.62	90.69	9.31	2	10
Nº200	0.07	906.99	4.56	95.25	4.75	0	3
FONDO		97.29	0.49	95.74	4.26	0	0
LAVADO		847.36	4.26	100.00	0.00		

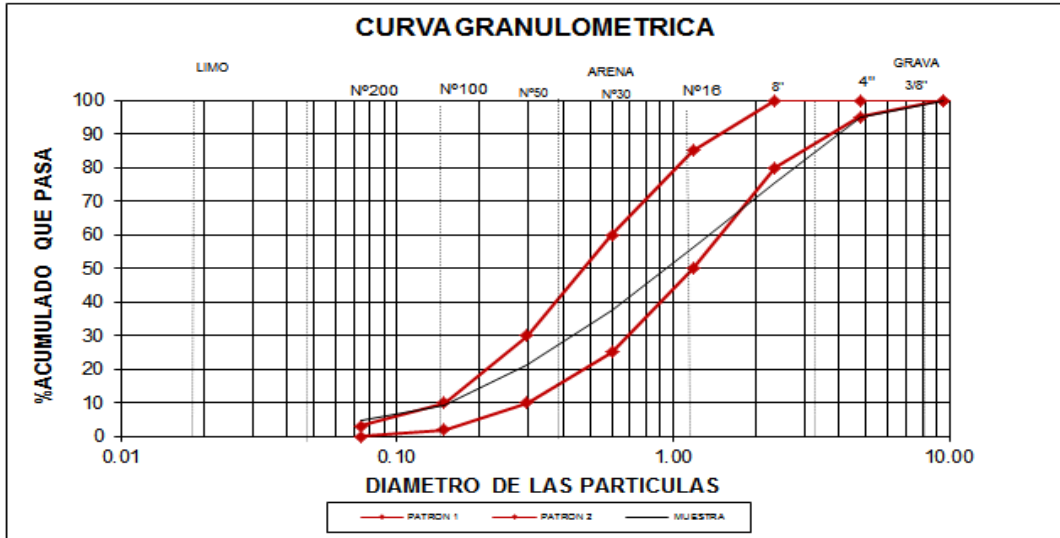


Figura 2.13 Curva granulométrica de la arena gruesa + 25% de vidrio molido

Tabla 2.7
Granulometría de la arena gruesa + 30% de vidrio molido

MALLA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
		(gr)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM C-33	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1-1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.50	10.00	0.05	0.05	99.95	100	100
Nº4	4.75	1504.00	7.63	7.68	92.32	95	100
Nº8	2.34	3912.33	19.84	27.52	72.48	80	100
Nº16	1.18	3698.47	18.75	46.27	53.73	50	85
Nº30	0.60	3516.07	17.83	64.10	35.90	25	60
Nº50	0.30	3412.28	17.30	81.40	18.60	10	30
Nº100	0.15	2232.92	11.32	92.73	7.27	2	10
Nº200	0.07	729.63	3.70	96.43	3.57	0	3
FONDO		25.16	0.13	96.56	3.44	0	0
LAVADO		679.31	3.44	100.00	0.00		

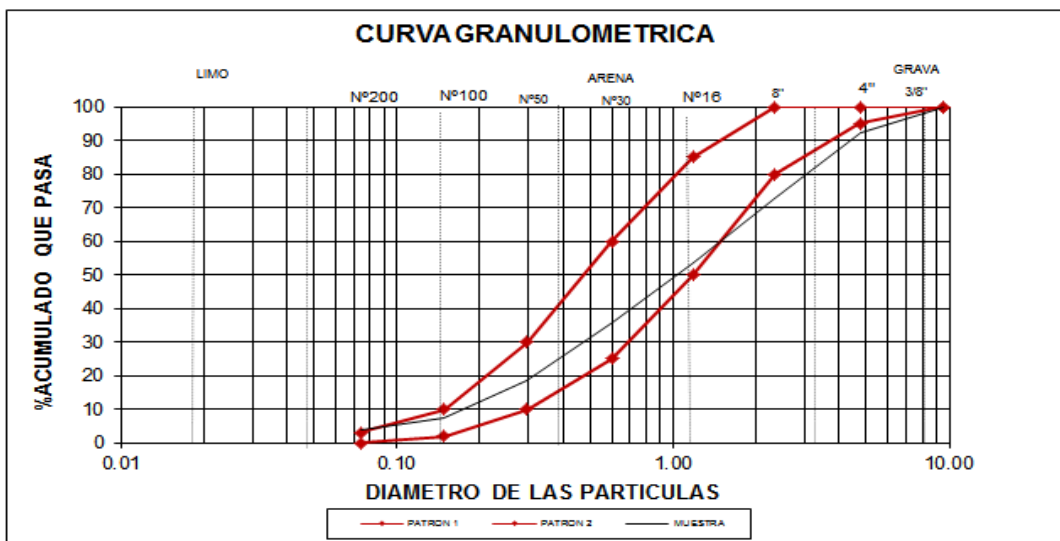


Figura 2.14 Curva granulométrica de la arena gruesa + 30% de vidrio molido

2.3.4.2 Peso específico

Para determinar el peso específico de la arena gruesa y el vidrio molido; se tomó una muestra del material de aproximadamente 1 kg. y se roció un poco de agua hasta darle una consistencia a capacidad de campo, se dejó reposar por espacio de $\frac{1}{2}$ hora; transcurrido este tiempo se procede a llenar el tronco cónico en 3 capas de igual volumen, apisonando suavemente el agregado fino dentro del molde con 25 suaves caídas del pisón metálico, luego despojamos el desprendimiento de arena de la base y alzamos el molde verticalmente, si todavía hay humedad superficial presente, el agregado fino retendrá la forma del molde, si la muestra se disgrega levemente se obtendrá la condición saturada superficialmente seca.

Seguidamente se prepara la fiola, se pesa y se le agrega 500ml de agua, se vuelve a pesar, se mide la temperatura del agua y se agrega 500gr. de la muestra en estado saturado superficialmente seca, lo volvemos a pesar y se procede a agitar la combinación para que el material fino pueda emerger a la superficie, quitándose los restos de espuma de la fiola con papel absorbente. Posteriormente se vacía la combinación y se deja decantar, luego se elimina el exceso de agua y se pone en la cocina para hacer el secado respectivo de la muestra, una vez seco se pone a enfriar al aire libre y finalmente se pesa.



Figura 2.15 y 2.16 Realización del peso específico de la arena gruesa con 25% de vidrio molido

Para determinar el peso específico de la piedra chancada; se hizo remojar un promedio de 2kg. de un día para otro, seguidamente se escurrió el agua y se procedió a secar cada piedrita con una franela, aproximadamente 1 ½ kg.

Seguidamente se procedió a calibrar la balanza, se coloca un balde con agua cerca; se sumerge la canastilla dentro del agua y se procede a pesarlo, luego colocamos la piedra chancada seca en la canastilla y lo sumergimos en el agua y lo volvemos a pesar, sacamos el cesto y lo vaciamos en una bandeja para realizar el secado respectivo en la cocina, una vez seco se deja enfriar al aire libre y se pesa; todos estos datos se anotan en una cuaderno para luego realizar los cálculos respectivos.

Tabla 2.8
Peso específico de la arena gruesa

FECHA DE ENSAYO : 15/03/2016

Nº DE ENSAYOS	1	2
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO
Fecha de Ensayo.	15/03/2016	15/03/2016
Wmuestra SSS (S).	500	500
Wfiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.7	660.7
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.7	1160.7
WmuestSSS+Fiola+Agua a (C).	968.1	968.1
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	487.6	487.6
Vmuest. + Aire	192.6	192.6
Vaire	12.4	12.4
V. masa	180.2	180.2
P.E.masa	2.532	2.532
P.E.sss	2.596	2.596
P.E.aparente	2.706	2.706
% Absorción	2.543	2.543
	PROMEDIO ESPECÍFICO =	2.532
	PROMEDIO ABSORCION =	2.543

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.

Tabla 2.9
Peso específico de la piedra chancada

FECHA DE ENSAYO : 15/03/2016

ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO
Fecha de Ensayo.	15/03/2016	15/03/2016
Peso de la muestra superficialmente seca (Wmsss)	1502.80	1502.80
Peso canastilla en agua	142.50	142.50
Peso de canastilla en agua + Wmsss	1066.90	1066.90
Peso muestra seca en horno	1478.10	1478.10
peso especifico seco	2.555	2.555
peso especifico saturado	2.60	2.60
Peso de vacios	24.70	24.70
peso especifico aparente	2.669	2.669
% de absorción	1.67	1.67
	PROMEDIO ESPECÍFICO =	2.555
	PROMEDIO ABSORCION =	1.671

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.

Tabla 2.10
Peso específico del vidrio molido

FECHA DE ENSAYO : 15/04/2016

Nº DE ENSAYOS	1	2
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO
Fecha de Ensayo.	15/04/2016	15/04/2016
Wmuestra SSS (S).	500	500
WFiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.6	660.6
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.6	1160.6
WmuestSSS+Fiola+Agua a (C).	961.0	961.0
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	498.9	498.9
Vmuest. + Aire	199.6	199.6
Vaire	1.1	1.1
V. masa	198.5	198.5
P.E.masa	2.499	2.499
P.E.sss	2.505	2.505
P.E.aparente	2.513	2.513
% Absorción	0.220	0.220
	PROMEDIO ESPECÍFICO =	2.499
	PROMEDIO ABSORCION =	0.220

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.

Tabla 2.11
Peso específico de la arena gruesa + 20% de vidrio molido

FECHA DE ENSAYO : 18/04/2016

Nº DE ENSAYOS	1	2
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO
Fecha de Ensayo.	18/04/2016	18/04/2016
Wmuestra SSS (S).	500	500
WFiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.7	660.7
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.7	1160.7
WmuestSSS+Fiola+Agua a (C).	972.0	972
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	493.1	493.1
Vmuest. + Aire	188.7	188.7
Vaire	6.9	6.9
V. masa	181.8	181.8
P.E.masa	2.613	2.613
P.E.sss	2.650	2.650
P.E.aparente	2.712	2.712
% Absorción	1.399	1.399
	PROMEDIO ESPECÍFICO =	2.613
	PROMEDIO ABSORCION =	1.399

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.

Tabla 2.12*Peso específico de la arena gruesa + 25% de vidrio molido***FECHA DE ENSAYO : 20/04/2016**

Nº DE ENSAYOS	1	2
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO
Fecha de Ensayo.	20/04/2016	20/04/2016
Wmuestra SSS (S).	500	500
WFiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.2	660.2
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.2	1160.2
WmuestSSS+Fiola+Agua a (C).	971.7	971.7
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	492.9	492.9
Vmuest. + Aire	188.5	188.5
Vaire	7.1	7.1
V. masa	181.4	181.4
P.E.masa	2.615	2.615
P.E.sss	2.653	2.653
P.E.aparente	2.717	2.717
% Absorción	1.440	1.440
	PROMEDIO ESPECÍFICO =	2.615
	PROMEDIO ABSORCION =	1.440

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.

Tabla 2.13*Peso específico de la arena gruesa + 30% de vidrio molido***FECHA DE ENSAYO : 22/03/2016**

Nº DE ENSAYOS	1	2
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO
Fecha de Ensayo.	15/03/2016	15/03/2016
Wmuestra SSS (S).	500	500
WFiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.0	660
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.0	1160
WmuestSSS+Fiola+Agua a (C).	971.4	971.4
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	493.5	493.5
Vmuest. + Aire	188.6	188.6
Vaire	6.5	6.5
V. masa	182.1	182.1
P.E.masa	2.617	2.617
P.E.sss	2.651	2.651
P.E.aparente	2.710	2.710
% Absorción	1.317	1.317
	PROMEDIO ESPECÍFICO =	2.617
	PROMEDIO ABSORCION =	1.317

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.

2.3.4.3 Diseño de dosificación

Para el cálculo de la dosificación se utilizó la metodología usada en el Laboratorio HHC INGENIEROS ASOCIADOS SAC Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto. La dosificación se realiza para los 3 tipos de diseño, considerando los mismos materiales, sólo difieren en la adición gradual de una cantidad controlada de vidrio, en reemplazo del agregado fino (arena gruesa).

A continuación se detalla el procedimiento de dosificación:

- Primeramente se determinó el peso específico tanto de la arena, vidrio molido como de la piedra chancada, en el caso del cemento se obtuvo de tablas; luego el peso unitario suelto y varillado de los tres materiales, % humedad, % absorción y el módulo de fineza; mediante las siguientes fórmulas:

$$Pe (\text{arena} + 20\% \text{vidrio molido}) = \frac{W_{\text{muestra seco horno}}}{V_{\text{muestra} + \text{aire}}}$$

de donde:

$$V_{\text{muestra} + \text{aire}} = (W_{\text{fiola}} + W_{\text{muestra}} + W_{\text{agua}}) - (W_{\text{muestra SSS}} + W_{\text{fiola}} + W_{\text{agua}})$$

$$(W_{\text{fiola}} + W_{\text{muestra}} + W_{\text{agua}}) = W_{\text{muestra SSS}} + (W_{\text{fiola}} + 500\text{ml agua})$$

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W}{\text{Peso Mseca}} * 100$$

de donde:

$$W = (M \text{ húm.} + \text{recip.}) - (M \text{ seca} + \text{recip.})$$

$$\text{Peso Mseca} = (M \text{ seca} + \text{recip.}) - \text{peso recipiente}$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{W_{\text{muestra SSS}} - W_{\text{muestra seco horno}}}{W_{\text{muestra seco horno}}} * 100$$

- Cantidad de agua (A)

Se obtiene de la tabla N° 10, 2, 1

- Cantidad de cemento (C)

Se calcula como el cociente entre la cantidad de agua y la razón agua-cemento, expresado en kg.

$$C = \frac{\text{Volumen unitario de agua (Tabla 10,2,1)}}{W/C}$$

2.3.4.4 Resumen de dosificación

Los resultados de dosificación obtenidos para 1m³ de mezcla se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 2.14

Resultados de dosificación para concreto base

<u>MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO</u>	<u>175 kg/cm2</u>	<u>210 Kg/cm2</u>	<u>280 kg/cm2</u>
CEMENTO	285	330	385
AGUA	185	185	185
GRAVA	1070	1070	1070
ARENA	750	713	669
TOTAL =	2289	2298	2309

Tabla 2.15

Resultados de dosificación para concreto con 20% de vidrio molido

<u>MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO</u>	<u>175 kg/cm2</u>	<u>210 kg/cm2</u>	<u>280 kg/cm2</u>
CEMENTO	285	330	385
AGUA	185	185	185
GRAVA	1070	1070	1070
ARENA + 20% VIDRIO MOLIDO	774	736	690
TOTAL =	2313	2321	2330

Tabla 2.16

Resultados de dosificación para concreto con 25% de vidrio molido

<u>MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO</u>	<u>175 kg/cm2</u>	<u>210 kg/cm2</u>	<u>280 kg/cm2</u>
CEMENTO	285	330	385
AGUA	185	185	185
GRAVA	1070	1070	1070
ARENA + 25% VIDRIO MOLIDO	774	736	691
TOTAL =	2313	2321	2331

Tabla 2.17

Resultados de dosificación para concreto con 30% de vidrio molido

<u>MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO</u>	<u>175 kg/cm2</u>	<u>210 kg/cm2</u>	<u>280 kg/cm2</u>
CEMENTO	285	330	385
AGUA	185	185	185
GRAVA	1070	1070	1070
ARENA + 30% VIDRIO MOLIDO	775	737	691
TOTAL =	2314	2322	2331.00

2.3.4.5 Confección de probetas

Las mezclas de prueba se prepararon según lo establecido en la norma NTP 339.033. Preparación de mezclas de prueba en laboratorio, donde se establecen los procedimientos necesarios para la elaboración de mezclas de prueba de hormigón en laboratorio.

Equipos necesarios:

- Mezcladora: Se utilizó una mezcladora tipo trompo, con capacidad de carga de 120lt aprox.
- Balanza: Se utilizó una balanza electrónica de precisión superior al 0,1%.

Herramientas:

- Moldes: Se usaron moldes de acero de forma cilíndrica $\varnothing = 0.10\text{m}$ y $h = 0.20\text{m}$; según requisitos de la norma ASTM C31.
- Recipientes: Se utilizaron recipientes de variados volúmenes para medir la masa, transportar áridos, entre otros usos.
- Varilla: Debe ser de fierro liso diámetro 5/8" (16mm), de 60 cm de largo y con una de sus extremos boleados.
- Mazo: Se usó un mazo de goma que pesó entre 0.60 y 0.80 Kg.

Materiales:

- Cemento: Se utilizó cemento portland tipo I "Andino"
- Áridos: De canto rodado, provenientes de lecho de río (arena gruesa y piedra chancada)
- Vidrio: Proveniente de botellas, triturado, debidamente limpio y seco.

Proceso de mezclado:

Antes de realizar el mezclado, se procedió primeramente a pesar cada uno de los materiales de acuerdo a la cantidad de material para el diseño, colocándolo en la mezcladora.



Figura 2.17 Pesado de los materiales para la elaboración del concreto

Resultados de dosificación de piedra chancada y arena gruesa con distintos porcentajes de vidrio molido para probetas cilíndricas de \varnothing 10cm y 20cm de altura

Tabla 2.18
Resultados de dosificación con 20% de vidrio molido

	Cantidad de material para el diseño		
	<u>175 kg/cm²</u> Para 8 prob.	<u>210 kg/cm²</u> Para 8 prob.	<u>280 kg/cm²</u> Para 8 prob.
Cemento	4.554	5.286	6.167
Agua	2.855	2.856	2.858
Piedra	17.470	17.470	17.470
Arena + 20% de vidrio molido	12.588	11.971	11.228
Peso Total	37.467	37.583	37.723

Tabla 2.19
Resultados de dosificación con 25% de vidrio molido

	Cantidad de material para el diseño		
	<u>175 kg/cm²</u> Para 8 prob.	<u>210 kg/cm²</u> Para 8 prob.	<u>280 kg/cm²</u> Para 8 prob.
Cemento	4.554	5.286	6.167
Agua	2.860	2.861	2.863
Piedra	17.470	17.470	17.470
Arena+25% de vidrio molido	12.597	11.979	11.235
Peso Total	37.481	37.596	37.735

Tabla 2.20
Resultados de dosificación con 30%de vidrio molido

	Cantidad de Material para el Diseño		
	<u>175 kg/cm²</u> Para 8 prob.	<u>210 kg/cm²</u> Para 8 prob.	<u>280 kg/cm²</u> Para 8 prob.
Cemento	4.554	5.286	6.167
Agua	2.845	2.847	2.858
Piedra	17.470	17.470	17.470
Arena + 30% de vidrio molido	12.605	11.987	11.228
Peso Total	37.474	37.590	37.723

Se acondicionan los moldes, se limpian de manera de eliminar cualquier resto de un uso anterior, o cualquier agente contaminante.

Se lubrica el interior de cada molde con aceite para prevenir la adherencia con la mezcla.

Acondicionamos una plancha base, un cono y una varilla de metal; para realizar “la prueba del slump” mediante la norma NTP 339.035, ASTM C143; esta prueba consiste en medir la altura de una masa de concreto luego de ser extraída de un molde en forma de cono. Cuanto mayor sea la altura, el concreto será más trabajable. De la misma manera, cuanto menor sea la altura, el concreto estará muy seco y será poco trabajable.

El procedimiento es como sigue:

- Primero el operador se paró sobre las pisaderas, evitando que el molde se mueva en todo momento.
- El cono es llenado en tres capas, cada una de las cuales es apisonada y se chucea con la varilla, 25 veces cada una, inmediatamente después se nivela el cono.
- Para levantar el molde el operario tomó el molde por las asas y liberó las pisaderas, levantando suavemente en dirección vertical y se le coloca al lado del concreto.
- Por último, se mide la altura entre el cono y el concreto, colocando la varilla horizontalmente sobre el cono.

Una vez que hallamos realizado esto se devuelve el concreto y se hace trabajar nuevamente la mezcladora; se comienza a llenar los moldes en tres capas de igual volumen, compactando cada capa con 25

penetraciones de la varilla distribuyéndose uniformemente en forma de espiral y terminando en el centro.

La capa inferior se compacta en todo su espesor; la segunda y tercera capa se compacta penetrando no más de 1" en la capa anterior. Después de compactar cada capa se golpeó a los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire que puedan estar atrapadas. Se enrasa el exceso de concreto con la varilla de compactación, posteriormente con una cuchilla, para mejorar el acabado superior. Debe darse el menor número de pasadas para obtener una superficie lisa y acabada.



Figura 2.18 Realizando el compactado del concreto

2.3.4.6 Desmolde y curado

Este procedimiento se efectuó mediante el uso de las normas NTP 339.033, ASTM C31; luego de terminar con el llenado de los moldes, se deja reposar en una zona adecuada para que después de 18 a 24 hr, realizar el desmolde de las probetas, hecho esto se marca en la cara circular de la probeta con un plumón indeleble las anotaciones como el tipo de resistencia, fecha de moldeo, % de vidrio molido y tiempo de curado. Luego de esto se colocan los moldes en una poza para el curado respectivo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Generalidades

Una vez transcurrido la primera semana desde la fecha de elaboración de las probetas, estas son ensayadas a compresión según la norma NTP 339.034, ASTM C39; ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas, que establece el método para efectuar los ensayos hasta rotura por compresión, además de los requisitos que deben cumplir los equipos usados en el ensayo.

3.2 Procedimiento

Una vez que las probetas son retiradas de la poza de curado, se deja al aire libre hasta que seque, aproximadamente 24 hr; luego se trasladan al laboratorio donde se encuentra la prensa para ensayo de resistencia a la compresión, antes de realizar el ensayo, identificamos las probetas para posteriormente refrentarlas.



Figura 3.1 Probetas identificadas antes de hacer el ensayo

Posteriormente se colocó una cantidad aproximada de $\frac{1}{2}$ kg de azufre en la cocina, se espera que ésta se derrita completamente, mientras se va engrasando las superficies de los bloques; para conseguir una distribución uniforme de la carga, luego se refrentan los moldes con el mortero de azufre.



Figura 3.2 Refrentando con mortero de azufre

Luego se limpia las superficies de los bloques superior e inferior y ambos lados de la probeta; se centra las probetas en la máquina de ensayo para realizar la rotura respectiva.



Figuras 3.3 y 3.4 Probetas colocadas en la máquina de ensayo

$$R_c = \frac{4G}{\pi d^2}$$

Dónde:

R_c: Es la resistencia de rotura a la compresión, en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²).

G: La carga máxima de rotura en kilogramos.

d: Es el diámetro de la probeta cilíndrica, en centímetros.

Tabla 3.1
 Concreto base para $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Nº	ESPECIMEN LUGAR	F'c. Kg/cm2.	AREA Cm2.	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		FECHA	CURADO EN AGUA
									Kg/cm2.	%		
1	DISEÑO	175	79	30/03/2016	7	06-abr-16	11793	11634	150	86		EN LABORATORIO
2	DISEÑO	175	79	30/03/2016	7	06-abr-16	11405	11246	145	83	86	EN LABORATORIO
3	DISEÑO	175	79	30/03/2016	7	06-abr-16	12136	11977	155	88		EN LABORATORIO
4	DISEÑO	175	79	30/03/2016	14	13-abr-16	14694	14534	187	107		EN LABORATORIO
5	DISEÑO	175	79	30/03/2016	14	13-abr-16	14642	14482	186	107	105	EN LABORATORIO
6	DISEÑO	175	79	30/03/2016	14	13-abr-16	13984	13824	178	102		EN LABORATORIO
7	DISEÑO	175	79	30/03/2016	21	20-abr-16	15931	15771	203	116		EN LABORATORIO
8	DISEÑO	175	79	30/03/2016	21	20-abr-16	16002	15842	204	116	117	EN LABORATORIO
9	DISEÑO	175	79	30/03/2016	21	20-abr-16	16106	15946	205	117		EN LABORATORIO
10	DISEÑO	175	79	30/03/2016	28	27-abr-16	16250	16090	207	118		EN LABORATORIO
11	DISEÑO	175	79	30/03/2016	28	27-abr-16	18540	18380	236	135	128	EN LABORATORIO
12	DISEÑO	175	79	30/03/2016	28	27-abr-16	17892	17732	228	130		EN LABORATORIO

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
175 kg/cm2	86%	105%	117%	128%

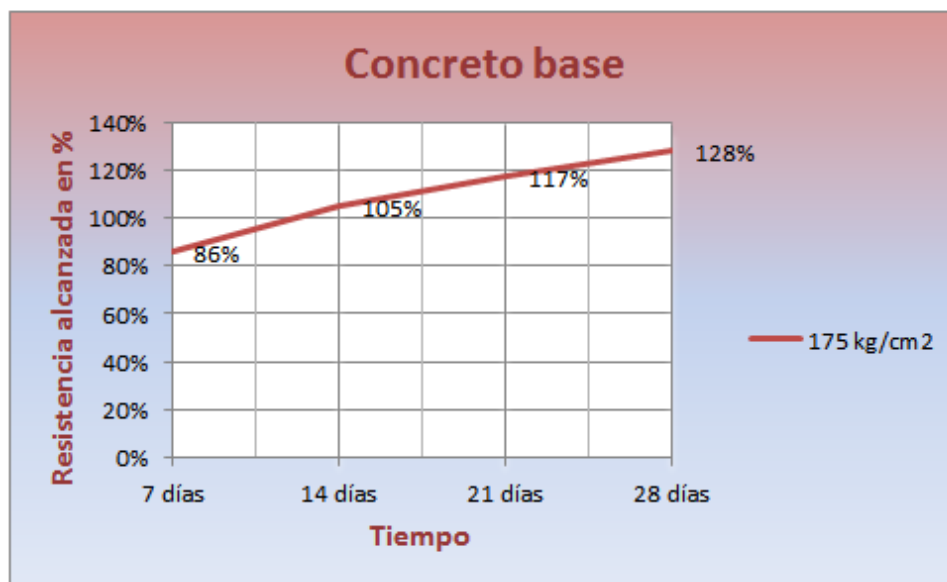


Figura 3.5 Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto base para $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$

Se puede observar en los resultados de los ensayos a compresión que para el concreto base con $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ cuanto mayor sea la edad mayor resistencia alcanzará; observándose que a partir de los 14 días sobrepasa el 100%.

Tabla 3.2
Concreto base para $f'c = 210\text{kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c. Kg/cm2.	AREA Cm2.	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA	16-abr-16	CURADO EN AGUA
									Kg/cm2.	%				
1	DISEÑO	210	79	19/03/2016	7	26-mar-16	14816	14656	189	90				EN LABORATORIO
2	DISEÑO	210	79	19/03/2016	7	26-mar-16	17556	17396	224	106	98			EN LABORATORIO
3	DISEÑO	210	79	19/03/2016	7	26-mar-16	16327	16167	208	99				EN LABORATORIO
4	DISEÑO	210	79	19/03/2016	14	02-abr-16	19284	19124	246	117				EN LABORATORIO
5	DISEÑO	210	79	19/03/2016	14	02-abr-16	18734	18574	239	114	114			EN LABORATORIO
6	DISEÑO	210	79	19/03/2016	14	02-abr-16	18329	18169	233	111				EN LABORATORIO
7	DISEÑO	210	79	19/03/2016	21	09-abr-16	23809	23649	303	144				EN LABORATORIO
8	DISEÑO	210	79	19/03/2016	21	09-abr-16	20881	20721	266	127	136			EN LABORATORIO
9	DISEÑO	210	79	19/03/2016	21	09-abr-16	22762	22602	290	138				EN LABORATORIO
10	DISEÑO	210	79	19/03/2016	28	16-abr-16	25412	25252	324	154				EN LABORATORIO
11	DISEÑO	210	79	19/03/2016	28	16-abr-16	26622	26462	339	161	159			EN LABORATORIO
12	DISEÑO	210	79	19/03/2016	28	16-abr-16	26418	26258	336	160				EN LABORATORIO

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
210kg/cm2	98%	114%	136%	159%

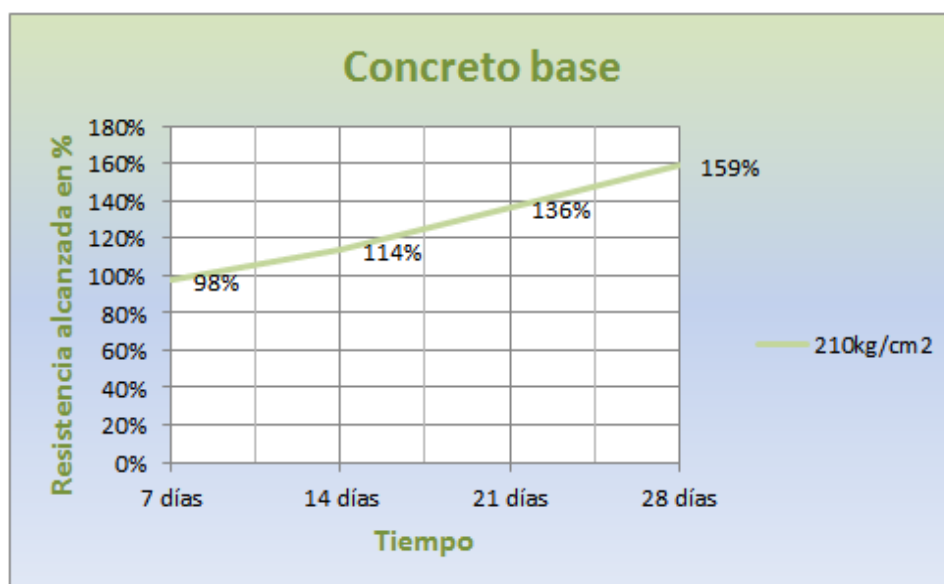


Figura 3.6 Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto base para $f'c=210\text{ kg/cm}^2$

Se puede observar en los resultados de los ensayos a compresión que el concreto base con $f'c= 210\text{kg/cm}^2$ alcanzará la resistencia esperada a partir de los 14 días, llegando hasta un 114%.

Tabla 3.3
 Concreto base para $f'c = 280\text{kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c. Kg/cm2.	AREA Cm2.	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA 19-abr-16	CURADO EN AGUA
									Kg/cm2.	%			
1	DISEÑO	280	79	22/03/2016	7	29-mar-16	19388	19228	247	88	94	EN LABORATORIO	
2	DISEÑO	280	79	22/03/2016	7	29-mar-16	21966	21806	280	100		EN LABORATORIO	
3	DISEÑO	280	79	22/03/2016	7	29-mar-16	20834	20674	265	95		EN LABORATORIO	
4	DISEÑO	280	79	22/03/2016	14	05-abr-16	23651	23491	301	108		EN LABORATORIO	
5	DISEÑO	280	79	22/03/2016	14	05-abr-16	22629	22469	288	103	106	EN LABORATORIO	
6	DISEÑO	280	79	22/03/2016	14	05-abr-16	23721	23561	302	108		EN LABORATORIO	
7	DISEÑO	280	79	22/03/2016	21	12-abr-16	26783	26623	341	122		EN LABORATORIO	
8	DISEÑO	280	79	22/03/2016	21	12-abr-16	26007	25847	331	118	119	EN LABORATORIO	
9	DISEÑO	280	79	22/03/2016	21	12-abr-16	25983	25823	331	118		EN LABORATORIO	
10	DISEÑO	280	79	22/03/2016	28	19-abr-16	27850	27690	355	127		EN LABORATORIO	
11	DISEÑO	280	79	22/03/2016	28	19-abr-16	28932	28772	368	132	130	EN LABORATORIO	
12	DISEÑO	280	79	22/03/2016	28	19-abr-16	28654	28494	365	130		EN LABORATORIO	

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
280kg/cm2	94%	106%	119%	130%

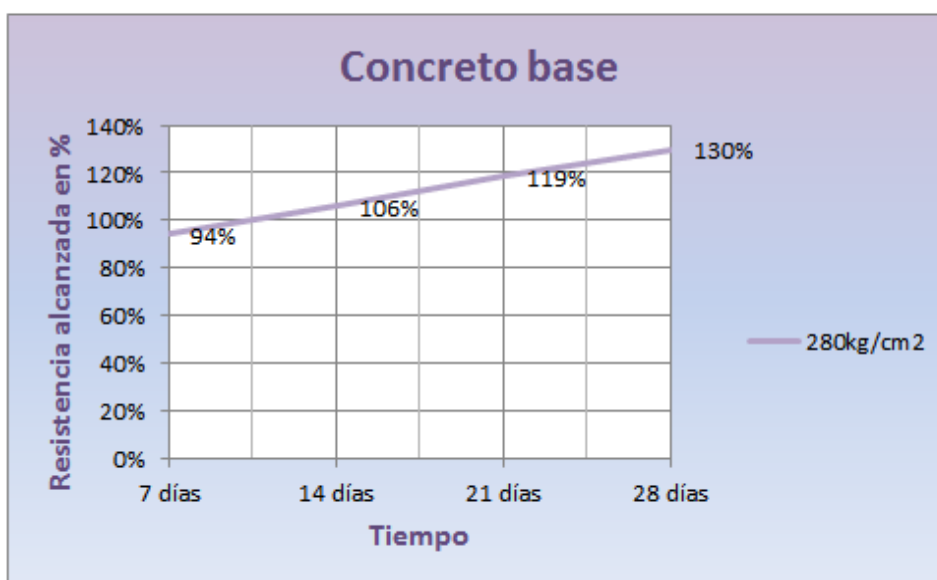


Figura 3.7 Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto base para $f'c=280\text{ kg/cm}^2$

En esta gráfica también se observa el incremento de la resistencia para el concreto base con $f'c= 280\text{kg/cm}^2$ cuanto mayor sea la edad mayor resistencia alcanzará; observándose que a partir de los 14 días sobrepasa el 100%.

Tabla 3.4
 Concreto con 20% de vidrio molido para $f'c = 175\text{kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c. Kg/cm2.	AREA Cm2.	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kn)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA 20-may-16	CURADO EN AGUA
									Kg/cm2.	%			
1	DISEÑO	175	79	22/04/2016	7	29-abr-16	15280	15120	195	111			EN LABORATORIO
2	DISEÑO	175	79	22/04/2016	7	29-abr-16	12690	12531	162	92	102		EN LABORATORIO
3	DISEÑO	175	79	22/04/2016	7	29-abr-16	13958	13798	178	102			EN LABORATORIO
4	DISEÑO	175	79	22/04/2016	14	06-may-16	15230	15070	194	111			EN LABORATORIO
5	DISEÑO	175	79	22/04/2016	14	06-may-16	17520	17360	223	127	121		EN LABORATORIO
6	DISEÑO	175	79	22/04/2016	14	06-may-16	16942	16782	216	123			EN LABORATORIO
7	DISEÑO	175	79	22/04/2016	21	13-may-16	22320	22160	284	162			EN LABORATORIO
8	DISEÑO	175	79	22/04/2016	21	13-may-16	15120	14960	193	110	138		EN LABORATORIO
9	DISEÑO	175	79	22/04/2016	21	13-may-16	19526	19366	249	142			EN LABORATORIO
10	DISEÑO	175	79	22/04/2016	28	20-may-16	20410	20250	260	148			EN LABORATORIO
11	DISEÑO	175	79	22/04/2016	28	20-may-16	24260	24100	309	177	166		EN LABORATORIO
12	DISEÑO	175	79	22/04/2016	28	20-may-16	23654	23494	301	172			EN LABORATORIO

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
175 kg/cm2	102%	121%	138%	166%

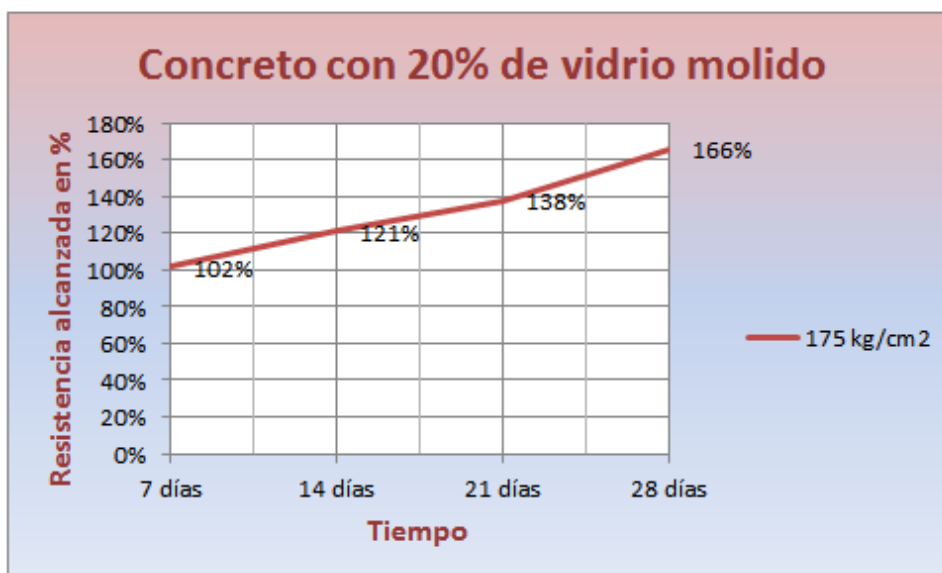


Figura 3.8 Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto con 20% de vidrio molido para $f'c=175\text{kg/cm}^2$

Se puede observar en los resultados de los ensayos a compresión que el concreto con 20% de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) para $f'c= 175\text{kg/cm}^2$; incrementó su resistencia significativamente; observándose que a partir de los 7 días sobrepasa el 100%, superando al concreto base, que alcanzó la resistencia a los 14 días.

Tabla 3.5
 Concreto con 20% de vidrio molido para $f'c = 210\text{kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c. Kg/cm2.	AREA Cm2.	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA CURADO EN AGUA
									Kg/cm2.	%		
1	DISEÑO	210	79	23/04/2016	7	30-abr-16	15930	15770	203	97		EN LABORATORIO
2	DISEÑO	210	79	23/04/2016	7	30-abr-16	16550	16390	211	100	99	EN LABORATORIO
3	DISEÑO	210	79	23/04/2016	7	30-abr-16	16492	16332	210	100		EN LABORATORIO
4	DISEÑO	210	79	23/04/2016	14	07-may-16	18450	18290	235	112		EN LABORATORIO
5	DISEÑO	210	79	23/04/2016	14	07-may-16	20350	20190	259	123	119	EN LABORATORIO
6	DISEÑO	210	79	23/04/2016	14	07-may-16	19952	19792	254	121		EN LABORATORIO
7	DISEÑO	210	79	23/04/2016	21	14-may-16	24920	24760	317	151		EN LABORATORIO
8	DISEÑO	210	79	23/04/2016	21	14-may-16	21880	21720	279	133	143	EN LABORATORIO
9	DISEÑO	210	79	23/04/2016	21	14-may-16	23982	23822	305	145		EN LABORATORIO
10	DISEÑO	210	79	23/04/2016	28	21-may-16	25240	25080	321	153		EN LABORATORIO
11	DISEÑO	210	79	23/04/2016	28	21-may-16	27440	27280	349	166	161	EN LABORATORIO
12	DISEÑO	210	79	23/04/2016	28	21-may-16	26879	26719	342	163		EN LABORATORIO

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
210kg/cm2	99%	119%	143%	161%

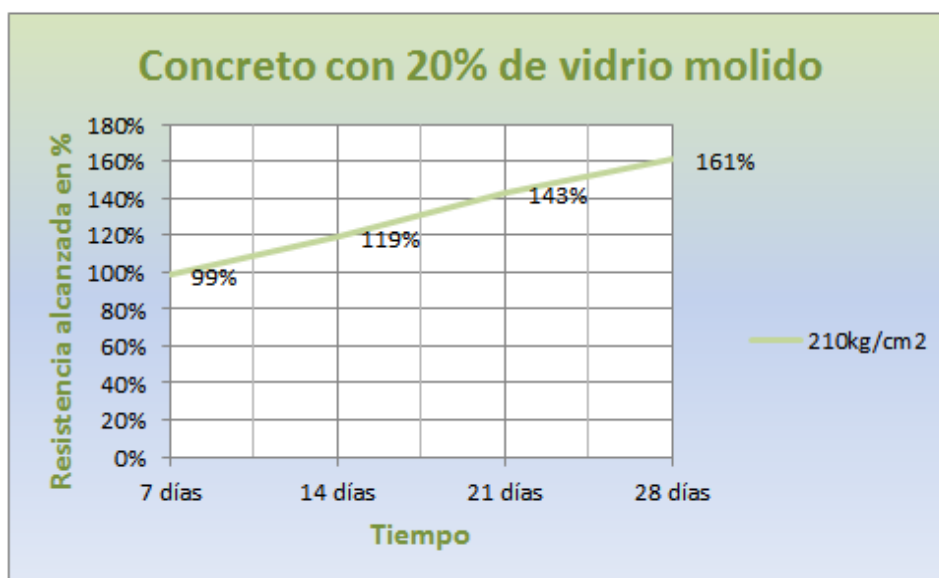


Figura 3.9 Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto con 20% de vidrio molido para $f'c=210\text{ kg/cm}^2$

Se puede observar que el concreto con 20% de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) para $f'c= 210\text{kg/cm}^2$ también aumentó su resistencia; observándose que a partir de los 14 días sobrepasa el 100%, igualando al concreto base y llegando hasta más de 160% en 28 días.

Tabla 3.6
 Concreto con 20% de vidrio molido para $f'c = 280\text{kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c. Kg/cm ²	AREA C.m ²	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA 23-may-16	CURADO EN AGUA
									Kg/cm ²	%			
1	DISEÑO	280	79	25/04/2016	7	02-may-16	22980	22820	293	104			EN LABORATORIO
2	DISEÑO	280	79	25/04/2016	7	02-may-16	18700	18540	238	85	96		EN LABORATORIO
3	DISEÑO	280	79	25/04/2016	7	02-may-16	21658	21498	276	98			EN LABORATORIO
4	DISEÑO	280	79	25/04/2016	14	09-may-16	25130	24970	320	114			EN LABORATORIO
5	DISEÑO	280	79	25/04/2016	14	09-may-16	26540	26380	338	121	118		EN LABORATORIO
6	DISEÑO	280	79	25/04/2016	14	09-may-16	25960	25800	331	118			EN LABORATORIO
7	DISEÑO	280	79	25/04/2016	21	16-may-16	27470	27310	350	125			EN LABORATORIO
8	DISEÑO	280	79	25/04/2016	21	16-may-16	28050	27890	357	128	127		EN LABORATORIO
9	DISEÑO	280	79	25/04/2016	21	16-may-16	27962	27802	356	127			EN LABORATORIO
10	DISEÑO	280	79	25/04/2016	28	23-may-16	30350	30190	386	138			EN LABORATORIO
11	DISEÑO	280	79	25/04/2016	28	23-may-16	29420	29260	375	134	136		EN LABORATORIO
12	DISEÑO	280	79	25/04/2016	28	23-may-16	29958	29798	381	136			EN LABORATORIO

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
280kg/cm ²	96%	118%	127%	136%

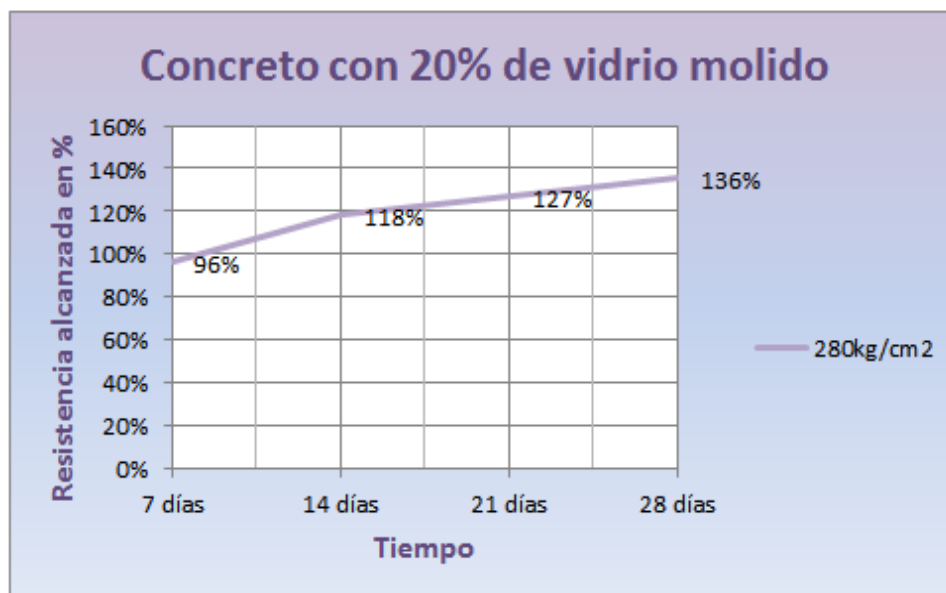


Figura 3.10 Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto con 20% de vidrio molido para $f'c=280\text{ kg/cm}^2$

El concreto con 20% de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) y $f'c= 280\text{kg/cm}^2$ alcanza la resistencia esperada a partir de los 14 días, llegando hasta un 118%, superando al concreto base que solo llegó hasta un 106%.

Tabla 3.7
 Concreto con 25% de vidrio molido para $f'c = 175\text{kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c. Kg/cm2.	AREA Cm2.	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		PROMEDIO	FECHA 24-may-16	CURADO EN AGUA
									Kg/cm2.	%			
1	DISEÑO	175	79	26/04/2016	7	03-may-16	16940	16780	216	123	111	EN LABORATORIO	
2	DISEÑO	175	79	26/04/2016	7	03-may-16	13270	13111	169	97		EN LABORATORIO	
3	DISEÑO	175	79	26/04/2016	7	03-may-16	15685	15525	200	114		EN LABORATORIO	
4	DISEÑO	175	79	26/04/2016	14	10-may-16	17380	17220	221	126		EN LABORATORIO	
5	DISEÑO	175	79	26/04/2016	14	10-may-16	18440	18280	235	134	130	EN LABORATORIO	
6	DISEÑO	175	79	26/04/2016	14	10-may-16	17962	17802	229	131		EN LABORATORIO	
7	DISEÑO	175	79	26/04/2016	21	17-may-16	21300	21140	271	155		EN LABORATORIO	
8	DISEÑO	175	79	26/04/2016	21	17-may-16	17690	17530	225	129	142	EN LABORATORIO	
9	DISEÑO	175	79	26/04/2016	21	17-may-16	19620	19460	250	143		EN LABORATORIO	
10	DISEÑO	175	79	26/04/2016	28	24-may-16	22840	22680	291	166		EN LABORATORIO	
11	DISEÑO	175	79	26/04/2016	28	24-may-16	24190	24030	308	176	172	EN LABORATORIO	
12	DISEÑO	175	79	26/04/2016	28	24-may-16	23940	23780	305	174		EN LABORATORIO	

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
175 kg/cm2	111%	130%	142%	172%

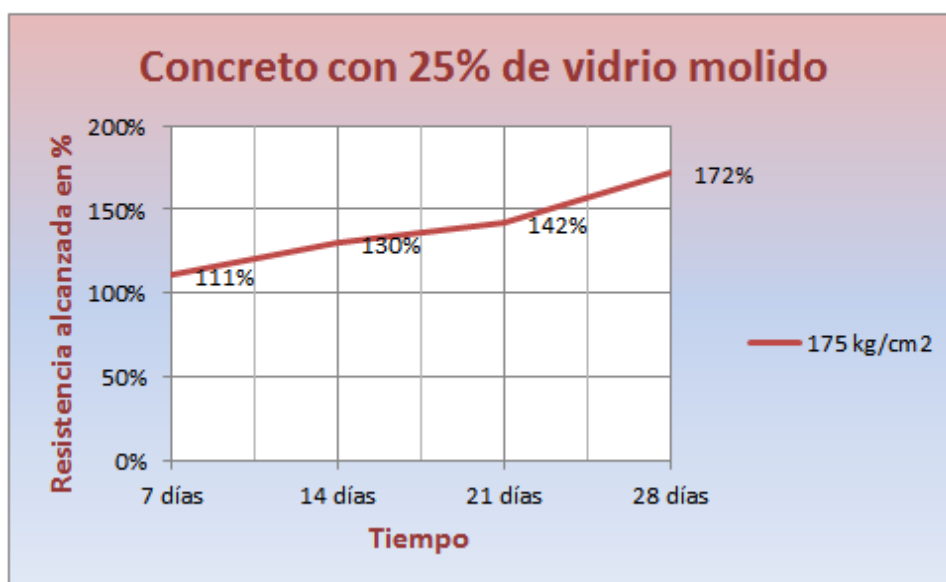


Figura 3.11 Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto con 25% de vidrio molido para $f'c=175\text{ kg/cm}^2$

Se puede observar en los resultados de los ensayos a compresión que para el concreto con 25% de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) y $f'c= 175\text{kg/cm}^2$; que a partir de los 7 días sobrepasa el 100%, superando al concreto base, que alcanzó la resistencia a los 14 días.

Tabla 3.8
Concreto con 25% de vidrio molido para $f_c = 210\text{kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c. Kg/cm ²	AREA Cm ²	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		CURADO EN AGUA
									Kg/cm ²	%	
1	DISEÑO	210	79	30/04/2016	7	07-may-16	18230	18070	232	111	28-may-16 EN LABORATORIO
2	DISEÑO	210	79	30/04/2016	7	07-may-16	17970	17810	229	109	
3	DISEÑO	210	79	30/04/2016	7	07-may-16	18120	17960	231	110	
4	DISEÑO	210	79	30/04/2016	14	14-may-16	19290	19130	246	117	
5	DISEÑO	210	79	30/04/2016	14	14-may-16	22370	22210	285	136	
6	DISEÑO	210	79	30/04/2016	14	14-may-16	21864	21704	278	133	
7	DISEÑO	210	79	30/04/2016	21	21-may-16	22760	22600	290	138	
8	DISEÑO	210	79	30/04/2016	21	21-may-16	24520	24360	312	149	
9	DISEÑO	210	79	30/04/2016	21	21-may-16	23950	23790	305	145	
10	DISEÑO	210	79	30/04/2016	28	28-may-16	27230	27070	347	165	
11	DISEÑO	210	79	30/04/2016	28	28-may-16	26910	26750	343	163	
12	DISEÑO	210	79	30/04/2016	28	28-may-16	27194	27034	346	165	

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
210kg/cm ²	110%	128%	144%	164%

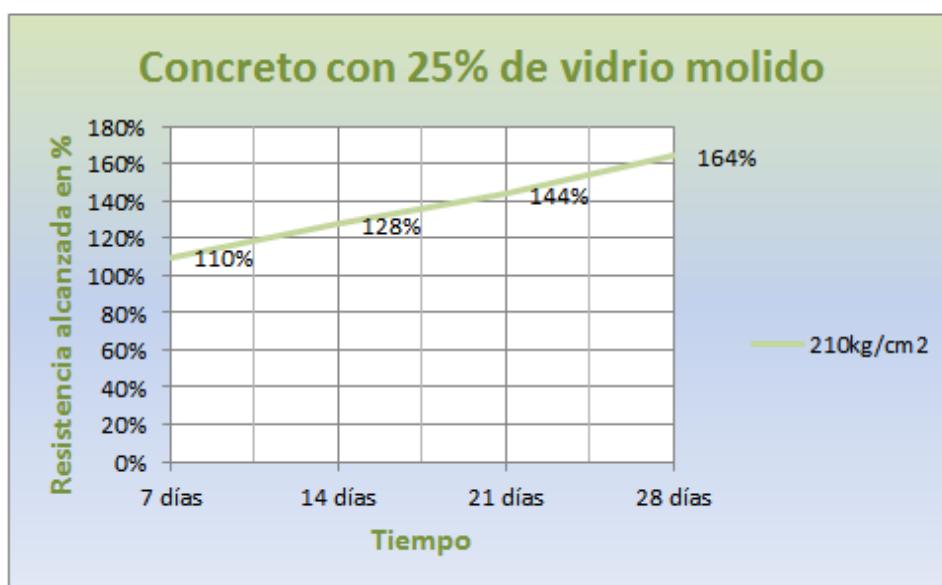


Figura 3.12 Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto con 25% de vidrio molido para $f_c=210\text{ kg/cm}^2$

Se puede observar en los resultados que para el concreto con 25% de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) y $f_c=210\text{kg/cm}^2$; cuanto mayor sea la edad mayor resistencia alcanzará; observándose que a partir de los 7 días sobrepasa el 100%, superando al concreto base y al concreto con 20% de vidrio molido, que alcanzaron la resistencia a los 14 días.

Tabla 3.9
Concreto con 30% de vidrio molido para $f'c = 210\text{kg/cm}^2$

N°	ESPECIMEN LUGAR	F'c. Kg/cm ²	AREA Cm ²	Fecha Moldeo	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA(Kg)	RESISTENCIA		FECHA 30-may-16	
									Kg/cm ²	%		PROMEDIO
1	DISEÑO	210	79	02/05/2016	7	09-may-16	18950	18790	241	115		EN LABORATORIO
2	DISEÑO	210	79	02/05/2016	7	09-may-16	17910	17750	228	109	112	EN LABORATORIO
3	DISEÑO	210	79	02/05/2016	7	09-may-16	18650	18490	237	113		EN LABORATORIO
4	DISEÑO	210	79	02/05/2016	14	16-may-16	20020	19860	255	121		EN LABORATORIO
5	DISEÑO	210	79	02/05/2016	14	16-may-16	23730	23570	302	144	135	EN LABORATORIO
6	DISEÑO	210	79	02/05/2016	14	16-may-16	22950	22790	292	139		EN LABORATORIO
7	DISEÑO	210	79	02/05/2016	21	23-may-16	26350	26190	335	160		EN LABORATORIO
8	DISEÑO	210	79	02/05/2016	21	23-may-16	25600	25440	326	155	157	EN LABORATORIO
9	DISEÑO	210	79	02/05/2016	21	23-may-16	25930	25770	330	157		EN LABORATORIO
10	DISEÑO	210	79	02/05/2016	28	30-may-16	27970	27810	356	170		EN LABORATORIO
11	DISEÑO	210	79	02/05/2016	28	30-may-16	26840	26680	342	163	166	EN LABORATORIO
12	DISEÑO	210	79	02/05/2016	28	30-may-16	27460	27300	350	166		EN LABORATORIO

Resistencia	7 días	14 días	21 días	28 días
210kg/cm ²	112%	135%	157%	166%

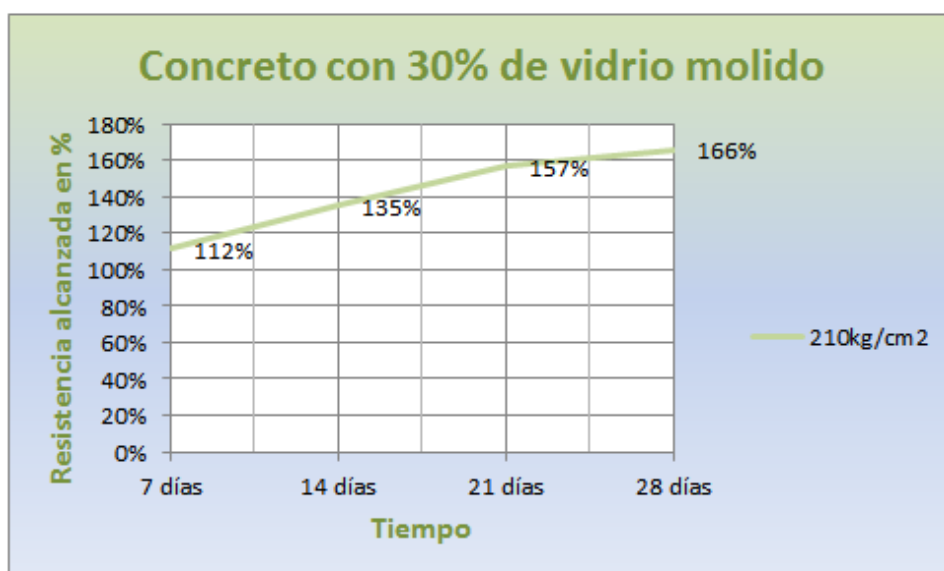


Figura 3.13 Resistencia alcanzada en porcentaje del concreto con 30% de vidrio molido para $f'c=210\text{ kg/cm}^2$

Se puede observar en los resultados de los ensayos a compresión que el concreto con 30% de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) y $f'c= 210\text{kg/cm}^2$; superó el 100% en la primera semana; superando al concreto base y al concreto con 20% de vidrio molido, que alcanzaron la resistencia a partir de los 14 días.

IV. CONCLUSIONES

- El reemplazo del agregado fino (arena gruesa) por vidrio molido provocó un aumento en la resistencia del concreto; debido a su elevada resistencia a la compresión, ya que el peso necesario para romper un cubo de vidrio de 1cm de lado es de 10000 kg/cm^2 , además que posee una dureza de 6 a 7 en la escala de Mohs.
- El concreto con 20% de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) para $f'c=175\text{kg/cm}^2$, $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ aumentó su resistencia a la compresión, superando al concreto base. Se puede observar que existe una tendencia, a un aumento en la resistencia del concreto, al incluir un 20% de vidrio molido, dicha tendencia va aumentando a medida que el porcentaje de vidrio molido aumenta hasta un 30%.
- El concreto con 25% de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) para $f'c=175\text{kg/cm}^2$ y $f'c=210\text{kg/cm}^2$ aumentó su resistencia a la compresión, superando al concreto base y al concreto con 20% de vidrio molido. Se observa que existe una tendencia, a un aumento en la resistencia del concreto, al incluir un 25% de vidrio molido, dicha tendencia va aumentando a medida que el porcentaje de vidrio molido aumenta hasta un 30%.

- El concreto con 30% de vidrio molido en reemplazo del agregado fino (arena gruesa) para $f'c=210\text{kg/cm}^2$ aumentó su resistencia a la compresión significativamente, superando al concreto base, al concreto con 20% de vidrio molido y al concreto con 25% de vidrio molido. Se puede observar que existe una tendencia, a un aumento en la resistencia del concreto, al incluir un 30% de vidrio molido.

V. RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar la influencia de las diversas impurezas presentes en el vidrio, a fin de comprobar que tan meticulosa debe ser la etapa de limpieza.
- Realizar una investigación usando un porcentaje del 50% de vidrio molido en remplazo del agregado fino (arena gruesa), para observar si el concreto sigue aumentando su resistencia a la compresión.
- Seguir todos los pasos correctamente desde los ensayos, hasta la rotura de los moldes, para garantizar los resultados.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Aparicio, A., & Rivera, G., & Rodríguez, M. (2009) Estudio exploratorio de diseño de mezclas de concreto de peso normal y mortero tipo M y S usando vidrio reciclado como agregado (Tesis de pregrado) Universidad de El Salvador. El Salvador.

Castillo, M. (2010). Investigación de la utilización del vidrio molido como material de construcción y técnicas constructivas. Lima.

Catalan, C. (2013). Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado H15, H20 y H30 (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile. Chile.

Manual de construcción para maestros de obra. Manual. (2010). Lima. Perú. Aceros Arequipa.

Manual de la construcción. (2010) Manual. Lima. Perú. ICG.

Manual de construcción. (2013) Manual. Lima. UNACEM.

Rivera, G. (2002) Concreto simple. Bogotá. López.

Rivva, E. (2000) Naturaleza y materiales del concreto. Lima. Gómez.

Rivva, E. (1992) Tecnología del concreto - Diseño de mezclas. Lima. Hozlo.

Citas electrónicas:

<http://www.google scholar.com.pe>

<http://www.elconcreto.com.pe>

ANEXOS

- 1.** Pruebas de laboratorio de mecánica de suelos
- 2.** Normas técnicas
- 3.** Panel fotográfico

1. Pruebas de laboratorio de mecánica de suelos

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO-ASTM C - 33-83

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA

CANTERA : CHILLICO

MATERIAL : ARENA GRUESA + 20 % VIDRIO MOLIDO

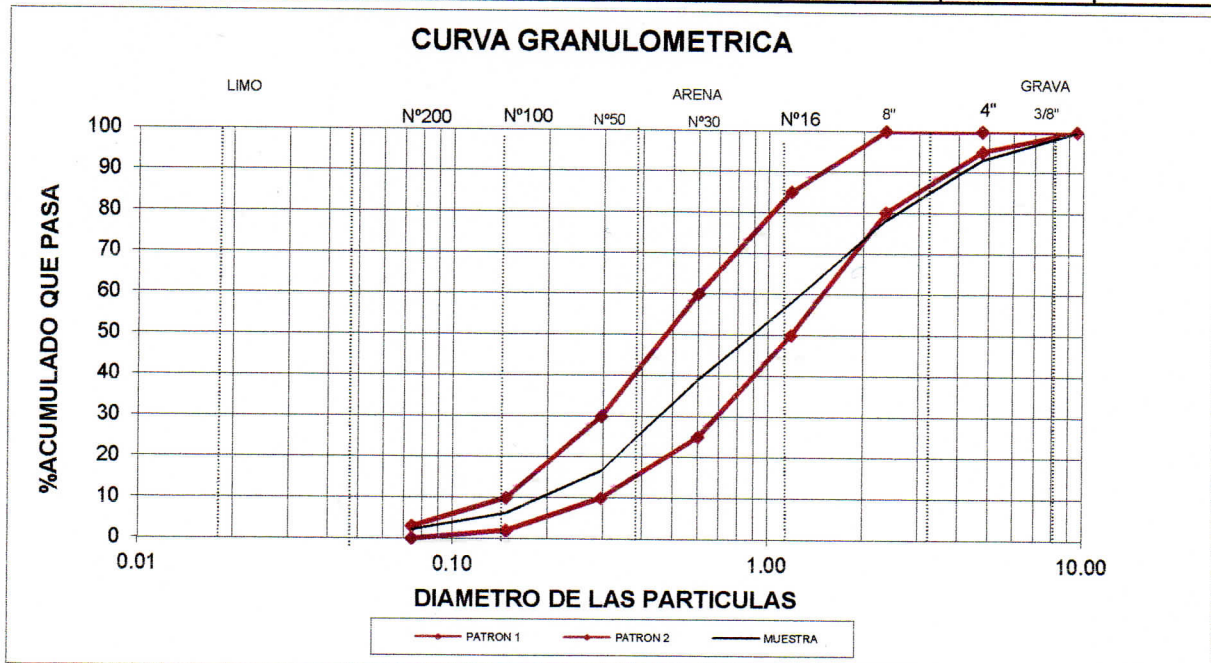
PESO INICIAL SECO (gr) : 19661.6

Fecha : 18/04/2016

PESO LAVADO SECADO (gr) : 19208.7

Modulo Finura : 3.09

MALLA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
		(gr)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM C-33	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1-1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.50	12.00	0.06	0.06	99.94	100	100
Nº4	4.75	1342.00	6.83	6.89	93.11	95	100
Nº8	2.34	2939.70	14.95	21.84	78.16	80	100
Nº16	1.18	3976.58	20.23	42.06	57.94	50	85
Nº30	0.60	3711.66	18.88	60.94	39.06	25	60
Nº50	0.30	4401.01	22.38	83.32	16.68	10	30
Nº100	0.15	2031.02	10.33	93.65	6.35	2	10
Nº200	0.07	794.75	4.04	97.70	2.30	0	3
FONDO		25.64	0.13	97.83	2.17	0	0
LAVADO		427.28	2.17	100.00	0.00		



PROPIEDADES FISICAS

CONTENIDO DE HUMEDAD	1.67	%
PESO UNITARIO SUELTO	1637.64	Kg/m3
PESO UNITARIO VARILLADO	1853.49	Kg/m3
MODULO DE FINURA	3.087	%
PESO ESPECIFICO	2.613	gr/cm3,
% de ABSORCION	1.399	%

HHC

 Ing. Ricardo A. Huallanca De La Cruz
 JEFE DE LABORATORIO SUELO Y CONCRETO

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO
COMITÉ 211 DEL ACI**

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA
CANtera : CHILLICO
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA Y ARENA
CEMENTO : PORTLAN TIPO I " ANDINO"

DISEÑO : PRINCIPAL (TEORICO)

Agua : AGUA POTABLE

Aditivo : Sin aditivo

FECHA : 15/03/2016

F'c = 175 Kg/Cm2. F'Cr = 245 Kg/cm2 S = 70

MATERIAL	CEMENTO	ARENA	PIEDRA
Peso específico	3.15	2.53	2.56
PUSS	1500	1674.50	1447.81
PUCS		1903.05	1572.80
% Humedad		1.67	2.09
% Absorción		2.54	1.67
Modulo de Fineza		3.17	8.69

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	1,1/2 "
SLUMP	3" - 4"
W/C	0.65
VOLUMEN UNITARIO AGUA (TABLA 10,2, 1)	185
VOLUMEN ABSOLUTO AGREGADO GRUESO (Tabla 16,2,2).	0.680
% AIRE.	1

FACTOR CEMENTO

CEMENTO 284.62 Kg/m3.
6.7 Bols/m3.

VOLUMEN ABSOLUTO

CEMENTO 0.090
AGUA 0.185
AIRE 0.010
GRAVA 0.419
ARENA 0.296

1.00

MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO

175 Kg/cm2.

CEMENTO 285 Kg/m3
AGUA 185 Kg/m3
GRAVA 1070 Kg/m3
ARENA 750 Kg/m3
TOTAL = 2289 Kg/m3

MATERIALES CORREGIDOS POR METRO CUBICO DE CONCRETO

VOLUM. APARENT. MATER.

CEMENTO 285 Kg/m3 23.54 ft3.
AGUA EFECTIVA 187 Lt/m3 27.93 Lt/saco.
GRAVA 1092 Kg/m3 91.66 ft3.
ARENA 762 Kg/m3 55.55 ft3.

TOTAL = 2326

PROPORCION EN PESO

CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA
1	2.7	3.8	0.66

PROPORCION EN VOLUMEN

1	2.4	3.9	1.19
---	-----	-----	------

PROPORCION POR BOLSAS DE CEMENTO

CEMENTO 42.5 Kg/saco
AGUA 27.9 Lts/saco
GRAVA 163.0 Kg/saco
ARENA 113.8 Kg/saco

HHC
Ing. Sandra A. Huallanca De La Cruz
LABORATORIO SUELO Y CONCRETO

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO
COMITÉ 211 DEL ACI**

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA

CANTERA : CHILLICO

MATERIAL : PIEDRA CHANCADA Y (ARENA GRUESA + 30% VIDRIO MOLIDO)

CEMENTO : PORTLAN TIPO I " ANDINO"

DISEÑO : PRINCIPAL (TEORICO)

Agua : AGUA POTABLE

Aditivo : Sin aditivo

FECHA : 22/03/2016

F'c = 175 Kg/Cm2.

F'Cr = 245 Kg/cm2

S = 70

MATERIAL	CEMENTO	ARENA + 30%VM	PIEDRA
Peso específico	3.15	2.62	2.56
PUSS	1500	1674.50	1447.81
PUCS		1903.05	1572.80
% Humedad		1.67	2.09
% Absorción		1.32	1.67
Modulo de Fineza		3.20	8.69

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	1,1/2 "
SLUMP	3" - 4"
W/C	0.65
VOLUMEN UNITARIO AGUA (TABLA 10,2, 1)	185
VOLUMEN ABSOLUTO AGREGADO GRUESO (Tabla 16,2,2).	0.680
% AIRE.	1

FACTOR CEMENTO
CEMENTO 284.62 Kg/m3.
6.7 Bols/m3.

VOLUMEN ABSOLUTO

CEMENTO	0.090
AGUA	0.185
AIRE	0.010
GRAVA	0.419
ARENA + 30% VIDRIO MOLIDO	0.296
TOTAL	1.00

MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO 175 Kg/cm2.

CEMENTO	285	Kg/m3
AGUA	185	Kg/m3
GRAVA	1070	Kg/m3
ARENA + 30% VIDRIO MOLIDO	775	Kg/m3
TOTAL =	2314	Kg/m3

MATERIALES CORREGIDOS POR METRO CUBICO DE CONCRETO

			VOLUM.APARENT.MATER.	
CEMENTO	285	Kg/m3	23.54	ft3.
AGUA EFECTIVA	178	Lt/m3	26.55	Lt/saco.
GRAVA	1092	Kg/m3	91.66	ft3.
ARENA + 30% VIDRIO MOLIDO	788	Kg/m3	57.42	ft3.
TOTAL =	2342			

PROPORCION EN PESO

CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA
1	2.8	3.8	0.62

PROPORCION EN VOLUMEN

1	2.4	3.9	1.13
---	-----	-----	------

PROPORCION POR BOLSAS DE CEMENTO

CEMENTO	42.5	Kg/saco
AGUA	26.5	Lts/saco
GRAVA	163.0	Kg/saco
ARENA + 30% VIDRIO MOLIDO	117.6	Kg/saco


 Ing. Helando A. Huallanca De La Cruz
 JEFE DE LABORATORIO SUELO Y CONCRETO
 CIP 09407

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO-ASTM C - 33-83

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA

CANTERA : CHILLICO

MATERIAL : ARENA GRUESA + 25 % VIDRIO MOLIDO

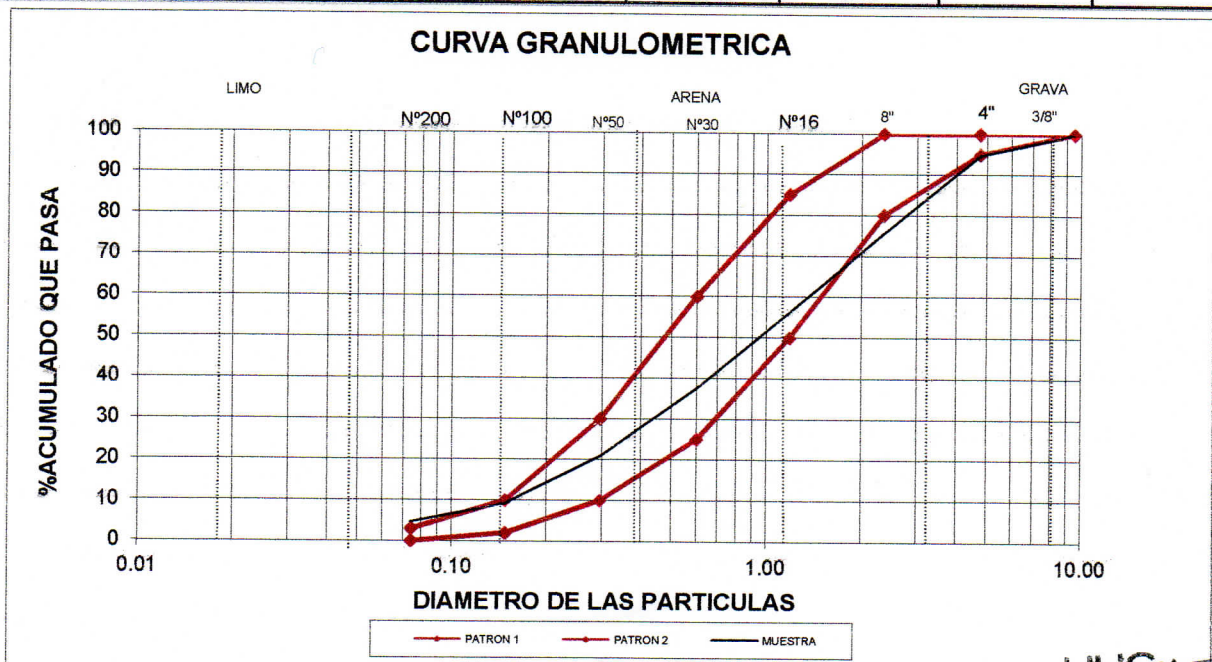
PESO INICIAL SECO (gr) : 19879.8

Fecha : 20/04/2016

PESO LAVADO SECADO (gr) : 18935.2

Modulo Finura : 3.06

MALLA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
		(gr)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM C-33	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1-1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.50	12.00	0.06	0.06	99.94	100	100
Nº4	4.75	1022.00	5.14	5.20	94.80	95	100
Nº8	2.34	3825.66	19.24	24.45	75.55	80	100
Nº16	1.18	3841.35	19.32	43.77	56.23	50	85
Nº30	0.60	3722.09	18.72	62.49	37.51	25	60
Nº50	0.30	3295.28	16.58	79.07	20.93	10	30
Nº100	0.15	2309.83	11.62	90.69	9.31	2	10
Nº200	0.07	906.99	4.56	95.25	4.75	0	3
FONDO LAVADO		97.29	0.49	95.74	4.26	0	0
		847.36	4.26	100.00	0.00		



PROPIEDADES FISICAS

CONTENIDO DE HUMEDAD	1.67	%
PESO UNITARIO SUELTO	1674.50	Kg/m ³
PESO UNITARIO VARILLADO	1903.05	Kg/m ³
MODULO DE FINURA	3.057	%
PESO ESPECIFICO	2.615	gr/cm ³
% de ABSORCION	1.440	%

HHC
 Ing. Rolando A. Irujo de La Cruz
 JEFE DE LABORATORIO SUELO Y CONCRETO
 CIP 63457

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO-ASTM C - 33-83

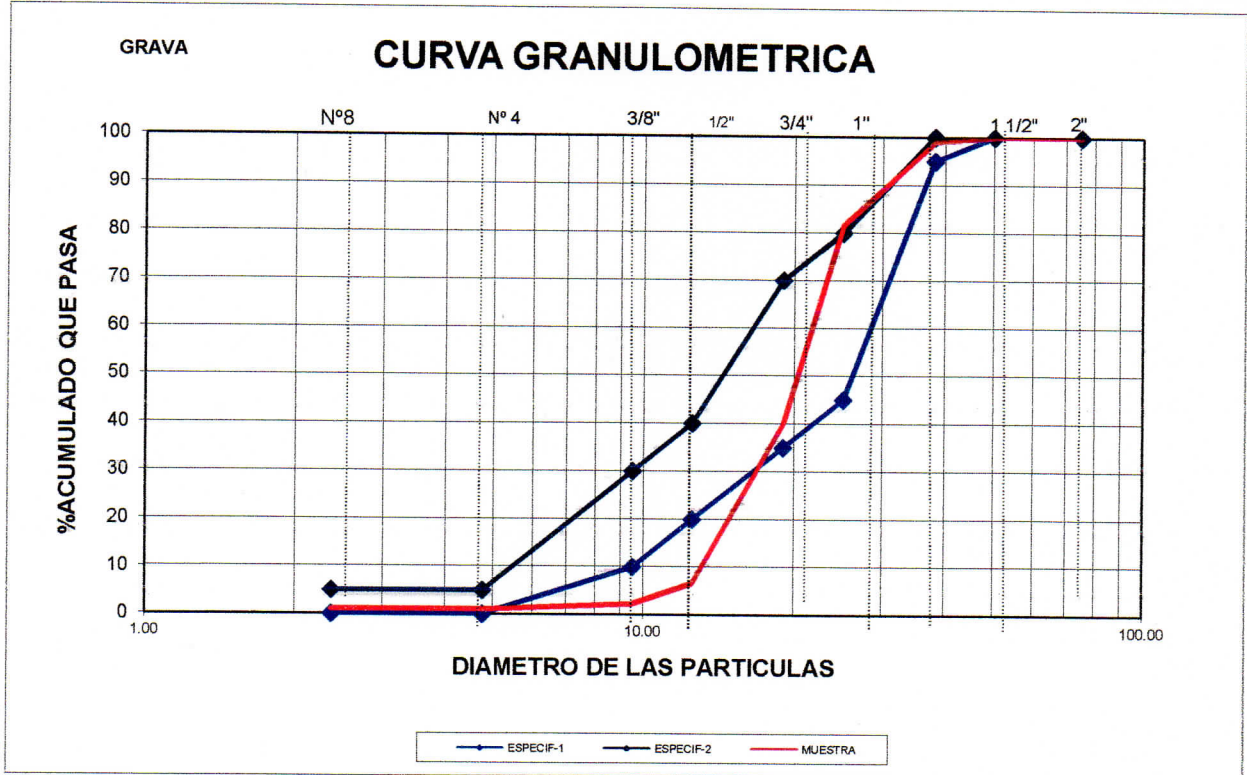
PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA
 CANTERA : CHILLICO
 MATERIAL : PIEDRA CHANCADA (1/2" a N°4).

PESO INICIAL SECO (gr) : 24640.26
 PESO LAVADO SECADO (gr) : 24592.00

Fecha : 15/03/2016
 Modulo de Fineza : 8.69

MALLA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
		(gr)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM C-33 HUSO 7	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1-1/2"	38.10	252.00	1.02	1.02	98.98	95	100
1"	25.00	4308.00	17.48	18.51	81.49	45	80
3/4"	19.00	10238.00	41.55	60.06	39.94	35	70
1/2"	12.50	8224.00	33.38	93.43	6.57	20	40
3/8"	9.50	1078.00	4.37	97.81	2.19	10	30
N°4	4.75	286.00	1.16	98.97	1.03	0	5
N°8	2.36	20.00	0.08	99.05	0.95	0	5
FONDO	0.00	186.00	0.75	99.80	0.20	0	0
LAVADO	0.00	48.26	0.20	100.00	0.00		



PROPIEDADES FISICAS

% CONTENIDO DE HUMEDAD	2.09	%
PESO UNITARIO SUELTO	1448	Kg/m ³
PESO UNITARIO VARILLADO	1573	Kg/m ³
PESO ESPECÍFICO	2.555	gr/cm ³ ,
% DE ABSORCION	1.67	%
MODULO DE FINEZA	8.69	%

HHCa

Ing. Orlando A. Huallanca De La Cruz
 JEFE DE LABORATORIO SUELO Y CONCRETO
 CIP 87367

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO-ASTM C - 33-83

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA

CANTERA : CHILLICO

MATERIAL : ARENA GRUESA + 30 % VIDRIO MOLIDO

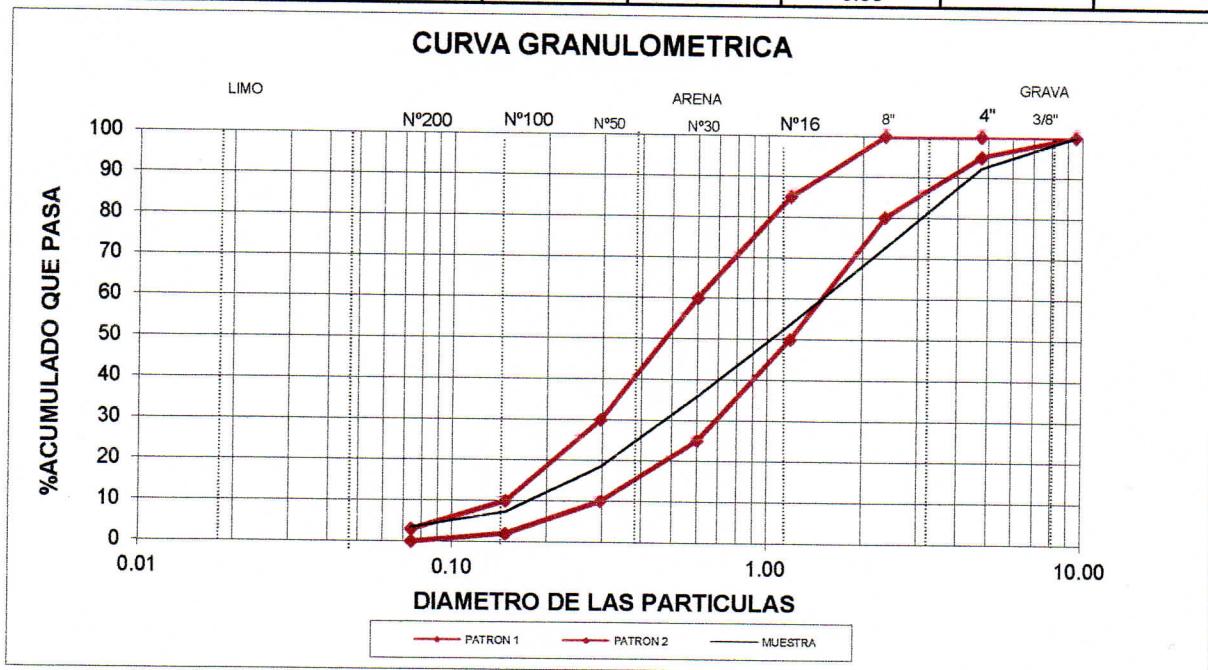
PESO INICIAL SECO (gr) 19720.2

Fecha : 22/03/2016

PESO LAVADO SECADO (gr) 19015.7

Modulo Finura : 3.20

MALLA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
		(gr)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM C-33	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1-1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.50	10.00	0.05	0.05	99.95	100	100
Nº4	4.75	1504.00	7.63	7.68	92.32	95	100
Nº8	2.34	3912.33	19.84	27.52	72.48	80	100
Nº16	1.18	3698.47	18.75	46.27	53.73	50	85
Nº30	0.60	3516.07	17.83	64.10	35.90	25	60
Nº50	0.30	3412.28	17.30	81.40	18.60	10	30
Nº100	0.15	2232.92	11.32	92.73	7.27	2	10
Nº200	0.07	729.63	3.70	96.43	3.57	0	3
FONDO		25.16	0.13	96.56	3.44	0	0
LAVADO		679.31	3.44	100.00	0.00		



PROPIEDADES FISICAS

CONTENIDO DE HUMEDAD	1.67	%
PESO UNITARIO SUELTO	1674.50	Kg/m ³
PESO UNITARIO VARILLADO	1903.05	Kg/m ³
MODULO DE FINURA	3.197	%
PESO ESPECIFICO	2.617	gr/cm ³ ,
% de ABSORCION	1.317	%

HHC

Ing. Rolando A. Huallanca De La Cruz
JEFE DE LABORATORIO SUELO Y CONCRETO
CIP 63467

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO-ASTM C - 33-83

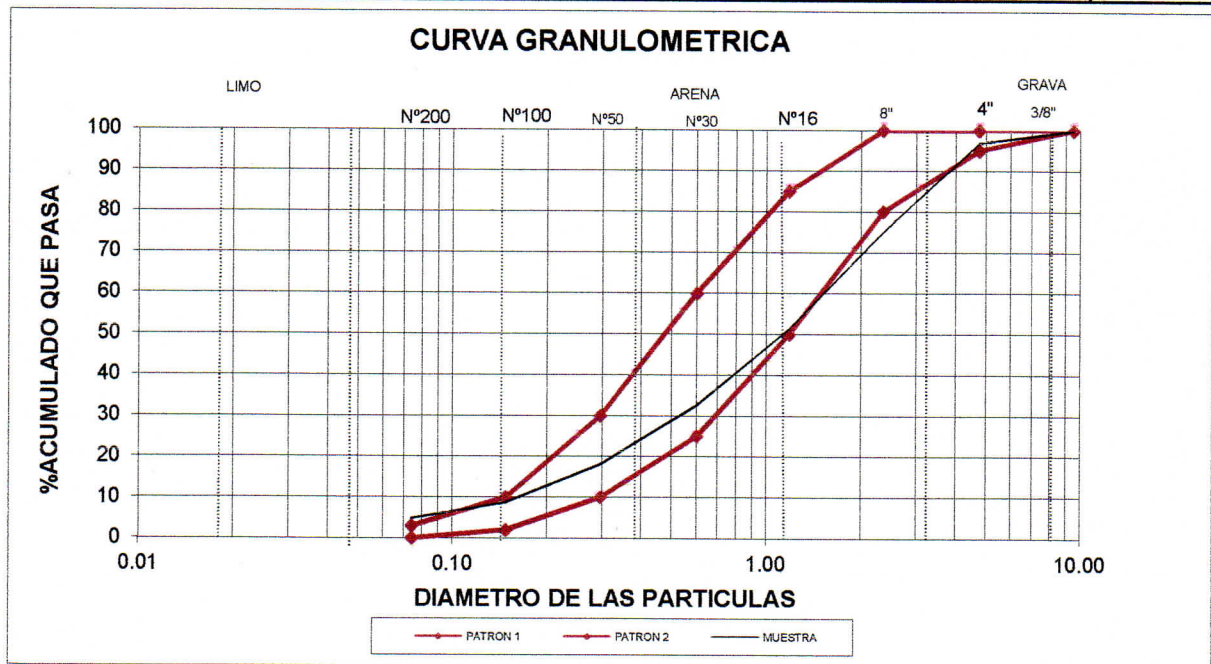
PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA
CANtera : CHILLICO
MATERIAL : ARENA GRUESA

PESO INICIAL SECO (gr) : 31962.5
 PESO LAVADO SECADO (gr) : 30407.5

Fecha : 15/03/2016
 Modulo Finura : 3.17

MALLA	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
		(gr)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM C-33	
3"	75.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1-1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.50	16.00	0.05	0.05	99.95	100	100
Nº4	4.75	994.00	3.11	3.16	96.84	95	100
Nº8	2.34	6987.69	21.86	25.02	74.98	80	100
Nº16	1.18	7548.68	23.62	48.64	51.36	50	85
Nº30	0.60	5978.91	18.71	67.35	32.65	25	60
Nº50	0.30	4625.66	14.47	81.82	18.18	10	30
Nº100	0.15	3021.44	9.45	91.27	8.73	2	10
Nº200	0.07	1235.15	3.86	95.13	4.87	0	3
FONDO LAVADO		172.23	0.54	95.67	4.33	0	0
		1382.78	4.33	100.00	0.00		



PROPIEDADES FISICAS

CONTENIDO DE HUMEDAD	1.67	%
PESO UNITARIO SUELTO	1674.50	Kg/m3
PESO UNITARIO VARILLADO	1903.05	Kg/m3
MODULO DE FINURA	3.173	%
PESO ESPECIFICO	2.532	gr/cm3,
% de ABSORCION	2.543	%


 Ing. Rolando A. Huallanca De La Cruz
 JEFE DE LABORATORIO SUELO Y CEMENTO
 D.P. 63467

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO
COMITÉ 211 DEL ACI**

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA

CANTERA : CHILLICO

MATERIAL : PIEDRA CHANCADA Y ARENA

CEMENTO : PORTLAN TIPO I " ANDINO"

DISEÑO : PRINCIPAL (TEORICO)

Agua : AGUA POTABLE

Aditivo : Sin aditivo

FECHA : 15/03/2016

F'c = 210 Kg/Cm2. F'Cr = 280 Kg/cm2 S = 70

MATERIAL	CEMENTO	ARENA	PIEDRA
Peso específico	3.15	2.53	2.56
PUSS	1500	1674.50	1447.81
PUCS		1903.05	1572.80
% Humedad		1.67	2.09
% Absorción		2.54	1.67
Modulo de Fineza		3.17	8.69

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	1,1/2 "
SLUMP	3" - 4"
W/C	0.56
VOLUMEN UNITARIO AGUA (TABLA 10,2, 1)	185
VOLUMEN ABSOLUTO AGREGADO GRUESO (Tabla 16,2,2).	0.680
% AIRE.	1

FACTOR CEMENTO
CEMENTO 330.36 Kg/m3.
7.8 Bols/m3.

VOLUMEN ABSOLUTO

CEMENTO 0.105
AGUA 0.185
AIRE 0.010
GRAVA 0.419
ARENA 0.282

1.00

MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO 210 Kg/cm2.

CEMENTO 330 Kg/m3
AGUA 185 Kg/m3
GRAVA 1070 Kg/m3
ARENA 713 Kg/m3

TOTAL = 2298 Kg/m3

MATERIALES CORREGIDOS POR METRO CUBICO DE CONCRETO

CEMENTO 330 Kg/m3
AGUA EFECTIVA 187 Lt/m3
GRAVA 1092 Kg/m3
ARENA 725 Kg/m3

TOTAL = 2334

VOLUM. APARENT. MATER.

CEMENTO 23.54 ft3.
AGUA EFECTIVA 24.02 Lt/saco.
GRAVA 78.97 ft3.
ARENA 45.51 ft3.

PROPORCION EN PESO

CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA
1	2.2	3.3	0.57

PROPORCION EN VOLUMEN

1	1.9	3.4	1.02
---	-----	-----	------

PROPORCION POR BOLSAS DE CEMENTO

CEMENTO 42.5 Kg/saco
AGUA 24.0 Lts/saco
GRAVA 140.5 Kg/saco
ARENA 93.3 Kg/saco

HHC
Ing. Rolando A. Huallanca De La Cruz
JEFE DE LABORATORIO SUELO Y CONCRETO
CIP 83497

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO
COMITÉ 211 DEL ACI**

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA

CANTERA : CHILLICO

MATERIAL : PIEDRA CHANCADA Y (ARENA GRUESA + 20% VIDRIO MOLIDO)

CEMENTO : PORTLAN TIPO I " ANDINO"

DISEÑO : PRINCIPAL (TEORICO)

Agua : AGUA POTABLE

Aditivo : Sin aditivo

FECHA : 18/04/2016

F'c = 175 Kg/Cm2. F'Cr = 245 Kg/cm2 S = 70

MATERIAL	CEMENTO	ARENA+20%VM	PIEDRA
Peso específico	3.15	2.61	2.56
PUS	1500	1637.64	1447.81
PUCS		1853.49	1572.80
% Humedad		1.67	2.09
% Absorción		1.40	1.67
Modulo de Fineza		3.09	8.69

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	1, 1/2 "
SLUMP	3" - 4"
W/C	0.65
VOLUMEN UNITARIO AGUA (TABLA 10,2, 1)	185
VOLUMEN ABSOLUTO AGREGADO GRUESO (Tabla 16,2,2).	0.680
% AIRE.	1

FACTOR CEMENTO
CEMENTO 284.62 Kg/m3.
6.7 Bols/m3.

VOLUMEN ABSOLUTO

CEMENTO 0.090
AGUA 0.185
AIRE 0.010
GRAVA 0.419
ARENA + 20% VIDRIO MOLIDO 0.296

1.00

MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO

175 Kg/cm2.

CEMENTO 285 Kg/m3
AGUA 185 Kg/m3
GRAVA 1070 Kg/m3
ARENA + 20% VIDRIO MOLIDO 774 Kg/m3

TOTAL = 2313 Kg/m3

MATERIALES CORREGIDOS POR METRO CUBICO DE CONCRETO

CEMENTO 285 Kg/m3
AGUA EFECTIVA 178 Lt/m3
GRAVA 1092 Kg/m3
ARENA + 20% VIDRIO MOLIDO 787 Kg/m3

TOTAL = 2342

VOLUM.APARENT.MATER.
23.54 ft3.
26.64 Lt/saco.
91.66 ft3.
58.63 ft3.

PROPORCION EN PESO

CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA
1	2.8	3.8	0.63

PROPORCION EN VOLUMEN

1	2.5	3.9	1.13
---	-----	-----	------

PROPORCION POR BOLSAS DE CEMENTO

CEMENTO 42.5 Kg/saco
AGUA 26.6 Lts/saco
GRAVA 163.0 Kg/saco
ARENA + 20% VIDRIO MOLIDO 117.5 Kg/saco

HHC
Ing. Fernando A. Huallanca De La Cruz
JEFE DE LABORATORIO SUELO Y CONCRETO
03497

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO
COMITÉ 211 DEL ACI**

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEÓN JUICA

CANTERA : CHILLICO

MATERIAL : PIEDRA CHANCADA Y (ARENA GRUESA + 20% VIDRIO MOLIDO)

CEMENTO : PORTLAN TIPO I " ANDINO"

DISEÑO : PRINCIPAL (TEORICO)

Agua : AGUA POTABLE

Aditivo : Sin aditivo

FECHA : 18/04/2016

$F'c = 210$ Kg/Cm2. $F'Cr = 280$ Kg/cm2 $S = 70$

MATERIAL	CEMENTO	ARENA+20%VM	PIEDRA
Peso específico	3.15	2.61	2.56
PUSS	1500	1637.64	1447.81
PUCS		1853.49	1572.80
% Humedad		1.67	2.09
% Absorción		1.40	1.67
Modulo de Fineza		3.09	8.69

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	1, 1/2 "
SLUMP	3" - 4"
W/C	0.56
VOLUMEN UNITARIO AGUA (TABLA 10,2, 1)	185
VOLUMEN ABSOLUTO AGREGADO GRUESO (Tabla 16,2,2).	0.680
% AIRE.	1

FACTOR CEMENTO
CEMENTO 330.36 Kg/m3.
7.8 Bols/m3.

VOLUMEN ABSOLUTO

CEMENTO 0.105
AGUA 0.185
AIRE 0.010
GRAVA 0.419
ARENA 0.282

1.00

MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO

210 Kg/cm2.

CEMENTO 330 Kg/m3
AGUA 185 Kg/m3
GRAVA 1070 Kg/m3
ARENA 736 Kg/m3

TOTAL = 2321 Kg/m3

MATERIALES CORREGIDOS POR METRO CUBICO DE CONCRETO

CEMENTO 330 Kg/m3
AGUA EFECTIVA 179 Lt/m3
GRAVA 1092 Kg/m3
ARENA 748 Kg/m3

TOTAL = 2349

VOLUM.APARENT.MATER.
23.54 ft3.
22.97 Lt/saco.
78.97 ft3.
48.04 ft3.

PROPORCION EN PESO

CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA
1	2.3	3.3	0.54

PROPORCION EN VOLUMEN

1	2.0	3.4	0.98
---	-----	-----	------

PROPORCION POR BOLSAS DE CEMENTO

CEMENTO 42.5 Kg/saco
AGUA 23.0 Lts/saco
GRAVA 140.5 Kg/saco
ARENA 96.3 Kg/saco

HHC

Ing. *[Firma]* Huallanca De La Cruz
LABORATORIO SUELO Y CONCRETO

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO
COMITÉ 211 DEL ACI**

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA

CANTERA : CHILLICO

MATERIAL : PIEDRA CHANCADA Y (ARENA GRUESA + 30% VIDRIO MOLIDO)

CEMENTO : PORTLAN TIPO I " ANDINO"

DISEÑO : PRINCIPAL (TEORICO)

Agua : AGUA POTABLE

Aditivo : Sin aditivo

FECHA : 22/03/2016

F'c = 210 Kg/Cm2. F'Cr = 280 Kg/cm2 S = 70

MATERIAL	CEMENTO	ARENA + 30%VM	PIEDRA
Peso específico	3.15	2.62	2.56
PUSS	1500	1674.50	1447.81
PUCS		1903.05	1572.80
% Humedad		1.67	2.09
% Absorción		1.32	1.67
Modulo de Fineza		3.20	8.69

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	1, 1/2 "
SLUMP	3" - 4"
W/C	0.56
VOLUMEN UNITARIO AGUA (TABLA 10,2, 1)	185
VOLUMEN ABSOLUTO AGREGADO GRUESO (Tabla 16,2,2).	0.680
% AIRE.	1

FACTOR CEMENTO
CEMENTO 330.36 Kg/m3.
7.8 Bols/m3.

VOLUMEN ABSOLUTO

CEMENTO	0.105
AGUA	0.185
AIRE	0.010
GRAVA	0.419
ARENA + 30% VIDRIO MOLIDO	0.282
TOTAL	1.00

MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO 210 Kg/cm2.

CEMENTO	330	Kg/m3
AGUA	185	Kg/m3
GRAVA	1070	Kg/m3
ARENA + 30% VIDRIO MOLIDO	737	Kg/m3
TOTAL =	2322	Kg/m3

MATERIALES CORREGIDOS POR METRO CUBICO DE CONCRETO

			VOLUM.APARENT.MATER.	
CEMENTO	330	Kg/m3	23.54	ft3.
AGUA EFECTIVA	178	Lt/m3	22.89	Lt/saco.
GRAVA	1092	Kg/m3	78.97	ft3.
ARENA + 30% VIDRIO MOLIDO	749	Kg/m3	47.04	ft3.
TOTAL =	2349			

PROPORCION EN PESO

CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA
1	2.3	3.3	0.54

PROPORCION EN VOLUMEN

1	2.0	3.4	0.97
---	-----	-----	------

PROPORCION POR BOLSAS DE CEMENTO

CEMENTO	42.5	Kg/saco
AGUA	22.9	Lts/saco
GRAVA	140.5	Kg/saco
ARENA + 30% VIDRIO MOLIDO	96.4	Kg/saco

HHC
Ingeniero A. Huallanca De La Cruz
JEFE DE LABORATORIO SUELO Y CONCRETO

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO AGREGADO FINO
ASTM C 128**

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA

CANTERA : CHILLICO

MATERIAL : ARENA GRUESA + 30% VIDRIO MOLIDO

FECHA DE ENSAYO : 22/03/2016

Nº DE ENSAYOS	1	2		
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO		
Fecha de Ensayo.	15/03/2016	15/03/2016		
Wmuestra SSS (S).	500	500		
WFiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.0	660		
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.0	1160		
WmuestSSS+Fiola+Agua a (C).	971.4	971.4		
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	493.5	493.5		
Vmuest. + Aire	188.6	188.6		
Vaire	6.5	6.5		
V. masa	182.1	182.1		
P.E.masa	2.617	2.617		
P.E.sss	2.651	2.651		
P.E.aparente	2.710	2.710		
% Absorción	1.317	1.317		
	PROMEDIO ESPECÍFICO =		2.617	
	PROMEDIO ABSORCION =		1.317	

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.


HHC
 Ing. Roberto A. Huallanca De La Cruz
 JEFE DE LABORATORIO SUELO Y CONCRETO
 CIP: 63497

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO COMITÉ 211 DEL ACI

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA

CANTERA : CHILLICO

MATERIAL : PIEDRA CHANCADA Y (ARENA GRUESA + 30% VIDRIO MOLIDO)

CEMENTO : PORTLAN TIPO I " ANDINO"

DISEÑO : PRINCIPAL (TEORICO)

Agua : AGUA POTABLE

Aditivo : Sin aditivo

FECHA : 22/03/2016

F'c = 280 Kg/Cm2. F'Cr = 350 Kg/cm2 S = 70

MATERIAL	CEMENTO	ARENA + 30%VM	PIEDRA
Peso específico	3.15	2.62	2.56
PUSS	1500	1674.50	1447.81
PUCS		1903.05	1572.80
% Humedad		1.67	2.09
% Absorción		1.32	1.67
Modulo de Fineza		3.20	8.69

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	1,1/2 "
SLUMP	3" - 4"
W/C	0.48
VOLUMEN UNITARIO AGUA (TABLA 10,2, 1)	185
VOLUMEN ABSOLUTO AGREGADO GRUESO (Tabla 16,2,2).	0.680
% AIRE.	1

FACTOR CEMENTO
CEMENTO 385.42 Kg/m3.
9.1 Bols/m3.

VOLUMEN ABSOLUTO

CEMENTO 0.122
AGUA 0.185
AIRE 0.010
GRAVA 0.419
ARENA + 30% VIDRIO MOLIDO 0.264

1.00

MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO 280 Kg/cm2.

CEMENTO 385 Kg/m3
AGUA 185 Kg/m3
GRAVA 1070 Kg/m3
ARENA + 30% VIDRIO MOLIDO 691 Kg/m3

TOTAL = 2331 Kg/m3

MATERIALES CORREGIDOS POR METRO CUBICO DE CONCRETO

			VOLUM.APARENT.MATER.	
CEMENTO	385	Kg/m3	23.54	ft3.
AGUA EFECTIVA	178	Lt/m3	19.64	Lt/saco.
GRAVA	1092	Kg/m3	67.69	ft3.
ARENA + 30% VIDRIO MOLIDO	703	Kg/m3	37.82	ft3.

TOTAL = 2358

PROPORCION EN PESO

CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA
1	1.8	2.8	0.46

PROPORCION EN VOLUMEN

1	1.6	2.9	0.83
---	-----	-----	------

PROPORCION POR BOLSAS DE CEMENTO

CEMENTO 42.5 Kg/saco
AGUA 19.6 Lts/saco
GRAVA 120.4 Kg/saco
ARENA + 30% VIDRIO MOLIDO 77.5 Kg/saco

HHC

Ing. Rolando A. Huallanca De La Cruz
LABORATORIO SUELO Y CONCRETO
CIP: 63497

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO
COMITÉ 211 DEL ACI**

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA
CANTERA : CHILLICO
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA Y ARENA
CEMENTO : PORTLAN TIPO I " ANDINO"

DISEÑO : PRINCIPAL (TEORICO)

Agua : AGUA POTABLE

Aditivo : Sin aditivo

F'c = 280 Kg/Cm2. F'Cr = 350 Kg/cm2 FECHA : 15/03/2016 S = 70

MATERIAL	CEMENTO	ARENA	PIEDRA
Peso específico	3.15	2.53	2.56
PUSS	1500	1674.50	1447.81
PUCS		1903.05	1572.80
% Humedad		1.67	2.09
% Absorción		2.54	1.67
Modulo de Fineza		3.17	8.69

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	1,1/2 "
SLUMP	3" - 4"
W/C	0.48
VOLUMEN UNITARIO AGUA (TABLA 10,2, 1)	185
VOLUMEN ABSOLUTO AGREGADO GRUESO (Tabla 16,2,2).	0.680
% AIRE.	1

FACTOR CEMENTO
CEMENTO 385.42 Kg/m3.
9.1 Bols/m3.

VOLUMEN ABSOLUTO

CEMENTO 0.122
AGUA 0.185
AIRE 0.010
GRAVA 0.419
ARENA 0.264

1.00

MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO 280 Kg/cm2.

CEMENTO 385 Kg/m3
AGUA 185 Kg/m3
GRAVA 1070 Kg/m3
ARENA 669 Kg/m3

TOTAL = 2309 Kg/m3

MATERIALES CORREGIDOS POR METRO CUBICO DE CONCRETO

			VOLUM.APARENT.MATER.	
CEMENTO	385	Kg/m3	23.54	ft3.
AGUA EFECTIVA	186	Lt/m3	20.55	Lt/saco.
GRAVA	1092	Kg/m3	67.69	ft3.
ARENA	680	Kg/m3	36.59	ft3.

TOTAL = 2344

	CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA
PROPORCION EN PESO	1	1.8	2.8	0.48
PROPORCION EN VOLUMEN	1	1.6	2.9	0.87

PROPORCION POR BOLSAS DE CEMENTO

CEMENTO 42.5 Kg/saco
AGUA 20.5 Lts/saco
GRAVA 120.4 Kg/saco
ARENA 75.0 Kg/saco

HHC
[Firma]
Ing. **Rodrigo A. Huallanca De La Cruz**
JEFE DE LABORATORIO SUELO Y CONCRETO
CIP. 63497

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO AGREGADO FINO
ASTM C 128**

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA

CANTERA : CHILLICO

MATERIAL : ARENA GRUESA + 20% VIDRIO MOLIDO

FECHA DE ENSAYO : 18/04/2016

Nº DE ENSAYOS	1	2		
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO		
Fecha de Ensayo.	18/04/2016	18/04/2016		
Wmuestra SSS (S).	500	500		
Wfiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.7	660.7		
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.7	1160.7		
WmuestSSS+Fiola+Agua a (C).	972.0	972		
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	493.1	493.1		
Vmuest. + Aire	188.7	188.7		
Vaire	6.9	6.9		
V. masa	181.8	181.8		
P.E.masa	2.613	2.613		
P.E.sss	2.650	2.650		
P.E.aparente	2.712	2.712		
% Absorción	1.399	1.399		
	PROMEDIO ESPECÍFICO =		2.613	
	PROMEDIO ABSORCION =		1.399	

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.


HHC
 Ing. Rolando A. Huallanca De La Cruz
 JEFE DE LABORATORIO SUELO Y DE CONCRETO

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO AGREGADO FINO
ASTM C 128**

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA

CANTERA : CHILLICO

MATERIAL : ARENA GRUESA + 25% VIDRIO MOLIDO

FECHA DE ENSAYO : 22/03/2016

Nº DE ENSAYOS	1	2		
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO		
Fecha de Ensayo.	15/03/2016	15/03/2016		
Wmuestra SSS (S).	500	500		
WFiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.0	660		
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.0	1160		
WmuestSSS+Fiola+Agua a (C).	971.4	971.4		
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	493.5	493.5		
Vmuest. + Aire	188.6	188.6		
Vaire	6.5	6.5		
V. masa	182.1	182.1		
P.E.masa	2.617	2.617		
P.E.sss	2.651	2.651		
P.E.aparente	2.710	2.710		
% Absorción	1.317	1.317		
	PROMEDIO ESPECÍFICO =		2.617	
	PROMEDIO ABSORCION =		1.317	
OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.				


HHC
 Ing. Rolando A. Huallanca De La Cruz
 JEFE DE LABORATORIO SUELO Y CONCRETO
 CIP 53487

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO AGREGADO FINO
ASTM C 128**

PROYECTO : "VARIACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO A TRAVÉS DE LA INCORPORACIÓN DE VIDRIO MOLIDO"

TESISTA : SANDRA LEON JUICA
CANTERA : CHILLICO
MATERIAL : ARENA GRUESA

FECHA DE ENSAYO : 15/03/2016

Nº DE ENSAYOS	1	2		
ESTRUCTURA	DISEÑO	DISEÑO		
Fecha de Ensayo.	15/03/2016	15/03/2016		
Wmuestra SSS (S).	500	500		
WFiola+ 500 ml. de Agua (B)	660.7	660.7		
Wfiola+W muestra+WAgua	1160.7	1160.7		
WmuestSSS+Fiola+Agua a (C).	968.1	968.1		
Wmuest. seco horno a 105 °C (A)	487.6	487.6		
Vmuest. + Aire	192.6	192.6		
Vaire	12.4	12.4		
V. masa	180.2	180.2		
P.E.masa	2.532	2.532		
P.E.sss	2.596	2.596		
P.E.aparente	2.706	2.706		
% Absorción	2.543	2.543		
	PROMEDIO ESPECÍFICO =		2.532	
	PROMEDIO ABSORCION =		2.543	

OBSERVACIONES : La temperatura de ensayo del agua destilada es a 20 °C.


HHC
 Ing. Rolando A. Huallanca De La Cruz
 JEFE DE LABORATORIO SUELO Y CONCRETO
 DIF. 82457

2. Normas técnicas

AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras

AGGREGATES. Standard practice for sampling aggregates

2001-01-24
2ª Edición

ÍNDICE

	página
ÍNDICE	i
PREFACIO	i
1. OBJETO	1
2. REFERENCIAS NORMATIVAS	1
3. SIGNIFICADO Y USO	2
4. MUESTRAS CONFIABLES	3
5. ENVÍO DE LAS MUESTRAS	6
6. PALABRAS CLAVES	6
7. ANTECEDENTES	6

SIDERPERÚ S.A.A.	Irma Vargas Armando Kuyeng Manuel Espinoza
DURACRETO S.A	Francisco Gómez de La Torre
ACEROS AREQUIPA S.A.	Victor Granados
ETERNIT	Mauro Quezada Diego Fernandez
QUÍMICA SUIZA S.A.	Milan Pejnovic
CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.	Rosaura Vásquez
COSAPI	Javier Arranz
MTCVC	José Dominguez César Manrique
INFES	Pedro Morales
INADE	Augusto Pehovaz Scerpella
INVERMET	Guillermo Vivanco
ASOCEM	Manuel Gonzales de La Cotera
ARPL TECNOLOGÍA INDUSTRIAL S.A.	Wilfredo Quintana
CIP-CAPÍTULO DE CIVILES	Ana Biondi Carlos Tapia
UNI	Ana Torre Rafael Cachay
URP	Gonzalo Luque
SENCICO	Carlos Pérez Vanna Guffanti

---oooOooo---

AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras

1. OBJETO

La presente Norma Técnica Peruana establece los procedimientos del muestreo del agregado grueso, fino y global, para los propósitos siguientes:

- Investigación preliminar de la fuente potencial de abastecimiento
- Control en la fuente de abastecimiento.
- Control de las operaciones en el sitio de su utilización.
- Aceptación o rechazo de los materiales

NOTA 1: Los planes de muestreo para aceptación y control de los ensayos, varían con el tipo de construcción donde se utiliza el material (Véase norma ASTM E 105 y ASTM D 3665)

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia en todo momento.

2.1 Normas Técnicas Peruanas

- | | | |
|-------|------------------|---|
| 2.1.1 | NTP 339.047:1979 | HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón |
| 2.1.2 | NTP 400.011:1976 | AGREGADOS. Definiciones y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos |

2.1.3 NTP 400.037:2000 AGREGADOS. Requisitos

2.2 Normas Técnicas de Asociación

2.2.1 ASTM C 702:1998 Standard Practice for Reducing Field Samples of Aggregates to Testing Size

2.2.2 ASTM D 2234:1999 Standard Practice for Test Method for Collection of a Gross Sample of Coal

2.2.3 ASTM D-3665:1999 Standard Practice for Random Sampling of Construction Materials

2.2.4 ASTM E 105-58:1996 Standard Practice for Probability Sampling of Materials

2.2.5 ASTM E 122:1999 Standard Practice for Choice of Sample Size to Estimate the Average Quality of a Lot of Process

2.2.6 ASTM E 141-91:1997 Standard Practice for Acceptance of Evidence Based on the Results of Probability Sampling

3. SIGNIFICADO Y USO

3.1 El muestreo y el ensayo son importantes, por lo tanto el operador deberá tener siempre la precaución de obtener muestras que denoten la naturaleza y condiciones del material al cual representan.

3.2 Las muestras para los ensayos de investigación preliminar serán obtenidas por la parte responsable del desarrollo de la fuente potencial (Véase Nota 2). Las muestras de materiales para el control de la producción en la cantera o el control en la obra, serán

obtenidas por el productor, contratistas u otras partes responsables para verificar el trabajo. Las muestras utilizadas para aceptación o rechazo serán tomadas por el comprador o su representante autorizado.

NOTA 2: La investigación preliminar y el muestreo de potenciales canteras de agregados, ocupan un lugar muy importante porque ello determina la conveniencia de su utilización. Es necesario el control de calidad del material para asegurar la durabilidad de la estructura resultante, esto influenciará en el tipo de construcción y en la parte económica de la obra.

Esta investigación deberá ser realizada sólo por personal entrenado y con experiencia.

4. MUESTRAS CONFIABLES

4.1 Generalidades: De preferencia, las muestras para los ensayos de calidad deberán ser obtenidas de productos acabados. La muestra de productos acabados para ser ensayada por pérdida al desgaste de abrasión no estará sujeta a chancado posterior o reducido manualmente, a menos que la medida del producto acabado sea tal que requiera reducción posterior para los propósitos del ensayo.

4.2 Inspección: El material será inspeccionado para determinar variaciones perceptibles. El vendedor proveerá el equipo conveniente y necesario para la inspección y el muestreo.

4.3 Procedimiento

4.3.1 Muestreo de flujos de corriente de agregados (Descarga de depósitos o cintas): De la producción seleccionar muestras al azar, tal como se indica en la práctica normalizada ASTM D 3665.

Obtener por lo menos 3 incrementos iguales, seleccionados al azar de la unidad que está siendo muestreada y combinarlos para formar una muestra cuya masa iguale o exceda lo mínimo recomendado en el apartado 4.4.2. Tomar cada incremento a través de toda la sección del elemento de descarga. Es necesario contar con un dispositivo especial para ser utilizado en cada planta en particular. Este dispositivo consistirá en un recogedor de medida suficiente para interceptar la sección transversal del chorro de descarga para retener la cantidad requerida de material sin derramar. Un conjunto de rieles podrán ser necesarios para servir como guía al recogedor mientras pasa por el chorro de descarga.

Hasta donde sea posible, mantener el depósito continuamente lleno o casi lleno para reducir la segregación (Véase Nota 3).

NOTA 3: Deberá evitarse la toma de muestras de la descarga inicial o final de pocas toneladas de un depósito o de una faja transportadora, pues esto incrementa la posibilidad de obtener material segregado.

4.3.2 Muestreo de fajas transportadoras: Seleccionar el muestreo al azar de la producción, tal como se indica en la práctica normalizada ASTM D 3665. Obtener por lo menos 3 incrementos aproximadamente iguales, seleccionados al azar, de la unidad que está siendo muestreada y combinarlos para formar una muestra de campo cuya masa iguale o exceda a la mínima recomendada en el apartado 4.4.2. Insertar 2 plantillas de la misma forma de la correa de la faja transportadora y separarlas de tal modo que el material contenido entre ellas producirá un incremento de la masa requerida. Extraer cuidadosamente extraer con la cuchara todo el material entre las plantillas y colocarlo en un contenedor y luego coleccionar los finos sobre la faja con una brocha y pala y adicionarlos al contenedor.

4.3.3 Muestreo de depósitos o unidades de transporte: De ser posible evitar este tipo de muestreo, particularmente para la determinación de las propiedades del agregado que puedan ser dependientes de su granulometría. Si las circunstancias hacen necesario realizar este tipo de muestreo, designar un plan de muestreo para este caso, aceptado por todas las partes involucradas; esto permitirá a la entidad que realiza el muestreo el uso de un plan que le dará confianza de los resultados obtenidos.

El plan de muestreo definirá el número de muestras necesarias para representar los lotes o sub-lotes de medidas específicas. Los principios generales para el muestreo de depósitos, son aplicables a muestreo de camiones, vagones, barcazas u otras unidades de transporte.

4.3.4 Muestreo de carreteras (bases y sub-bases): Seleccionar las muestras al azar, tal como se indica en la práctica normalizada ASTM D 3665. Obtener por lo menos tres incrementos iguales, seleccionados al azar de la unidad que está siendo muestreada y combinarlos para formar una muestra de campo, con una masa igual o mayor que la mínima recomendada en el apartado 4.4.2. Tomar todos los incrementos de la profundidad total del vagón, teniendo cuidado de excluir el material subyacente, marcar claramente las áreas específicas de las que se tomó las muestras: un separador metálico para delimitar el área podrá asegurar incrementos de masa iguales.

4.4 Número y masa de las muestras de campo:

4.4.1 El número de las muestras de campo (obtenidas por uno de los métodos descritos en el apartado 4.3) requeridas depende del estado y variación de la propiedad a medirse. Designar cada unidad de la que se obtuvo la muestra de campo, previa al muestreo. El número de muestras de la producción deberá ser suficiente como para otorgar la confianza deseada en los resultados de los ensayos (Véase Nota 4).

NOTA 4: Una guía para determinar el número de muestras requeridas para obtener el nivel de confianza en los resultados de ensayo, podrá basarse en los métodos de ensayos normalizados que se presentan en ASTM D 2234, ASTM E 105, ASTM E 122 y ASTM E 141.

Tabla 1 - Medida de las muestras

Tamaño máximo nominal del agregado ^A	Masa mínima aproximada para la muestra de campo kg ^B
Agregado fino	
2,36 mm	10
4,76 mm	10
Agregado grueso	
9,5 mm	10
12,5 mm	15
19,0 mm	25
25,0 mm	50
37,5 mm	75
50,00 mm	100
63,00 mm	125
75,00 mm	150
90,00 mm	175

^A Para agregado procesado, el tamaño máximo nominal es la menor malla donde se produce el primer retenido.

^B Para agregado global (por ejemplo base o sub-base) la masa mínima requerida será la mínima del agregado grueso más 10 kg .

4.4.2 Las masas de las muestras de campo citadas son tentativas. Las masas deberán ser previstas para el tipo y cantidad de ensayos a los cuales el material va a estar

sujeto y obtener material suficiente para ejecutar los mismos. La norma de aceptación y ensayos de control están cubiertas por las NTPs, donde se especifica la porción de la muestra de campo requerida para cada ensayo. En general, las cantidades indicadas en la Tabla 1 proveerán material adecuado para análisis granulométrico y ensayos de calidad rutinarios. Se extraerán porciones de muestra en el campo de acuerdo con el método de ensayo normalizado que se presenta en ASTM C 702 o por otros métodos de ensayo que sean aplicables.

5. ENVÍO DE LAS MUESTRAS

5.1 Transportar los agregados en bolsas u otros contenedores construidos como para prevenir pérdidas o contaminación de alguna parte de la muestra; o daños al contenido por el manipuleo durante el transporte.

5.2 La identificación individual de los contenedores de embarque para muestras de agregado estará anexa o incluida tanto en el reporte de campo, en el parte de laboratorio y en el reporte de ensayo.

6. PALABRAS CLAVES

Agregados: exploración de canteras potenciales; número y medidas necesarias para estimar las características

7. ANTECEDENTES

- | | | |
|-----|------------------|---|
| 7.1 | NTP 400.010:1976 | AGREGADOS. Extracción y muestreo |
| 7.2 | ASTM D 75:1997 | Standard Practice for Sampling Aggregates |

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

**NTP 400.012
2001**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global

AGGREGATES. Standard test method for sieve analysis of fine, coarse and global aggregates

**2001-05-31
2ª Edición**

R.0071-2001/INDECOPI-CRT. Publicada el 2001-06-17

Precio basado en 14 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptorios: Agregado, agregado grueso, agregado fino, serie, gradación, análisis por tamizado, análisis granulométrico

ÍNDICE

	página
ÍNDICE	i
PREFACIO	ii
1. OBJETIVO	1
2. REFERENCIAS NORMATIVAS	1
3. CAMPO DE APLICACIÓN	2
4. DEFINICIONES	3
5. RESUMEN DEL MÉTODO	3
6. APARATOS	3
7. MUESTREO	4
8. PROCEDIMIENTO	6
9. CÁLCULO	9
10. REPORTE	10
11. PRECISIÓN Y DESVIACIÓN	10
12. ANTECEDENTES	11
ANEXO A	12
ANEXO B	13
ANEXO C	14

PREFACIO

A. RESEÑA HISTÓRICA

A.1 La presente Norma Técnica Peruana fue elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, Hormigón (Concreto), Hormigón Armado y Hormigón Pretensado, mediante el Sistema 2 u Ordinario, durante los meses de Enero a Mayo del 2000, utilizó como antecedente a la ASTM C 136-96a.

A.2 El Comité Técnico de Normalización de Agregados, Hormigón (Concreto), Hormigón Armado y Hormigón Pretensado presentó a la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales –CRT, con fecha 2000-12-18, el PNT 400.012:2000, para su revisión y aprobación; siendo sometido a la etapa de Discusión Pública el 2001-03-29. No habiéndose presentado ninguna observación, fue oficializado como Norma Técnica Peruana **NTP 400.012:2001 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global**, 2ª Edición, el 17 de junio del 2001.

A.3 Esta Norma Técnica Peruana reemplaza a la NTP 400.012:1976. La presente Norma Técnica Peruana presenta cambios editoriales referidos principalmente a terminología empleada propia del idioma español y ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA PERUANA

Secretaría	Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción - SENCICO
Presidente	Carlos Pérez
Secretaria	Vanna Guffanti
ENTIDAD	REPRESENTANTE
UNICON	ENRIQUE PASQUEL IRMA VARGAS

SIDERPERÚ S.A.A.	ARMANDO KUYENG MANUEL ESPINOZA
DURACRETO S.A	FRANCISCO GÓMEZ DE LA TORRE
ACEROS AREQUIPA S.A.	VICTOR GRANADOS
ETERNIT	MAURO QUEZADA DIEGO FERNANDEZ
QUÍMICA SUIZA S.A.	MILAN PEJNOVIC
CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.	ROSAURA VÁSQUEZ
COSAPI	JAVIER MARTÍN ARRANZ
MTCVC	JOSÉ DOMINGUEZ CÉSAR MANRIQUE
INFES	PEDRO MORALES
INADE	AUGUSTO PEHOVAZ
INVERMET	GUILLERMO VIVANCO
ASOCEM	MANUEL GONZALES DE LA COTERA
ARPL TECNOLOGÍA INDUSTRIAL S.A.	WILFREDO QUINTANA
CIP-CAPÍTULO DE CIVILES	ANA BIONDI CARLOS TAPIA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA	ANA TORRE RAFAEL CACHAY
UNIVERSIDAD RICARDO PALMA	GONZALO LUQUE
SENCICO	CARLOS PÉREZ VANNA GUFFANTI

---oooOooo---

AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global

1. OBJETO

La presente Norma Técnica Peruana establece el método para la determinación de la distribución por tamaño de partículas del agregado fino, grueso y global por tamizado.

Los valores indicados en el SI deben ser considerados como estándares. La ASTM E-11 designa los tamices en pulgadas, para esta NTP, se designan en unidades SI exactamente equivalentes.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda Norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia en todo momento.

2.1 Normas Técnicas Peruanas

2.1.1	NTP 339.047: 1979	HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón
2.1.2	NTP 350.001: 1970	Tamices de ensayo
2.1.3	NTP 400.010: 2000	AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras

- 2.1.4 NTP 400.011: 1976 AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos.
- 2.1.5 NTP 400.018: 1977 AGREGADOS. Determinación del material que pasa el tamiz normalizado 75 μm (No. 200).
- 2.1.6 NTP 400.037: 2000 AGREGADOS. Requisitos.

2.2 Normas Técnicas de Asociación

- 2.2.1 ASTM C 670: 1996 Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- 2.2.2 ASTM C 702: 1998 Standard Practice for Reducing Field Samples of Aggregate to Testing Size
- 2.2.3 AASHTO T 27 Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

3. CAMPO DE APLICACIÓN

3.1 Esta Norma Técnica se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para su uso como agregados o los que están siendo utilizados como tales. Los resultados serán utilizados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos que exige la especificación técnica de la obra y proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de agregados. Los datos también pueden ser utilizados para correlacionar el esponjamiento y el embalaje.

3.2 La determinación exacta del material más fino que la malla de 75 μm (Nº 200) no puede ser obtenida por esta NTP. Se utilizará la NTP 400.018.

4. DEFINICIONES

Para los términos utilizados en esta NTP, referirse a la NTP 400.011, NTP 339.037 y NTP 339.047.

5. RESUMEN DEL MÉTODO

Una muestra de agregado seco, de masa conocida, es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

6. APARATOS

6.1 Balanzas: Las balanzas utilizadas en el ensayo de agregado fino, grueso y global deberán tener la siguiente exactitud y aproximación:

6.1.1 Para agregado fino, con aproximación de 0,1 g y exacta a 0,1 g ó 0,1 % de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.

6.1.2 Para agregado grueso o agregado global, con aproximación y exacta a 0,5 g ó 0,1 % de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.

6.2 Tamices: Los tamices serán montados sobre armaduras construidas de tal manera que se prevea pérdida de material durante el tamizado. Los tamices cumplirán con la NTP 350.001.

NOTA 1: Es recomendable que los tamices montados en marcos mayores que los normalizados de 203,2 mm (8 pulg) de diámetro, se usen para ensayos del agregado grueso y del global; para reducir la posibilidad de sobrecarga de los tamices. Véase apartado 8.3

6.3 Agitador Mecánico de Tamices: Un agitador mecánico impartirá un movimiento vertical o movimiento lateral al tamiz, causando que las partículas tiendan a saltar y girar presentando así diferentes orientaciones a la superficie del tamizado. La

acción del tamizado será tal que el criterio para un adecuado tamizado descrito en el apartado 8.4 esté dentro de un periodo de tiempo razonable.

NOTA 2: El uso del agitador mecánico es recomendado cuando la cantidad de la muestra es de 20 kg o mayor y puede ser utilizado para muestras más pequeñas incluyendo el agregado fino. El tiempo excesivo (aproximadamente más de 10 min) para conseguir un adecuado tamizado puede resultar en degradación de la muestra. El mismo agitador mecánico puede no ser práctico para todos los tamaños de muestra; mientras que una gran área del tamiz necesaria para un tamizado práctico del agregado grueso o global de gran tamaño nominal, igualmente podría resultar en la pérdida de una porción de la muestra si se usa para una pequeña muestra de agregado grueso o agregado fino.

6.4 Horno: Un horno de medidas apropiadas capaz de mantener una temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

7. MUESTREO

7.1 Tomar la muestra de agregado de acuerdo a la NTP 400.010. El tamaño de la muestra de campo deberá ser la cantidad indicada en la NTP 400.010 o cuatro veces la cantidad requerida en los apartados 7.4 y 7.5 (excepto con la modificación que se presenta en el apartado 7.6), la que sea mayor.

7.2. Mezclar completamente la muestra y reducirla a la cantidad necesaria para el ensayo utilizando los procedimientos descritos en la práctica normalizada ASTM C 702. La muestra para el ensayo será aproximadamente de la cantidad deseada cuando esté seca y deberá ser el resultado final de la reducción. No se permitirá la reducción a una cantidad exacta predeterminada.

NOTA 3: Cuando el ensayo propuesto sea el de análisis granulométrico, incluyendo la determinación del material más fino que la malla de $75\ \mu\text{m}$ (No. 200), la muestra podrá ser reducida en el campo para evitar el envío de excesiva cantidad de material al laboratorio.

7.3 Agregado fino: La cantidad de la muestra de ensayo, luego del secado, será de 300 g mínimo.

7.4 Agregado grueso: La cantidad de muestra de ensayo de agregado grueso será conforme a lo indicado en la Tabla 1.

Tabla 1 - Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 ½)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 ½)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 ½)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

7.5 Agregado Global: La cantidad de muestra de ensayo de agregado global será la misma que para la del agregado grueso. Véase apartado 7.4 y Tabla 1.

7.6 Muestras de agregado grueso y agregado global de mayor tamaño: La cantidad de muestra requerida para agregados con tamaños máximos nominales a 50 mm o mayores debe ser tal como para evitar la reducción de la muestra y ensayarla como una unidad; excepto con cuarteador y agitador mecánico de tamices de capacidad suficiente. Cuando no se disponga de estos equipos, en lugar de combinar y mezclar incrementos de muestra para luego reducirla a una muestra de ensayo, como una opción, se puede realizar el tamizado de aproximadamente igual número de incrementos de tal modo que el total de la masa ensayada cumpla con los requisitos del apartado 7.4.

7.7 En el caso que la determinación de la cantidad de material más fino que la malla 75 µm (No. 200) sea realizada mediante el método descrito en la NTP 400.018, se procederá como sigue:

7.7.1 Para agregados con tamaño máximo nominal de 12,5 mm (1/2 pulgadas) o menores, utilizar la muestra de ensayo que se utiliza en la NTP 400.018 y este método. Primero ensayar la muestra de acuerdo con la NTP 400.018 completando la operación de secado final, luego tamizar la muestra en seco como se estipula en los apartados 8.2 hasta 8.7 de la presente NTP.

7.7.2 Para agregados con tamaño máximo nominal mayores a 12,5 mm (1/2 pulgadas) se puede utilizar una muestra de ensayo simple como se describe en el apartado 7.7.1 o se puede utilizar una muestra simple separada por el método de ensayo que describe la NTP 400.018.

7.7.3 Cuando la especificación requiera la determinación de la cantidad total de material más fino que la malla de 75 μm (No. 200) por lavado y secado, utilizar el procedimiento descrito en el apartado 7.7.1.

8. PROCEDIMIENTO

8.1 Secar la muestra a peso constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

NOTA 4: Para ensayos de control, particularmente cuando se deseen resultados rápidos no es necesario secar el agregado grueso para el análisis granulométrico. Los resultados son ligeramente afectados por el contenido de humedad a menos que: (1) el tamaño máximo nominal es menor que 12,5 mm (1/2 pulgadas); (2) el agregado grueso contenga apreciable cantidad de material más fino que 4,75 mm (Nº 4); ó (3) el agregado grueso es altamente absorbente (ejemplo un agregado ligero). También las muestras pueden ser secadas a una temperatura alta utilizando planchas calientes sin afectar los resultados, manteniendo los escapes de vapor sin generación de presiones suficientes como para fracturar las partículas y, temperaturas que no sean mayores como para causar el rompimiento químico del agregado.

8.2 Se seleccionarán tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material a ser ensayado. El uso de tamices adicionales puede ser necesario para obtener otra información, tal como módulo de fineza o para regular la cantidad de material sobre un tamiz. Encajar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de un aparato mecánico por

un período suficiente, establecido por tanda o verificado por la medida de la muestra ensayada, para obtener los criterios de suficiencia o tamizado descritos en el apartado 8.4.

8.3 Limitar la cantidad de material sobre el tamiz utilizado de tal manera que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar la abertura del tamiz un número de veces durante la operación de tamizado. Para tamices con aberturas menores que 4,75 mm (N° 4), la cantidad retenida sobre alguna malla al completar el tamizado no excederá a 7 kg/m² de área superficial de tamizado (NOTA 5). Para tamices con aberturas de 4,75 mm (N° 4) y mayores, la cantidad retenida en kg no deberá sobrepasar el producto de 2,5 x (abertura del tamiz en mm x (área efectiva de tamizado, m²)). Esta cantidad se muestra en la Tabla 1 para 5 dimensiones de tamices de uso común. En ningún caso la cantidad retenida será mayor como para causar deformación permanente al tamiz.

8.3.1 Prevenir una sobrecarga de material sobre un tamiz individual por uno de los siguientes procedimientos:

8.3.1.1 Colocar un tamiz adicional con abertura intermedia entre el tamiz que va a ser sobrecargado y el tamiz inmediatamente superior en la disposición original de tamices.

8.3.1.2 Separar la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individual. Combinar las masas de cada porción retenidas sobre un tamiz especificado antes de calcular el porcentaje de la muestra sobre el tamiz.

8.3.1.3 Utilizar tamices de mayor armazón que provean mayor área de tamizado.

NOTA 5: La cantidad de 7 kg/m² a 200 g para los diámetros usuales de tamiz de 203,2 mm (8 pulgadas) (con superficie efectiva de tamizado de 190,5 mm (7,5 pulgadas) de diámetro).

8.4 Continuar el tamizado por un período suficiente, de tal manera que al final no más del 1 % de la masa del residuo sobre uno de los tamices, pasará a través de él durante 1 min de tamizado manual como sigue: Sostener firmemente el tamiz individual con su tapa y fondo bien ajustado en posición ligeramente inclinada en una mano. Golpear el filo contra el talón de la otra mano con un movimiento hacia arriba y a una velocidad de cerca de 150 veces por min, girando el tamiz un sexto de una revolución por cada 25 golpes. En la determinación de la eficacia del tamizado para medidas mayores de 4,75 mm (N° 4), limitar a una capa simple de partículas sobre el tamiz. Si la medida del tamiz hace

impracticable el movimiento de tamizado descrito, utilizar el tamiz de 203 mm de diámetro (8 pulgadas) para verificar la eficiencia del tamizado.

8.5 En el caso del agregado global, la porción de la muestra más fina que el tamiz de 4,75 mm (N° 4) puede ser distribuida entre dos o más juegos de tamices para prevenir la sobrecarga de los tamices individuales; con el fin de facilitar la acción del tamizado.

NOTA 6: En el caso que se requiera separar el agregado grueso del agregado fino, el material global se cortará por el tamiz de 3/8 pulgadas (9,5 mm).

8.5.1 Alternativamente, la porción más fina que la malla de 4,75 mm (N° 4), puede ser reducida utilizando un sacudidor mecánico de acuerdo con el método ASTM C 702. Si se siguió este procedimiento, calcular la masa del incremento de cada medida de la muestra original como sigue:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B$$

Donde:

A = masa del incremento de la medida sobre la base de la muestra total.

W_1 = masa de la fracción más fina que la malla de 4,75 mm (N° 4) en la muestra total.

W_2 = masa de la porción reducida de material más fino que la malla de 4,75 mm (N° 4) efectivamente tamizada.

B = masa del incremento en la porción reducida tamizada.

8.6 A no ser que se utilice un sacudidor mecánico, tamizar manualmente las partículas mayores que 75 mm (3 pulgadas) para la determinación de las aberturas menores de tamiz a través de las que cada partícula debe pasar. Empezar con el menor tamiz utilizado. Alternar las partículas, si es necesario, para determinar si pasarán a través

de una abertura particular; de cualquier modo no fuerce las partículas a pasar a través del tamiz.

8.7 Determinar la masa de cada incremento de medida sobre una balanza conforme a los requerimientos especificados en el apartado 5.1 aproximando al 0,1 % más cercano de la masa total original de la muestra seca. La masa total de material luego del tamizado deberá ser verificada con la masa de la muestra colocada sobre cada tamiz. Si la cantidad difiere en más de 0,3 %, sobre la masa seca original de la muestra, el resultado no deberá utilizarse para propósitos de aceptación.

8.8 Si la muestra fue previamente ensayada por el método descrito en la NTP 400.018, adicionar la masa del material más fino que la malla de 75 μm (N°200) determinada por el método de tamizado seco.

9. CÁLCULO

9.1 Calcular el porcentaje que pasa, los porcentajes totales retenidos, o los porcentajes sobre cada tamiz, aproximando al 0,1% más cercano de la masa seca inicial de la muestra. Si la misma muestra fue primero ensayada por el método de ensayo que se describe en la NTP 400.018, incluir la masa de material más fino que la malla de 75 μm (N°200) calculada por el método de lavado y utilizar el total de la masa de la muestra seca previa al lavado descrito en el método de ensayo de la NTP 400.018, como base para calcular todos los porcentajes.

9.1.1 Cuando se ensayan incrementos de la muestra, como se indica en el apartado 7.6, se utilizará el total de la masa de la porción del incremento retenido en cada tamiz, para calcular los porcentajes que se mencionan en el apartado 9.1.

9.2 Cuando se requiera, calcular el módulo de fineza, sumando el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido) y dividir la suma entre 100: 150 μm (N° 100); 300 μm (N° 50); 600 μm (N° 30); 1,18 mm (N° 16); 2,36 mm (N° 8); 4,75 mm (N° 4); 9,5 mm (3/8 de pulgada); 19,0 mm (3/4 de pulgada); 37,5 mm (1 1/2 pulgada) y mayores; incrementando en la relación 2 a 1.

10. REPORTE

10.1 Dependiendo de las especificaciones para el uso del material, el reporte incluirá lo siguiente:

10.1.1 Porcentaje total que pasa cada tamiz.

10.1.2 Porcentaje total retenido en cada tamiz.

10.1.3 Porcentaje retenido entre tamices consecutivos.

10.2 Reportar los porcentajes en números enteros, excepto que si el porcentaje que pasa la malla de 75 μm (N° 200) es menor del 10 %, se aproximará al 0,1 % más cercano.

10.3 Reportar el módulo de fineza, cuando se solicite, al 0,01.

11. PRECISIÓN Y DESVIACIÓN

11.1 Precisión: La estimación de la precisión para este método de ensayo se presenta en la Tabla 3 (Véase Anexo B). Los estimados están basados en los resultados obtenidos por “AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program” (Programa de Muestreo del Laboratorio de Materiales de Referencia de AASHTO), con ensayos realizados con el método ASTM C 136 y AASHTO T 27.

Los datos se basaron en resultados de 65 a 233 laboratorios que ensayaron en 18 pares de muestras de referencia de agregado grueso y de 74 a 222 laboratorios que ensayaron 17 pares de muestras de referencia de agregado fino (muestras N° 21 al 90), los valores de la tabla se dan para diferentes rangos del porcentaje total del agregado que pasa un tamiz.

11.1.1 Los valores de la precisión para el agregado fino de la Tabla 3 (Véase Anexo B) se realizaron con 500 g de muestra de ensayo. La revisión de este método en

1994 permitió reducir la muestra a un mínimo de 300 g. El análisis de los resultados de muestras de referencia con 300 g y 500 g , las muestras 99 y 100 (las muestras 99 y 100 fueron esencialmente idénticas) produjeron los valores de precisión de la Tabla 4 (Ver Anexo C), que indican solamente diferencias menores debido al tamaño de muestra.

NOTA 7: Los valores del agregado fino de la Tabla 3 serán revisados para reflejar la muestra de ensayo de 300 g, cuando se ha ensayado un número suficiente de muestras de referencia utilizando aquel tamaño de muestra que provea datos confiables.

11.2 Desviación: Mientras no se acepte un material de referencia adecuado para determinar la desviación en este método de ensayo, no se establecerá la desviación.

12. ANTECEDENTES

- | | | |
|------|------------------|--|
| 12.1 | ASTM C 136-96a | Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. |
| 12.2 | NTP 400.012:1976 | AGREGADOS. Análisis granulométrico. |

ANEXO A

(Normativo)

TABLA 2 – Máxima cantidad permitida de material retenido sobre un tamiz, kg

ABERTURA NOMINAL DEL TAMIZ, mm	DIMENSIÓN NOMINAL DEL TAMIZ ^A				
	203,2 mm diám. ^B	254 mm diám. ^B	304,8 mm diám. ^B	350 por 350 mm	372 por 580 mm
	ÁREA DE TAMIZADO, m ²				
	0,0285	0,0457	0,0670	0,1225	0,2158
125	C	C	C	C	67,4
100	C	C	C	30,6	53,9
90	C	C	15,1	27,6	48,5
75	C	8,6	12,6	23,0	40,5
63	C	7,2	10,6	19,3	34,0
50	3,6	5,7	8,4	15,3	27,0
37,5	2,7	4,3	6,3	11,5	20,2
25,0	1,8	2,9	4,2	7,7	13,5
19,0	1,4	2,2	3,2	5,8	10,2
12,5	0,89	1,4	2,1	3,8	6,7
9,5	0,67	1,1	1,6	2,9	5,1
4,75	0,33	0,54	0,80	1,5	2,6

^A Dimensiones del tamiz en pulgadas: Diámetro de 8,0 pulgadas, diámetro de 10,0 pulgadas; diámetro de 12 pulgadas; de 13,8 pulgadas x 13,8 pulgadas (14 pulgadas x 14 pulgadas nominal); 14,6 pulgadas x 22,8 pulgadas (16 pulgadas x 24 pulgadas nominal).

^B El área de los tamices circulares se basa sobre su diámetro efectivo 12,7 mm (½ pulg) menos que el diámetro nominal, dado que la especificación E 11 permite que la soldadura entre el tamiz y el marco (armazón) sea hasta de 6,35 mm (¼ pulg) sobre el tamiz. De este modo el diámetro efectivo de tamizado para un tamiz de 203,2 mm (8 pulg) es 190,5 mm (7,5 pulgadas). Los fabricantes de tamices no deben sobrepasar de 6,35 mm (¼ pulg) de espesor de soldadura sobre el tamiz.

^C Los tamices indicados tienen menos de cinco aberturas y no deberán ser utilizados para tamizado, excepto como está previsto en el apartado 8.6.

ANEXO B (Normativo)

TABLA 3 – Precisión

	Porcentaje total de material que pasa		Desviación Típica (1s), % ^A	Rango aceptable de dos resultados (d2s), % ^A
Agregado Grueso:^B				
Precisión de un operador	<100	≥95	0,32	0,9
	<95	≥85	0,81	2,3
	<85	≥80	1,34	3,8
	<80	≥60	2,25	6,4
	<60	≥20	1,32	3,7
	<20	≥15	0,96	2,7
	<15	≥10	1,00	2,8
	<10	≥ 5	0,75	2,1
	<5	≥ 2	0,53	1,5
<2	> 0	0,27	0,8	
Precisión Multilaboratorio	<100	≥95	0,35	1,0
	<95	≥85	1,37	3,9
	<85	≥80	1,92	5,4
	<80	≥60	2,82	8,0
	<60	≥20	1,97	5,6
	<20	≥15	1,60	4,5
	<15	≥10	1,48	4,2
	<10	≥ 5	1,22	3,4
	<5	≥ 2	1,04	3,0
<2	> 0	0,45	1,3	
Agregado Fino				
Precisión de un operador	<100	≥95	0,26	0,7
	<95	≥60	0,55	1,6
	<60	≥20	0,83	2,4
	<20	≥15	0,54	1,5
	<15	≥10	0,36	1,0
	<10	≥ 2	0,37	1,1
	<2	> 0	0,14	0,4
Precisión multilaboratorio	<100	≥95	0,23	0,6
	<95	≥60	0,77	2,2
	<60	≥20	1,41	4,0
	<20	≥15	1,10	3,1
	<15	≥10	0,73	2,1
	<10	≥ 2	0,65	1,8
	<2	> 0	0,31	0,9

^A Estos números representan, respectivamente, los límites (1s) y (d2s) descritos en la norma ASTM C 670.

^B La estimación de la precisión se basa en agregados de tamaño máximo nominal de 19,0 mm (3/4 pulg).

ANEXO C (Normativo)

TABLA 4 - Precisión para muestras de ensayo de 300 g y 500 g

Muestra de referencia de agregado fino				En el laboratorio		Entre laboratorios	
Resultados de los ensayos	Cantidad de muestra	Número de laboratorios	Promedio	1s	d2s	1s	d2s
ASTM C 136/AASHTO T 27							
Material total que pasa el tamiz No. 4 (%)	500 g	285	99,922	0,027	0,066	0,037	0,104
	300 g	276	99,990	0,021	0,060	0,042	0,117
Material total que pasa el tamiz No. 8 (%)	500 g	281	84,10	0,43	1,21	0,63	1,76
	300 g	274	84,32	0,39	1,09	0,69	1,92
Material total que pasa el tamiz No. 16 (%)	500 g	286	70,11	0,53	1,49	0,75	2,10
	300 g	272	70,00	0,62	1,74	0,76	2,12
Material total que pasa el tamiz No. 30 (%)	500 g	287	48,54	0,75	2,10	1,33	3,73
	300 g	276	48,44	0,87	2,44	1,36	3,79
Material total que pasa el tamiz No. 50 (%)	500 g	286	13,52	0,42	1,17	0,98	2,73
	300 g	275	13,51	0,45	1,25	0,99	2,76
Material total que pasa el tamiz No. 100 (%)	500 g	287	2,55	0,15	0,42	0,37	1,03
	300 g	270	2,52	0,18	0,52	0,32	0,89
Material total que pasa el tamiz No. 200 (%)	500 g	278	1,32	0,11	0,32	0,31	0,85
	300 g	266	1,30	0,14	0,39	0,31	0,85

ASENTAMIENTO EN EL HORMIGÓN FRESCO

(RESUMEN ASTM C 143)

1. ALCANCE

El método cubre la determinación del asentamiento del hormigón tanto en el laboratorio como en el campo. Consiste en colocar una muestra de hormigón recién mezclado (se compacta por varillado) dentro de un molde en forma de cono truncado. El molde se levanta, y se deja que el hormigón se desplome. Se mide la distancia vertical al centro desplazado y se registra el valor del asentamiento del hormigón. (Párr. 1.1 y 3.1)

Nota 1. Este ensayo fue originalmente desarrollado para proporcionar un método de monitoreo o control de la consistencia del concreto no endurecido. Bajo condiciones de laboratorio con estricto control de todos los materiales del concreto, el revenimiento es generalmente encontrado debido al incremento proporcional del contenido de agua que tiene la mezcla y por lo tanto esta inversamente relacionado con la resistencia del concreto

Este ensayo es aplicable al hormigón plástico preparado con agregado grueso de hasta 1 ½ pulgada (37,5 mm) de tamaño máximo nominal. Si el agregado grueso es mayor de 1 ½ pulgada (37,5 mm) el método de prueba se aplica a la fracción de hormigón que pasa la malla de 1 ½ pulgada (37,5 mm) de acuerdo con ASTM C 172. (Párr. 1.1 y 3.1)

El método no es aplicable a los hormigones no plásticos que tiene un asentamiento menor a ½ pulg. (15mm) y no cohesivos con asentamiento mayor a 9 pulg. (230mm). (Párr. 4.3).

2. EQUIPO

2.1 Molde.- El molde será metálico, resistente al ataque de la pasta de cemento, con un espesor no menor que 0.060 pulgadas (1.5 mm), y si se forma con el proceso de repujado en ningún punto del molde el espesor será menor de 0.045 pulgadas (1.15 mm) de grosor.

El molde deberá tener la forma de la superficie lateral de un cono truncado con una base de 8 pulgadas (200 mm) de diámetro y la parte superior de 4 pulgadas (100 mm) de diámetro, con una altura de 12 pulgadas (300 mm).

Las dimensiones del diámetro y altura deberán tener una tolerancia de $\pm 1/8$ " (3 mm) con respecto a las dimensiones especificadas. El interior del molde deberá ser relativamente liso y libre de cualquier protuberancia. El molde no deberá presentar abolladuras, deformaciones o restos de concreto en su interior. (Párr. 5.1)



<i>UNIDADES DIMENSIONALES</i>									
Pulg.	1/16	1/8	1/2	1	3	3 1/8	4	8	12
mm.	2	3	15	25	75	80	100	200	300

Los moldes de otros materiales son permitidos si cumplen con los requerimientos necesarios como: el molde debe tener la forma, altura y dimensiones internas especificadas en la sección 5.1 de la norma ASTM C143. Se puede aceptar un molde con tornillos de sujeción fijados a una placa de base no absorbente. En el caso de usarse moldes de otros materiales los resultados de asentamiento no deben variar más de 1/2 pulg. (15mm) individualmente, y la media de al menos diez comparaciones de asentamiento entre el molde metálico y el molde de otro material no deben variar más de 0.25 pulg (6 mm) del promedio de los resultados de los ensayos realizados con un molde metálico. Los datos de comparabilidad de los ensayos realizados deben estar disponibles para los usuarios y las autoridades de inspección del laboratorio (Párr. 5.1.2.1)

2.2 Varilla.- Deberá ser una barra recta de acero de sección circular de 5/8" (16 mm) de diámetro y aproximadamente 24 pulgadas (600 mm) de largo, con el extremo de apisonamiento redondeado en forma semiesférica con un diámetro de 5/8 pulgadas (16 mm). (Párr. 5.2).

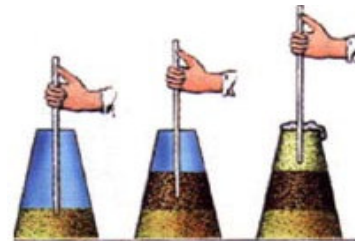
2.3 Instrumento de medida.- Es una regla de metal rígida, la cual esta graduada con incrementos de 0.25 pulgadas (5 mm.) o menor. El largo de la regla debe de ser por lo menos de 12 pulgadas (200 mm.) (Párr. 5.3).

3. MUESTRA

La obtención de la muestra se realizará de conformidad con la norma [ASTM C172](#).

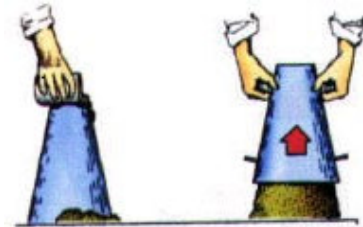
4. PROCEDIMIENTO

1. Humedecer el molde y el piso o placa base, ejecutar sobre una superficie rígida no absorbente. (Párr.7.1).
2. Apoyar firmemente el molde sobre la base colocando y presionando con los dos pies los estribos del molde. Por ningún motivo debe moverse los pies durante el llenado del molde. (Párr.7.1).
3. Llenar el molde en tres capas de igual volumen, la primera capa a una profundidad de 70 mm. ($2\frac{5}{8}$ pulgadas) la segunda hasta de 160 mm. ($6\frac{1}{8}$ pulgadas) y la tercera hasta el borde superior del molde. (Párr.7.1, Nota 4, Párr.7.3).
4. Compactar cada capa en toda su profundidad con 25 penetraciones de la varilla, distribuyendo las penetraciones en toda la superficie de cada capa. (Párr.7.2).
5. Compactar la segunda y tercera capa penetrando la capa anterior 25 mm. (1 pulgada) y varillar desde cerca del perímetro y continuar progresivamente en forma espiral hacia el centro del molde. (Párr.7.2).
6. Cuando compacte la última capa, mantener un excedente de hormigón sobre el molde antes de comenzar el varillado, si el concreto es insuficiente detener el varillado y colocar una cantidad representativa para mantener un exceso de concreto sobre el molde todo el tiempo. (Párr.7.3).
7. Enrasar el hormigón rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde. (Párr.7.3).

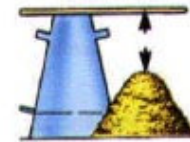


8. Continuar manteniendo el molde firme y remover el hormigón alrededor del área circundante de la base del molde para prevenir la interferencia en el momento del asentamiento del concreto. (Párr.7.3).

9. Levantar el molde por encima de las 12 pulgadas (300 mm) de un solo movimiento sin giros. En un tiempo de 5 ± 2 segundos. (Párr.7.3).



10. Medir con una precisión de $\frac{1}{4}$ de pulgada (5 mm) el revenimiento, desde la parte superior del molde hasta el centro desplazado de la superficie original del espécimen. Si al levantar el cono se produce una falla por corte, es necesario descartar la prueba y realizar el ensayo con una nueva porción de mezcla, si la falla se repite, es posible que el hormigón no tenga la plasticidad necesaria o sea cohesivo para aplicar este ensayo de revenimiento. (Párr.7.4 y Nota 6).



11. Ejecute la prueba, desde su inicio hasta el final sin interrupciones en no más de 2.5 minutos. (Párr.7.3).

5. REPORTE

Anote el asentamiento en pulgadas (mm) con una aproximación de $\frac{1}{4}$ " (5mm).

6. CONSIDERACIONES GENERALES

- Si se observa una clara caída o desmoronamiento de un lado o una parte de la masa del hormigón después de levantar el molde (cono), se debe descartar la prueba y hacer una nueva con otra parte de la muestra.
- La variación de los moldes alternativos es de 6mm máximo.
- El revenimiento del concreto disminuye con el tiempo y las altas temperaturas

Tamaño máximo agregado: 1 ½ pulgada (37,5 mm).

Tamizado en húmedo: de requerirse en tamiz de 1 ½ pulgada (37,5 mm)

Número de capas: 3

Tiempos: 2,5 minutos para realizar todo el ensayo y 5 ±2 segundos para levantar el molde.

Compactación: 25 inserciones por capa con una varilla de 600 mm de longitud y 16 mm de diámetro.

ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES DE HORMIGÓN PARA PRUEBAS DE COMPRESIÓN

(RESUMEN ASTM C 31)

1. ALCANCE

Esta práctica cubre los procedimientos necesarios para hacer y curar muestras cilíndricas y vigas de hormigón en obra para proyectos de construcción, que puede ser compactado mediante varillado o vibración. (Párr. 1.1)

Además este ensayo proporciona los estándares necesarios para la realización de curado, protección y transporte de los especímenes de ensayo del concreto bajo las condiciones de campo. (Párr. 4.1)

El hormigón usado para hacer los especímenes, debe tener los mismos niveles de asentamiento, contenido de aire y porcentaje de agregado grueso que el hormigón colocado en la obra. (Párr. 1.2). Si los especímenes son realizados y curados de acuerdo a los estándares especificados en la norma, los datos obtenidos del ensayo de resistencia pueden ser utilizados con los siguientes propósitos:

- Resistencia aceptable del espécimen.
- Chequeo de las porciones adecuadas de la mezcla para obtener una determinada resistencia.
- Control de calidad.

Si los especímenes son realizados y curados en campo como lo estimado en esta norma, los datos de resistencia del concreto pueden ser utilizados con los siguientes propósitos:

- Determinar si una estructura esta en capacidad de ponerse en servicio.
- Comparación de los resultados obtenidos de los especímenes curados de acuerdo al estándar con los resultados de los métodos utilizados en obra.
- Adecuado curado y protección del concreto en la estructura.

2. EQUIPO

2.1 Moldes.- Deben ser de acero, hierro forjado u otro material no absorbente y que no reaccione con el cemento. Antes de usarse

los moldes deben ser cubiertos ligeramente con aceite mineral o un agente separador de cimbras no reactivo. (Párr. 5.1)

2.2 Varilla.- De acero redonda con un diámetro de 5/8 de pulgada (16 mm), recta y aproximadamente de 24 pulgadas (600 mm) de longitud con un extremo redondeado de forma semiesférica. (Párr. 5.4)



2.3 Vibrador.- La frecuencia del vibrador debe ser por lo menos 7000 vibraciones por minuto (150 Hz) cuando el vibrador este operando en el concreto. El diámetro del vibrador debe ser no mayor a un cuarto del diámetro del molde cilíndrico o un cuarto del interior del molde de la viga. (Párr. 5.5)

2.4 Mazo.- Debe usarse un mazo con cabeza de hule o cuero que pese aproximadamente 1.25±0.50 lb. (0.6±0.2 Kg.). (Párr. 5.6)

2.5 Herramientas de Mano.- Palas, cubetas, espátulas, niveladores y alisadores de madera y metal para la superficie del hormigón, calibradores cucharones y reglas. (Párr. 5.7)

2.6 Recipiente para muestreo y mezclado.- Debe ser un recipiente de metal grueso de tamaño adecuado o una carretilla limpia de superficie no absorbente y con capacidad suficiente para mezclar la muestra completa con pala. (Párr. 5.9)

3. REQUERIMIENTOS DE PRUEBA

3.1 Especímenes cilíndricos.-

Los especímenes deben ser cilindros de hormigón colado y fraguado en posición vertical, de altura igual a dos veces el diámetro y el diámetro del cilindro es de 3 veces el tamaño máximo nominal. El tamaño del espécimen estándar es 6 por 12 pulgadas (150 por 300 mm) o 4 por 8 pulgadas (cuando se especifica puede ser de 100 por 200 mm), para agregado de tamaño máximo que no exceda 2 pulgadas (50 mm). Cuando el tamaño máximo de los agregados



excede a 2 pulgadas (50 mm) la muestra de hormigón debe tamizarse en húmedo como se describe en la Norma ASTM C172.

Los cilindros aceptables para la realización de pruebas de resistencia deben ser de 6 x 12 pulg. (150 x 300 mm) o especímenes de 4 x 8 (100 x 200 mm) (Párr. 6.1)

3.2 Especímenes tipo viga.- Los especímenes para medir la resistencia del hormigón en flexión deben ser vigas rectangulares de hormigón colado y fraguado con los ejes largos horizontalmente. El largo de los especímenes debe ser al menos 2 pulgadas (50 mm) más grande que tres veces el peralte. La relación ancho/peralte no debe exceder 1,5. La viga estándar debe tener una sección de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) y debe ser usada para hormigón con agregado de tamaño máximo hasta de 2 pulgadas (50 mm). Cuando el tamaño nominal máximo de los agregados exceda 2 pulgadas (50 mm), la dimensión menor de la sección de la viga debe ser al menos tres veces el tamaño nominal máximo del agregado grueso. A menos que lo requieran las especificaciones del proyecto, las vigas hechas en el campo no deben tener ancho o peralte menor que 6 pulgadas (150 mm.) (Párr. 6.2)



4. MUESTRA

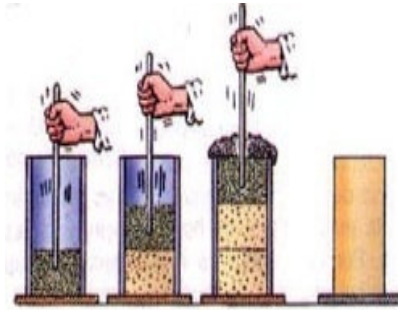
Las muestras de hormigón utilizadas en la fabricación de los especímenes deben obtenerse de acuerdo con el método ASTM C 172, a menos que se haya aprobado un procedimiento alterno. Debe registrarse el origen de la muestra respecto a la ubicación del hormigón colado en la obra. (Párr. 7.1 y 7.2)

5. PROCEDIMIENTO

- a) Colocar el molde sobre una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones. (Párr. 9.1)
- b) Tomar una muestra representativa de acuerdo con la Norma ASTM C 172. (Párr. 7.1)

c) Colocar el hormigón en el interior del molde, moviendo el cucharón alrededor del borde del molde para asegurar la distribución del concreto y una segregación mínima mientras se descarga el hormigón. (Párr. 9.2)

d) Llenar el molde en tres capas de igual volumen. En la última capa, agregar la cantidad de hormigón suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación. Ajustar el sobrante o faltante de hormigón con una porción de mezcla y completar el número de golpes faltantes. (Párr. 9.2, 9.4.1)



e) Compactar cada capa con 25 penetraciones de la varilla usando la punta semiesférica, distribuyendo uniformemente las penetraciones. (Párr. 5.4, 9.4.1 y la tabla 3)

f) Compactar la capa inferior en todo su espesor. Compactar la segunda y tercera capas, penetrando 1 pulgada (25 mm) en la capa anterior. (Párr. 9.4.1)

g) Después de compactar cada capa, golpear los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo para liberar las burbujas de aire que pueden quedar atrapadas. Utilice la mano abierta, si se trata de moldes de un solo uso los cuales son susceptibles a daños por los golpes con el mazo. (Párr. 9.4.1)

h) Mantener una vibración uniforme durante este proceso. La duración del vibrado dependerá de la trabajabilidad del concreto y la efectividad del vibrador, se debe vibrar hasta obtener una superficie lisa. Colocar cada capa de concreto en el molde antes de comenzar la vibración de la misma. (Párr. 9.4.2)

Nota 4.- Generalmente no más de 5 seg. de vibración por inmersión es necesaria para consolidar el concreto con un revenimiento mayor a 3 pulg. (75 mm.).

i) Enrasar el exceso de hormigón con la varilla de compactación y si es necesario se le da un acabado con una llana o cuchara. Debe darse el menor número de pasadas para producir una superficie lisa y plana. (Párr. 9.5 y 9.5.1)



- j) Identificar los especímenes con la información correcta, no se lo hace sobre las tapas de los moldes y utilizar un método que no altere la superficie del hormigón. (Párr. 9.6)
- k) Emplear el método apropiado para mantener las condiciones de humedad y temperatura especificadas. (Párr. 10.1.2, nota 5)

Métodos de Compactación.- La selección del método de compactación debe basarse en el asentamiento a menos que el método haya sido descrito en las especificaciones del proyecto. Varille el hormigón con asentamiento mayor a 3 pulgadas (7,5 cm). Varille o vibre el hormigón con asentamiento de 1 a 3 pulgadas (2.5 a 7.5 cm). Vibre el hormigón con asentamiento menor a 1 pulgada (2.5 cm).

Para determinar el número de veces que se debe insertar la varilla por capa en la fabricación de vigas, se debe calcular en función del área de la cara superior, una inserción por cada 2 pulg.² (14 cm²)

Almacenamiento inicial.- Inmediatamente después de elaborados los especímenes deben transportarse al lugar de almacenamiento donde deberán permanecer sin ser perturbados durante el período de curado inicial. No debe identificarse en las caras removibles de los moldes. Si la parte superior de la probeta se daña al momento de transportarla, se debe dar un nuevo acabado.

6. CURADO

6.1. Temperatura inicial

$$\begin{array}{ll} f'c > 422\text{Kg/cm}^2 & 20\text{-}26^\circ\text{C} \\ f'c < 422\text{Kg/cm}^2 & 16\text{-}27^\circ\text{C} \end{array}$$

6.2. Protección después del acabado.- Inmediatamente después de elaborar el espécimen se debe evitar la evaporación y la pérdida de agua de estos.

6.3. Curado de especímenes para control de calidad.- Se realizará el siguiente tipo de curado:

6.3.1 Curado inicial.- Después del moldeado, la temperatura alrededor de los especímenes debe mantenerse en un rango de 60° a 80°F (16° a 27°C). Para mezclas de concreto con una resistencia especificada de 6 000 lb/in² (40 MPa) o más la temperatura del curado inicial debe estar entre 68 y 78 °F (20 y 26°C) Los especímenes que vayan a ser transportados

antes de transcurridas 48 horas después del moldeado deben permanecer en su molde a humedad del medio ambiente hasta que sean recibidos en el laboratorio para el desmolde y curado estándar. Los especímenes que no vayan a ser transportados deben ser sacados de los moldes después de transcurridas las primeras 24 ± 8 horas y usar el curado estándar hasta que sean transportados.

6.3.2 Curado estándar de cilindros.- Al terminar el curado inicial y antes de que transcurran 30 minutos después de haber removido los moldes, almacene los especímenes en condiciones de humedad adecuada, siempre cubiertos con agua a una temperatura de $73.4 \pm 3^\circ\text{F}$ ($23 \pm 1.7^\circ\text{C}$). Se permiten temperaturas de entre 68° y 86°F (20° y 30°C) durante un período que no exceda de 3 horas inmediatamente antes de hacer la prueba, si siempre se mantiene húmeda la superficie del espécimen.

6.3.3 Curado estándar vigas.- Las Vigas deben ser curadas del mismo modo que los cilindros. Deben almacenarse en agua de cal saturada a $73 \pm 3^\circ\text{F}$ ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) por un mínimo de 20 horas antes de hacer la prueba. Debe evitarse que las superficies de las vigas se sequen en la fase desde que se sacan del agua hasta que se termina la prueba.

Curado en campo.

Cilindros.- Almacenar los cilindros lo más cercano posible a la estructura de hormigón que representen. Mantenga los cilindros en las mismas condiciones que el hormigón de la estructura (protección, humedad, temperatura, curado, etc.).



Vigas.- En la medida en que sea posible, las vigas deben curarse del mismo modo que el hormigón de la estructura. Al finalizar las primeras 48 ± 4 horas después del moldeo, lleve los especímenes al lugar de almacenamiento y sáquelos de los moldes. Almacene los especímenes que representan losas sobre terreno en el piso y con su cara superior hacia arriba. Cubra los lados y extremos de los especímenes con tierra o arena húmeda dejando la superficie superior expuesta al tratamiento de curado especificado. Almacene los especímenes que representan hormigón estructural lo más cerca posible a la estructura que representan y

proporcióneles la misma protección para temperatura y humedad que proporciona a la estructura. Al finalizar el período de curado deje los especímenes en el mismo lugar, expuestos al medio ambiente del mismo modo que la estructura. Quite todos los especímenes de vigas del campo y almacénelos en agua de cal a 73 ± 3 °F (23 ± 2 °C) durante 24 ± 4 horas inmediatamente antes de hacer la prueba para asegurar condiciones de humedad uniformes de espécimen a espécimen.

Transporte de los especímenes al laboratorio.-

La transportación no debe exceder de 4 horas. Durante el transporte los especímenes deben protegerse contra daños ocasionados por temperaturas muy bajas, pérdida de humedad o daños ocasionados por el movimiento.



7. CONSIDERACIONES GENERALES

Tamaño máximo agregado: 2 pulgadas (50 mm)

Tamizado en húmedo: de requerirse en tamiz de 1 ½ pulgada (37.5 mm)

Número de capas: 3

Compactación: 25 inserciones por capa con una varilla de 600 mm de longitud y 16 mm de diámetro.

Vibración: aproximadamente se vibra 5 seg. para un concreto con revenimiento mayor a 3 pulg. (75 mm.).

Identificar: es necesario registrar el número del espécimen, fecha hora y otras especificaciones técnicas.

3. Panel fotográfico



Figura 3.1 Recepción del agua potable para el lavado de las botellas de vidrio



Figura 3.2 Lavado con detergente de las botellas de vidrio



Figura 3.3 Enjuague y secado de las botellas de vidrio



Figura 3.4 Cerrado de la máquina donde se realiza la prueba de los ángeles para el molido de las botellas



Figuras 3.5 y 3.6 Vaciado y tamizado del vidrio molido



Figura 3.7 Tamizado del vidrio molido por la malla N° 04



Figura 3.8 Resultado final del molido del vidrio



Figuras 3.9 y 3.10 Peso unitario suelto y varillado de la arena gruesa



Figura 3.11 Pesado de la arena gruesa después de realizado el peso unitario suelto



Figuras 3.12 y 3.13 Peso unitario suelto y varillado de la piedra chancada



Figura 3.14 Pesado de la piedra chancada



Figuras 3.15 y 3.16 Pesado de la arena gruesa y lavado para el tamizaje



Figura 3.17 Secado en la cocina de la arena gruesa



Figuras 3.18 y 3.19 Lavado y secado del vidrio molido para el tamizaje



Figura 3.20 Pesado de la arena gruesa



Figuras 3.21 y 3.22 Realizando el tamizaje del agregado fino con 20% de vidrio molido



Figuras 3.23 y 3.24 Humedecimiento de la arena gruesa para la realización del peso específico



Figura 3.25 Apisonado del vidrio molido con el pisón metálico



Figuras 3.26 y 3.27 Pesando y midiendo la temperatura de la fiola



Figura 3.28 Echando el agregado a la fiola



Figuras 3.29 y 3.30 Eliminando el exceso de espuma y vaciando el contenido de la fiola



Figura 3.31 Dejando decantar el agua para secarlo en la cocina



Figura 3.32 Secado del vidrio molido para pesarlo



Figura 3.33 Mezclado de arena gruesa y vidrio molido de acuerdo a los resultados obtenidos



Figura 3.34 Pesando la cantidad de material necesario de acuerdo a la dosificación



Figura 3.35 Engrasando los moldes para facilitar el desmolde



Figura 3.36 Agregando la cantidad de agua correcta de acuerdo a la dosificación



Figura 3.37 Midiendo el slump



Figura 3.38 Llenado de los moldes con el concreto correspondiente de acuerdo a la dosificación



Figura 3.39 Llenado y chuceado de los moldes de concreto



Figura 3.40 Raleado de los moldes



Figura 3.41 Desmolde de las probetas



Figura 3.42 Inscripción de datos para identificación de probetas $f'c= 175 + 20\%$ de vidrio molido



Figura 3.43 Inscripción de datos para identificación de probetas $f'c= 210 + 25\%$ de vidrio molido



Figuras 3.44 y 3.45 Sumergido de los moldes en la poza para el curado respectivo



Figura 3.46 Identificación de los moldes con sus datos respectivos antes de la rotura



Figura 3.47 Aplicación de aceite para evitar el pegado del carpin en los moldes



Figura 3.48 Colocado del azufre disuelto para conseguir una distribución uniforme de la carga



Figuras 3.49 y 3.50 Ensayo de resistencia a la compresión de los moldes



Figura 3.51 Resultado final de la rotura de los moldes