

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



***Características Técnicas del Concreto
Compactado con Rodillo (CCR)***

TESIS

Para optar el Título Profesional de :
INGENIERO CIVIL

ENRIQUE MANUEL PALOMARES CARMONA

Lima-Perú

1998

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

- ALCANCES
- LIMITACIONES

CAPITULO 1 EVOLUCIÓN DEL CCR.

- 1.1 - HISTORIA, EVOLUCIÓN.
- 1.2 - EXPERIENCIAS DEL CCR. EN OTROS PAÍSES.
- 1.3 - EL CCR. COMO ALTERNATIVA EN EL PERÚ.

CAPITULO 2 MATERIALES A EMPLEAR - ENSAYOS

- 2.1 - AGREGADOS, CEMENTOS, ADITIVOS.
- 2.2 - ENSAYOS EN EL AGREGADO GRUESO
 - 2.2.1 - GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO.
 - 2.2.2 - PESO ESPECIFICO DE MASA.
 - 2.2.3 - PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO.
 - 2.2.4 - PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y HUMEDAD.
 - 2.2.5 - PERDIDA POR ABRASIÓN. (ENSAYO DE LOS ÁNGELES).
 - 2.2.6 - DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS (GRUESO Y FINO)
- 2.3 - ENSAYOS EN EL AGREGADO FINO
 - 2.3.1 - GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.
 - 2.3.2 - PESO ESPECIFICO DE MASA.
 - 2.3.3 - PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO.
 - 2.3.4 - PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y HUMEDAD.
 - 2.3.5 - MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA Nro. 200

CAPITULO 3 DISEÑO DE MEZCLA PARA CCR. DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES.

- 3.1 - GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GLOBAL.
 - 3.1.1 - COMPARACIÓN ENTRE HUSOS PARA BASES Y SUB-BASES SEGUN EL MTCVC, ITINTEC 400.037, Y ACI 304.
 - 3.1.2 - PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO.
 - 3.1.3 - PORCENTAJE DE AGREGADO FINO.
 - 3.1.4 - PORCENTAJE DE CEMENTO.
- 3.2 - COMPACTACIÓN - TEORÍA - CONTROL, CÁLCULO DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA Y ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD. (PROCTOR MODIFICADO)
- 3.3 - DISEÑO DE MEZCLA, CÁLCULO DE LA RELACIÓN *a/c.*, CORRECCIÓN.

**CAPITULO 4 PROPIEDADES DEL CCR EN ESTADO FRESCO Y
ENDURECIDO.**

4.1 - PROPIEDADES DEL CCR. EN ESTADO FRESCO.

4.1.1 - ENSAYO DE CONSISTENCIA (ASENTAMIENTO).

4.1.2 - ENSAYO DE PESO UNITARIO.

4.1.3 - TIEMPO DE FRAGUA.

4.2 - PROPIEDADES DEL CCR EN ESTADO ENDURECIDO.

**4.2.1 - ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN,
FLEXIÓN (MÓDULO DE RUPTURA).**

**4.2.2 - ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR
COMPRESIÓN DIAMETRAL.**

CAPITULO 5 CUADRO DE RESULTADOS. GRÁFICOS

**CAPÍTULO 6 PRUEBA EXPERIMENTAL. APLICACIÓN DEL
CCR.**

6.1 - PREPARACION DE LA BASE.

6.2 - PROCESO CONSTRUCTIVO.

6.4 - COLOCACIÓN DE LA MEZCLA

6.5 - CONTROL DE LA COMPACTACIÓN

CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFÍA

- TÍTULO : GUIDELINES FOR DESIGNING AND
CONSTRUCTING ROLLER - COMPACTED
CONCRETE DAMS.
- AUTOR : U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU
OF RECLAMATION.
- EDICIÓN : 1987.
- BIBLIOTECA : PARTICULAR.
- CONTENIDO : INTRODUCCIÓN, DEFINICIÓN, CONSIDERACIONES PARA SU DISEÑO, MATERIALES, DISEÑO DE MEZCLAS
-
- TÍTULO : DISEÑO DE MEZCLAS.
- AUTOR : ING. ENRIQUE RIVVA LÓPEZ.
- EDICIÓN : 1992. EDITORIAL HOZLO S.R.L.
- BIBLIOTECA : PARTICULAR.
- CONTENIDO : MATERIALES, CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS PROPIEDADES, AJUSTES Y CORRECCIONES EN EL DISEÑO DE MEZCLAS.
-
- TÍTULO : BOLETINES TÉCNICOS
- AUTOR : ASOCEM. ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE CEMENTO.
- EDICIÓN : 1984.
- BIBLIOTECA : PARTICULAR.
- CONTENIDO : GRANULO METRÍA DE LOS AGREGADOS, CURADO DEL CONCRETO, APLICACIONES DEL CEMENTO PORTLAND.
-
- TÍTULO : HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO DE USO VIAL, EXPERIENCIA ARGENTINA.
- AUTOR : ING. JULIO C. CABALLERO / ING. MARIO AUBERT
- EDICIÓN : 1991. TERCERA ASAMBLEA GENERAL DE LA FICEM MONTEVIDEO.
- BIBLIOTECA : ASOCEM.
- CONTENIDO : INTRODUCCIÓN, MATERIALES, CEMENTOS, AGUA, ADITIVOS, CAPACIDAD ESTRUCTURAL.
-
- TÍTULO : EL HORMIGÓN SECO COMPACTADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.
- AUTOR : ING. CARLOS JOFRE.
- EDICIÓN : 1985. CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRÁNSITO. BUENOS AIRES, ARGENTINA.
- BIBLIOTECA : ASOCEM.
- CONTENIDO : INTRODUCCIÓN, MATERIALES, CEMENTOS, AGUA, ADITIVOS, VENTAJAS, INCONVENIENTES, CAPACIDAD ESTRUCTURAL, COLOCACIÓN EN OBRA.

TÍTULO : PAVIMENTOS DE CONCRETO COMPACTADO
CON RODILLOS
AUTOR : ING. OSWIN KEIFER Jr.
EDICIÓN : 1987. REVISTA IMCYC, VOL. 24, NUM. 189
BIBLIOTECA : ASOCEM.
CONTENIDO : ANTECEDENTES DE SU DESARROLLO , PRI-
MERAS APLICACIONES, DURABILIDAD DE LOS
PAVIMENTOS CCR.

TÍTULO : LA NUEVA TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS CON
CONCRETO CON RODILLO.
AUTOR : ING. EDUARDO RIDOUT LA ROSA.
EDICIÓN : 1994. REVISTA EL CONSTRUCTOR NUM. 26.
BIBLIOTECA : PARTICULAR.
CONTENIDO : DESARROLLO DEL CCR, SU APLICACIÓN A PA-
VIMENTOS, CONSTRUCCIÓN, CONTROL DE CA-
LIDAD.

TÍTULO : DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS.
AUTOR : ING. GERMAN VIVAR ROMERO.
EDICIÓN : 1991. COLECCIÓN DEL INGENIERO CIVIL
BIBLIOTECA : PARTICULAR.
CONTENIDO : GENERALIDADES, CARACTERÍSTICAS PRINCI-
PALES, DESARROLLO HISTÓRICO, VENTAJAS Y
DESVENTAJAS, FABRICACIÓN Y PUESTA EN
OBRA.

Vo.Bo.



ING. CESAR ATALA A.
Jefe del Dpto. Mecánica
de Suelos.

Vo.Bo.



DR. JAVIER ARRIETA F.
Prof. del Dpto. Construcción

INDICE

Introducción	i
Capítulo 1: Evolución del CCR	4
1.1 Historia, evolución	4
1.2 Experiencias del CCR en otros países	8
1.3 El CCR como alternativa en el Perú	13
Capítulo 2: Materiales a emplear - Ensayos	17
2.1 Agregados, cementos, aditivos	17
2.2 Ensayos en el agregado grueso	20
2.2.1 Granulometría	20
2.2.2 Peso específico de masa	22
2.2.3 Peso unitario suelto y compactado	24
2.2.4 Porcentaje de absorción y humedad	25
2.2.5 Pérdida por abrasión (ensayo de los angeles)	26
2.2.6 Durabilidad de los agregados (grueso y fino)	27
2.3 Ensayos en el agregado fino	27
2.3.1 Granulometría	27
2.3.2 Peso específico de masa	28
2.3.3 Peso unitario suelto y compactado	29
2.3.4 Porcentaje de absorción y humedad	30
2.3.5 Material más fino que la malla # 200	30
Capítulo 3: Diseño de mezcla para CCR - Dosificación de los materiales	32
3.1 Granulometría del agregado global	33
3.1.1 Comparación entre husos para bases y sub-bases según el MTCVC, y husos para concreto NTP 400.037 y Aci 304	34
3.1.2 Porcentaje de agregado grueso	37
3.1.3 Porcentaje de agregado fino	37
3.1.4 Porcentaje de cemento	39
3.2 Compactación, teoría y control; cálculo de la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad (proctor modificado)	39

3.3 Diseño de mezcla, cálculo de la relación a/c, corrección	50
Capítulo 4: Propiedades del CCR en estado fresco y endurecido	57
4.1 Propiedades del CCR en estado fresco	57
4.1.1 Ensayo de consistencia (asentamiento)	58
4.1.2 Ensayo de peso unitario	59
4.1.3 Tiempo de fragua	60
4.2 Propiedades del CCR en estado endurecido	63
4.2.1 Ensayo de resistencia a la compresión.	63
4.2.2 Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral	64
Capítulo 5: Cuadro de resultados	67
Capítulo 6: Prueba experimental - Aplicación del CCR	85
6.1 Objetivo	85
6.2 Alcance	85
6.3 Ubicación	85
6.4 Recursos a utilizarse	86
6.5 Preparación de la base	86
6.6 Proceso constructivo	87
Capítulo 7: Conclusiones	99

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, pretende dar un alcance en el diseño de mezclas para elaborar Concreto Compactado con Rodillo (CCR), y una pequeña prueba de aplicación (mezcla para pavimento rígido), para ello se han recogido los estudios y experiencias de aquellos, que divulgaron sus aportes con el fin de mantener actualizados los conocimientos del concreto.

El CCR es una tecnología nueva que se viene utilizando cada vez más y en diferentes países se investiga sobre su colocación, diseño de mezcla, propiedades mecánicas, etc.

Se elabora en plantas de concreto, los materiales utilizados en su mayoría son de origen local, el cemento es de cualquier tipo, prefiriéndose usar con adiciones, el empleo de aditivos es básico en climas con altas temperaturas, los equipos para su transporte, colocación, distribución y compactación son los que se usan en movimientos de tierras.

Por otro lado, el producto final se podría considerar como un híbrido, y para poder evaluar su comportamiento, el estudio se han relacionado conceptos de tecnología de concreto y mecánica de suelos.

El trabajo se a dividido en siete capítulos, en el capítulo I, se hace referencia a su historia y evolución, sus características generales y se describen las experiencias de algunos países donde se utiliza CCR.

En el capítulo II, presentamos los ensayos de los materiales, así como definiciones relacionados con éstos y que se utilizan en el desarrollo de la tesis.

El capítulo III, trata sobre el proporcionamiento de la mezcla, es aquí donde se describe la fusión de los conceptos de tecnología de concreto y mecánica de suelos, es decir, que método de diseño de mezclas se utiliza para elaborar un concreto, que vibrado externamente, tenga las siguientes características: el mínimo de cemento, que sea capaz de producir concretos densos y con la menor cantidad de agua.

En el capítulo IV, se describe las pruebas en un concreto fresco, tales con slump, peso unitario, etc, así como las consideraciones para evaluar la propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido.

En el capítulo V, se presentan los resultados numéricos y gráficos de las curvas granulométricas, curvas del ensayo del proctor, etc.

En el capítulo VI, se describe la prueba experimental del CCR, describiendo el proceso constructivo, colocación de la mezcla, control de la compactación, etc.

El capítulo VII, se presentan las conclusiones por capítulo.

Finalmente, el aporte de éste trabajo sirva para comprender el uso de la mezcla seca, y por el constante dinamismo que caracteriza a este tipo de trabajo, obligue en un futuro a otras personas a revisar y actualizar la información aquí registrada.

CAPÍTULO I

EVOLUCIÓN DEL CCR.

- *HISTORIA-EVOLUCIÓN*
- *EXPERIENCIAS DEL CCR. EN OTROS PAÍSES*
- *EL CCR. COMO ALTERNATIVA EN EL PERÚ*

EVOLUCIÓN DEL CCR

1.1 HISTORIA, EVOLUCIÓN

Hace más de 100 años que se construyó el primer pavimento de concreto, los diseños de mezclas se basaban en reglas prácticas, y para su construcción se empleaban equipos rudimentarios que compactaban la superficie de la mejor forma posible debido a que no se conocía la vibración. Transcurren los años y la ciencia avanza, y se conoce la vibración para concreto, siendo relegada la compactación para pavimentos debido a que los equipos disponibles de la época no lograban la calidad deseada comparada con los de vibración.

Sin embargo los rodillos se siguieron utilizando para compactar bases estabilizadas con cemento, el perfeccionamiento en la técnica de compactar y diseñar los estabilizados sirvieron de partida para diseñar una mezcla seca, la cual contenía mayor cantidad de cemento que las bases estabilizadas. Ésta mezcla de concreto, en sus inicios, constructivamente, servía de apoyo para un pavimento y la técnica que se utilizaba era la misma que para los estabilizados con cemento (suelo - cemento), por lo que éste tipo de mezclas evoluciona a partir de diseños de mezclas para estabilizados de suelo - cemento. Se puede considerar históricamente que el primer pavimento construido utilizando esta nueva técnica fue en 1893 en Bellefontaine, en el estado de Ohio, en EE. UU¹

¹MÁRCIO ROCHA PITTA. "ESTADO DEL ARTE DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO"

Posteriormente, a esta mezcla compactada con rodillo se le da el termino de "Concreto Compactado con Rodillo" (CCR), y es utilizado por primera vez en el año 1975 en la "Especificación General de Construcciones Nro. G 48, para Concreto Compactado con Rodillos"² de la autoridad del Valle del Tennessee.

En el aeropuerto de YAKIMA en la ciudad de Washington (1941)³, EE.UU., el pavimento fue construido con una tecnología similar al CCR., aunque el equipo utilizado fue rudimentario, y el diseño de mezclas y el control no fueron los adecuados, a la fecha, a éste pavimento se le ha agregado una delgada capa de asfalto y todavía se encuentra en servicio.

Por otro lado, el CCR, se ha utilizado en la construcción de presas de gravedad de concreto, fotos 1 y 2, habiéndose obtenido buenos resultados, tanto en su comportamiento estructural como en lo económico. En el cuadro nro. 1, se mencionan las diez primeras presas clasificadas por altura, construidas, en ejecución y proyectadas en diferentes países⁴, obsérvese los volúmenes de concreto vaciados y por vaciar.

1.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

La característica principal de este material es que, por su consistencia puede ser colocado en obra con equipos de movimiento de tierras y ser compactado con rodillos vibratorios antes de estar endurecido.

Se puede elaborar en plantas de concreto, el contenido de cemento es mayor que el utilizado en un suelo - cemento y menor o similar que un concreto tradicional, con el contenido de agua ocurre lo contrario, es similar al utilizado

²ROBERT W. CANNON.

"EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLOS Y EL ROLACRETO EN LAS PRESAS"

³OSWIN KEIFER Jr.

"REVISTA IMCYC, VOL 24, NÚM. 189. FEBRERO 1987"

en un suelo - cemento y menor que el utilizado en un concreto tradicional. Para el transporte, colocación y esparcido de la mezcla se utilizan equipos de movimientos de tierras, tales como volquetes, motoniveladoras, rodillos.

Otra característica es su capacidad de soportar carga inmediata⁵, es decir, los materiales que los conforman, tengan una capacidad resistente de manera que sea capaz de soportar el paso inmediato del tránsito.

De las características mencionadas, podemos enumerar algunas ventajas, empleo de maquinaria que normalmente poseen las empresas contratistas dedicadas a la construcción de carreteras. Debido a que la cantidad de agua es menor comparada con un concreto tradicional, la relación agua cemento es menor, por lo que toda el agua se utiliza en la hidratación del cemento, no habiendo exceso que se elimine por evaporación, como consecuencia de esto, la retracción es menor, por lo que no es necesario hacer juntas transversales, siendo éstas obtenidas naturalmente, con espaciamientos de hasta 20 metros, aunque la experiencia española recomienda juntas transversales no mayor a 7 metros⁶.

De experiencias de otros países (se describen mas adelante), podemos mencionar que el contenido de cemento varía entre un 12% a 14% y el contenido de agua varía entre el 4% a 6% del peso seco de los materiales.

⁴ LUIS CAMILO TEJADA J.

⁴ EL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO Y SU UTILIZACIÓN EN LA PRESA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PORCE II

⁵ CARLOS JOFRE

⁵ EL HORMIGÓN SECO COMPACTADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, 1985 - INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO

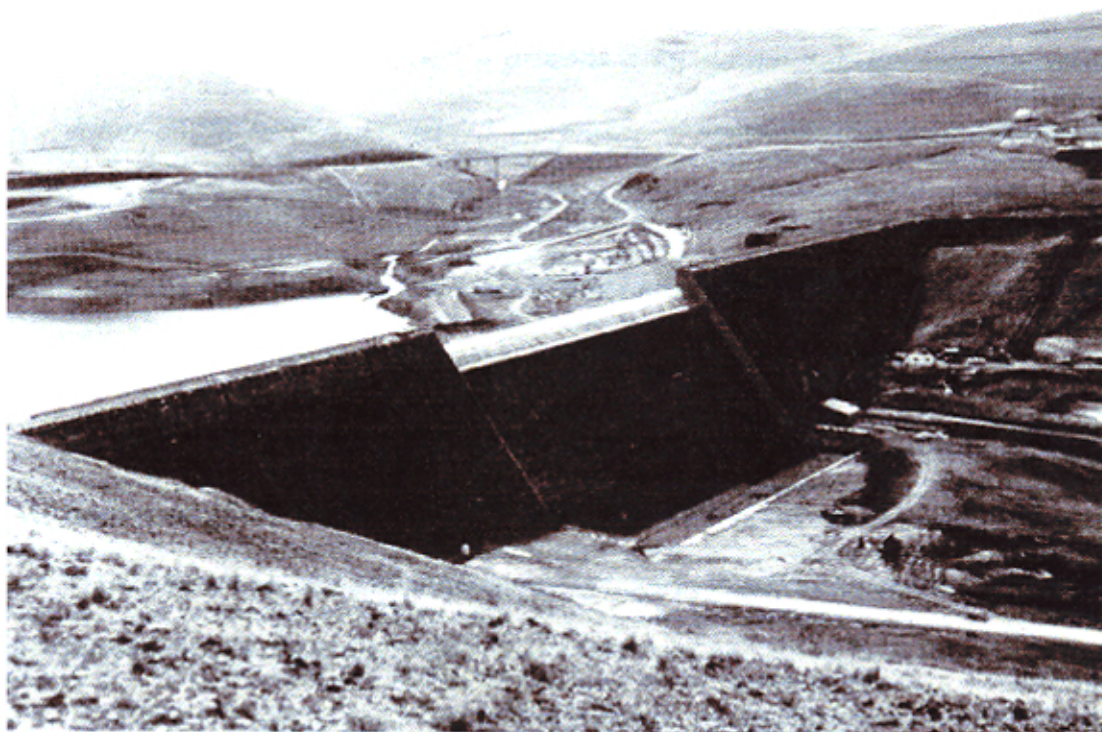
⁶ IDEM

Foto nro. 1



CONSTRUCCIÓN DE PRESA DE CCR (WILLOW CREEK)

Foto nro. 2



PRESA DE CCR TERMINADA

Cuadro nro. 1 PRESAS DE CCR. CLASIFICADAS POR ALTURA

NOMBRE DE LA PRESA	CIUDAD	ALTURA (m.)	VOLUMEN CCR. $10^3 \times m^3$.	FECHA DE TÉRMINO mes / año.
Longtan	China	216	7500	En diseño
Miel I	Colombia	188	1700	?
Miyagase	Japón	155	1537	? / 94
Miel II	Colombia	141	749	En diseño
Baozhusi	China	132	450	dic. / 95
Porce II	Colombia	118	1300	dic. / 97
Sakaigawa	Japón	115	373	ago. / 91
Satsunai	Japón	114	636	oct. / 95
Pangue	Chile	113	640	dic. / 97
Capanda	Angola	110	757	may. / 92

Ésta nueva tecnología, se viene utilizando en países industrializados, con capacidad para investigación y pruebas a escala natural, las investigaciones datan desde la década del 70 en presas y pavimentos, a continuación se describirá experiencias de países que utilizan CCR.

1.2 EXPERIENCIAS DEL CCR. EN OTROS PAÍSES.

Se describe experiencias en países tales como EE.UU., Canadá, Japón, África del Sur, España; y en países cercanos al nuestro como a Brasil, Argentina, Colombia, Chile.

En la figura 1, se indican los principales lugares donde se ha utilizado el CCR.

1.2.1 EXPERIENCIA EN EE. UU.

En 1983, en la Estación Experimental de Vías Fluviales se colocó CCR en un área pequeña para tanques en Fort Stewart, Georgia, utilizando tropas como

mano de obra y con métodos rudimentarios para pavimentación; a la fecha este pavimento se encuentra en servicio.

En agosto de 1984, en Fort Hood, Texas, el Fort Worth District del Cuerpo de Ingenieros y la Estación Experimental de Vías Fluviales, construyen el primer pavimento importante de CCR, para un área de estacionamiento para tanques y otro para vehículos - oruga. Se colocó un área de 15,050 m². de pavimento de 25.4 cm de espesor.

En octubre de 1984, el Distrito de Seattle del Cuerpo de Ingenieros, construyó un camino de prueba en Fort Lewis, Washington. El camino era de 7.00 m. de ancho, 213.00 m. de largo y 21.00 cm. de espesor.

En 1,985, en el puerto de Tacoma, en Washington, se colocó CCR a lo largo de las vías férreas en los muelles, el espesor del pavimento fue de 30 a 43 cm. Las áreas pavimentadas son para uso de grandes contenedores de carga y grúas, con cargas de 93 toneladas por eje.

En 1,985, el aeropuerto de Portland, Oregon, se colocó CCR en un área de 34,500 m²., con un espesor de 35.5 cm., para estacionamiento de Jumbo Jet 747, aquí cabe mencionar que se presentaron cotizaciones de concreto asfáltico, concreto de cemento portland y CCR. Se escogió la alternativa de CCR debido a que el costo fue aproximadamente 25% más económica que la propuesta de concreto asfáltico.

1.2.2 EXPERIENCIA EN CANADÁ

En 1,976, en Caycuse, Columbia Británica, se pavimentó un área de 1.62 hectáreas con un espesor de 35 cm. Posteriormente en 1,983 y 1,984 se

inspeccionaron las áreas pavimentadas, las cuales se encontraban en excelente estado, a pesar de estar sometidos a cargas de 109 toneladas sobre ejes de dos ruedas, por otro lado el pavimento era sometido a una fuerte abrasión debido a que los troncos son arrastrados sobre la superficie. Lo que sí se presentaron fueron fisuras de 1.5 a 3 mm. de ancho y muy pocas de 9 mm. Los testigos tomados mostraron una resistencia a la compresión de 210 a 351 kg/cm², siendo el promedio de los testigos de 285 kg/cm².

1.2.3 EXPERIENCIA EN JAPÓN.

La mayoría de sus pavimentos son de asfalto, sin embargo el aumento del tráfico pesado, hace que los pavimentos de asfalto presenten fisuras y baches. Como alternativa de solución a partir del año 1987, se han construido pavimentos de CCR, con un promedio de 240,000 m². de pavimentos ejecutados.

Sus investigaciones a escala natural abarcan el cálculo de tensiones de trabajo debido a cargas provenientes del tráfico, cálculo de espesores de losas y su comportamiento a largo plazo, y transmisión de cargas en las juntas.

En 1980, Japón construye la presa de SHIMAJIGAWA, con una altura de 89 m. y un volumen total de concreto de 317 mil m³.; correspondiendo 165 mil m³. a un CCR.

A partir de ese momento, se inicia el uso de CCR para presas, alcanzando un volumen superior a los 23 millones de m³. en más de 100 presas ejecutadas en el mundo

1.2.4 EXPERIENCIA EN ÁFRICA DEL SUR.

Con la creciente demanda de carreteras rurales, se decide investigar el CCR como alternativa de solución, la investigación en laboratorio, consistió en ensayar varias mezclas de prueba, la relación agua/cemento, el porcentaje de cenizas volantes, y el tiempo de curado. Se hizo un tramo de prueba, en el que se utilizó un simulador de vehículo pesado, los resultados resultaron favorables, el tramo soportó una carga equivalente de 8Tn por eje sin mostrar señal de fatiga.

Las características obtenidas fueron las siguientes: una densidad seca del orden de 2350 kg/m³., un contenido de humedad del orden de 4% a 5% en peso, una relación agua/cemento del orden de 0.4 y contenido de ceniza volante del 60%.

1.2.5 EXPERIENCIA EN ESPAÑA.

En España, su aplicación data desde 1970 en la ciudad de Barcelona, su uso al inicio sólo era en pavimentos de urbanizaciones con tráfico ligero y en caminos rurales.

Hasta 1990, se han ejecutado más de 4 millones de m². de CCR, en algunas aplicaciones la superficie es cubierta por una capa de asfalto del orden de 3 a 5 cm de espesor.

Los espesores empleados varían de 20 a 23 cm generalmente compactados en una capa, el contenido de cemento es del orden del 12% al 14 % de peso seco de los materiales, la relación agua cemento varía del 0.38 a 0.45, el porcentaje óptimo de humedad es del 4% y 6 % del peso seco de los materiales.

La experiencia española, indica la ejecución de juntas en un promedio de 10 a 15 m, experiencias de países cercanos al nuestro indica que las juntas deben de ser en un promedio de 6 a 9 m.

1.2.6 EXPERIENCIA EN BRASIL

Se utilizo a partir de 1972, en Porto Alegre, el CCR fue colocado como base de pavimentos flexibles para vías urbanas.

Se tiene un promedio de 2'000,000m² de pavimento de CCR, en su mayoría la superficie del CCR es cubierta con una capa de asfalto, y son diseñados para tráfico pesado.

Brasil, Colombia y Chile tienen experiencias en la colocación de CCR para presas.

1.2.7 EXPERIENCIA EN ARGENTINA.

Argentina lo viene utilizando desde el año 1986, tienen 13 tramos experimentales, en diferentes ciudades, con diferentes longitudes y en climas variados, los materiales son de las mismas zonas por experimentar, también se ha utilizado la reparación de pavimentos con buenos resultados.

En cuanto a los materiales, se han utilizado piedra de tamaño máximo de 25 mm, el contenido de cemento del orden de 12%, una relación de agua/cemento de 0.4, y con un contenido óptimo de humedad del 4% al 5% del peso seco de los materiales.

1.2.8 EXPERIENCIA EN PERÚ.

En Febrero de 1992, se ejecutó un tramo de prueba de CCR, en un área de 561 m², y un espesor de 0.20m, ubicado frente a los almacenes de Serlipsa y el

aeropuerto Jorge Chavez, el pavimento hasta la fecha se encuentra en servicio y presenta buenas condiciones.

Los ensayos de granulometría se realizaron en la Universidad Católica del Perú, el diseño de mezcla se realizó en el laboratorio de la empresa Copresa para una resistencia de 245 kg/cm², el contenido de cemento fue de un promedio de 12%, una relación agua/cemento de 0.65, un contenido de humedad del orden del 7%. Las resistencias alcanzadas fueron en promedio del orden de 300 kg/cm².

1.3 EL CCR. COMO ALTERNATIVA EN EL PERÚ

Una de las posibles utilizaciones de CCR en el Perú es en la reparación de pavimentos, considerando lo siguiente:

- En nuestro medio, se cuenta con maquinaria pesada para movimiento de tierra, como por ejemplo: con motoniveladoras, cargadores frontales, camiones volquetes de gran capacidad de volumen, además las empresas dedicadas a la construcción de pavimentos de asfalto cuentan con rodillos lisos y de neumáticos, necesarios para estos tipos de trabajos.*
- Materiales como los agregados grueso y fino son de origen local, existente en casi en todo el territorio Peruano.*
- El cemento puede ser de cualquier tipo, existiendo el cemento con puzolana (que también se puede utilizar en la preparación de ésta mezcla), por otro lado en el mercado nacional existe una gran variedad de aditivos retardantes de fragua (utilizados generalmente*

en climas donde las temperaturas son altas) que ayudarían en la fragua de la mezcla en caso de ser necesario su uso.

- *El personal es similar al que se utiliza en la preparación de bases y estabilizados, por lo que la mano de obra especializada para la ejecución de estos trabajos sería mínima.*

Los puntos anteriores confirman, el uso de maquinaria para movimiento de tierra, materiales de origen local, y personal con un mínimo de capacitación.

En esta primera parte, la intención ha sido mostrar que el CCR, no sólo sirve para pavimentos, sino que también es utilizado para presas.

Por otro lado, siendo el CCR una estructura que soporta carga y teniendo en cuenta que la mayor parte de su estructura, estará conformada por más del 60% de agregados, es necesario conocer la calidad de los materiales que lo conforman.

En el capítulo siguiente se presentan los ensayos de calidad de los agregados que intervienen en el diseño de mezcla para un CCR.

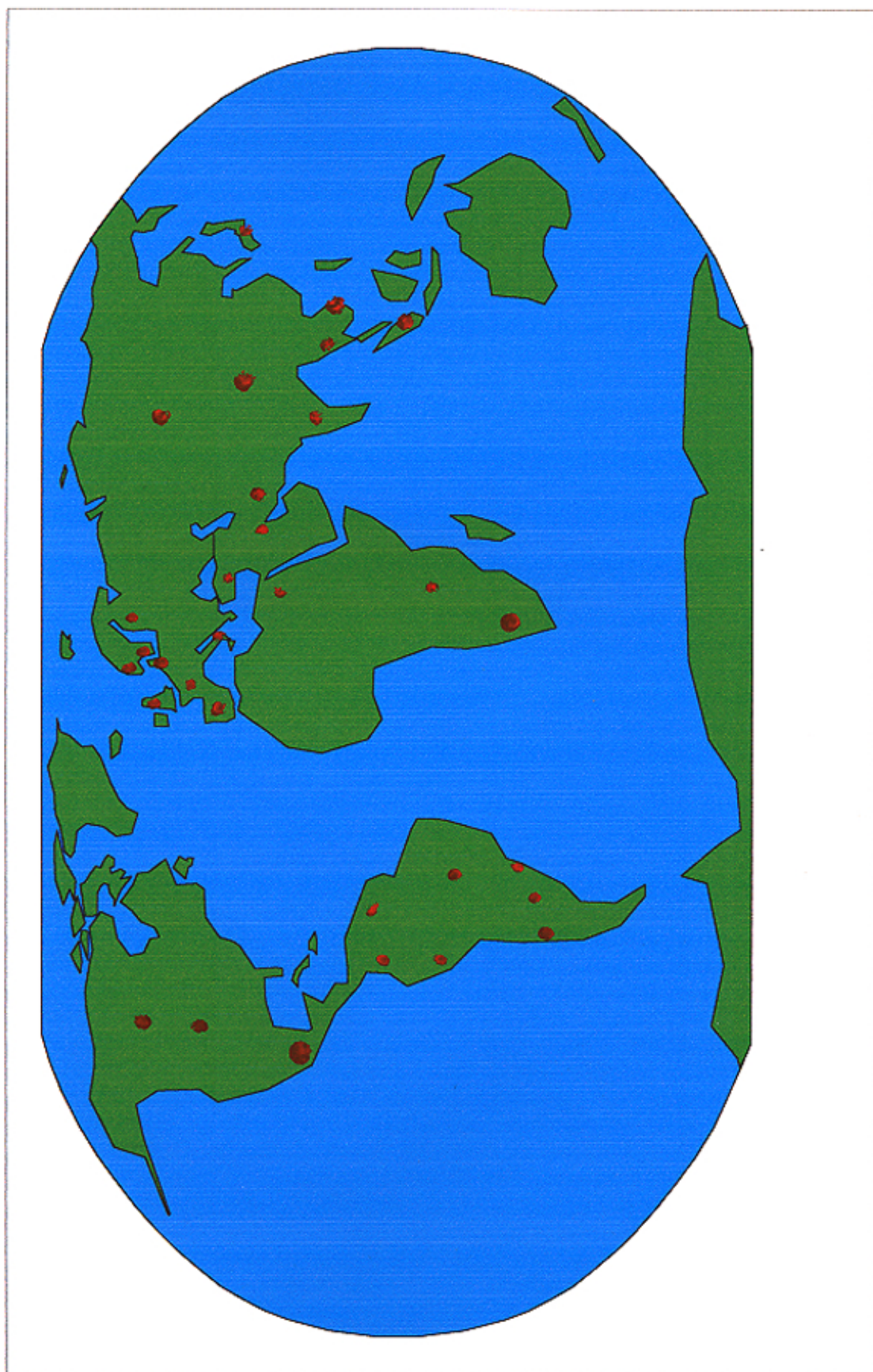


Figura 1 PRINCIPALES PAISES DONDE SE UTILIZA CCR

CAPÍTULO II

MATERIALES A EMPLEAR

- *AGREGADOS – CEMENTO – ADITIVOS*
- *ENSAYOS EN LOS AGREGADOS GRUESOS*
- *ENSAYOS EN LOS AREGADOS FINOS*

MATERIALES A EMPLEAR

ENSAYOS

Para el presente trabajo experimental, los agregados a emplear son de origen local, proveniente de la cantera de San Martín, ubicada a la altura del Km.6.1 de la carretera central (Vitarte)

El cemento utilizado es del tipo I (Sol) por ser el de utilización normal.

El agua proviene de la red pública de distribución del Laboratorio de Suelos del Ministerio de Transportes (Rimac)

No se considera el uso de aditivo (retardante de fragua) en la mezcla.

2.1 AGREGADOS, CEMENTOS, ADITIVO

2.1.1 AGREGADOS

Los agregados ocupan alrededor del 75% del volumen total y están constituido usualmente por partículas minerales de arenisca, granito, basalto, cuarzo o una combinación de ellos, y sus características físicas y químicas influyen en las propiedades del concreto⁷. Deben cumplir con ciertas exigencias preestablecidas (normas), tales como granulometría, desgaste, durabilidad, contenido de finos, etc.

Para un CCR el material grueso puede ser de procedencia natural o material triturado, se puede utilizar canto rodado; la arena puede ser artificial o natural.

Se aconseja que el agregado grueso sea menor o igual a 1", (similares a las mezclas asfálticas), tamaños mayores causan problemas de segregación, el

⁷ ENRIQUE PASQUEL C.

"TOPICOS DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO EN EL PERU"

contenido de finos debe ser del orden de 5% a 15%, el exceso de fino puede dificultar la compactación.

El porcentaje en que intervienen los agregados se determina por los métodos de composición granulométrica (método del cuadrado), el cemento interviene como un agregado más en un orden del 12% al 14% sobre el peso total de la mezcla.

En el Cuadro 2, se muestra el huso granulométrico del MTCVC para bases y sub-bases, y como ilustración se compara con los límites granulométricos de la Norma Española.(tamaños 16 y 20 mm)

Cuadro 2 PORCENTAJE QUE PASA

MALLA		TAMAÑO		
mm	Pulg	20 mm	16 mm	MTCVC
25.4	1	-	100	75 - 95
19.0	3/4	100	85 - 100	
16.0	5/8	88 - 100	46 - 95	
9.5	3/8	70 - 87	60 - 83	40 - 75
4.8	Nº 4	51 - 69	42 - 63	30 - 60
2.0	Nº 10	34 - 49	29 - 47	20 - 45
0.420	Nº 40	18 - 29	16 - 27	15 - 30
0.074	Nº 200	10 - 20	9 - 19	5 - 15

2.1.2 CEMENTOS

El cemento puede ser de cualquier tipo, se puede utilizar cemento con puzolanas o que contengan escorias.

Una de las características importante a determinar es el tiempo de fragua, para poder estimar el "tiempo de trabajo". El "tiempo de trabajo" se define como el intervalo que va, desde el comienzo de la producción en la mezcladora hasta el comienzo del fraguado, en el cual debe realizarse totalmente la puesta en obra y la compactación.

De acuerdo a la experiencia española, para obras nuevas o refuerzos sin circulación, recomiendan 6 horas, en refuerzos con bajo tránsito recomiendan 12 horas⁸

De esta manera, conociendo el tiempo de fragua, se puede planificar el trabajo y se puede determinar la adición o no de un aditivo retardante de fragua..

2.1.3 ADITIVOS

Utilizar aditivos en la mezcla, implica un costo adicional por lo que su uso se hace necesario en climas de temperaturas altas, fuertes vientos, o lugares distantes entre la planta de mezclado y el lugar donde se colocara la mezcla.

Por experiencias de otros países, se podría emplear un alto contenido de puzolonas o cenizas volantes, que tienen efecto retardante en la mezcla. Las proporciones utilizadas llegan hasta un 40% de cenizas en el caso de Argentina, 75% en España, y 33% en África del Sur.

⁸ CARLOS JOFRE

"EL HORMIGÓN SECO COMPACTADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, 1985 - INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO"

Para el presente trabajo no se considera el uso de aditivos, por que, tal como se mostrará mas adelante, la producción de la mezcla se hizo a pié de obra, no se presentaron temperaturas altas.

2.2 ENSAYOS EN EL AGREGADO GRUESO

Las características físicas de los materiales a utilizar en el presente trabajo se evaluaron en el laboratorio del Ministerio de Transportes de acuerdo a normas establecidas.

Se indicará la norma correspondiente de cada ensayo, describiendo su objetivo, alcance y utilidad en el estudio, y en un Cuadro se presentan los resultados obtenidos.

El procedimiento de cada ensayo no se describirá ya que ésta se puede obtener de la norma correspondiente.

2.2.1 GRANULOMETRÍA

NTP 400.012

Viene a ser el retenido en el tamiz NTP 4.75 mm (malla N° 4), proveniente de la desintegración natural o artificial de la roca y que cumpla con los requisitos de la norma NTP 400.012(ver cuadro 3)

El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad por ciento de los diversos tamaños de las partículas que lo constituyen. Para clasificar por tamaño las partículas gruesas el procedimiento es el tamizado. Conocida la composición granulométrica del material, los valores se representan gráficamente en un sistema coordinado semi-logarítmico, donde se puede apreciar la distribución acumulada.

Además, el conocimiento de la composición granulométrica sirve para determinar mezclas con la mayor compacidad y que una vez compactado produzcan la mayor densidad. Agregados de similar dimensión producen el mayor número de vacíos mientras que de existir diferencias entre éstos, su acomodación es mejor y producen la mayor densidad.

*También las granulometrías se define en función de los conceptos de **tamaño máximo** y **tamaño nominal máximo**.*

***Tamaño máximo:** corresponde a la malla más pequeña, por la que pasa todo el agregado. Se utiliza para seleccionar el agregado de acuerdo a la geometría de los encofrados y el refuerzo de acero⁹.*

***Tamaño nominal máximo:** corresponde a la malla mas pequeña en la que se produce el primer retenido.*

*Otro concepto que se usará en este trabajo es el **módulo de fineza**, establecido por D. Abrams en 1925 y se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulados en las mallas de 3", 1 ½", 3/4", 3/8", nros. 4, 8, 16, 50, y 100 dividido entre 100.*

*El **módulo de fineza**, representa la distribución promedio ponderado de las partículas, mas no la distribución de las partículas¹⁰, y se aplicará tanto para el agregado grueso, fino y a la combinación.*

Los resultados de granulometría se presentan en el Cuadro 3, se indica el módulo de fineza del agregado, así como el porcentaje retenido acumulado de la muestra.

⁹ ASOCEM

"BOLETÍN TÉCNICO NRO. 9 - FEBRERO 1984"

Cuadro 3 ENSAYO GRANULOMETRICO – AGREGADO GRUESO

PESO RET.		%	% RET.	% QUE PASA	NTP 400.037
MALLAS	(gramos)				
1 1/2"				100	100
1"	155	8	8	92	95 - 100
3/4"	483	25	33	67	
1/2"	648	34	67	33	25 - 60
3/8"	375	20	87	13	
Nº 4	244	13	100	0	0 - 10
Nº 8			100		0 - 5
Nº 16			100		
Nº 30			100		
Nº 50			100		
Nº 100			100		
Nº 200					
¡ Nº 200					
TOTAL	1905	MÓDULO DE FINEZA	7.20		

2.2.2 PESO ESPECÍFICO DE MASA

NTP 400.021

Es la relación entre la masa de las partículas y el volumen de las mismas a una temperatura constante, y generalmente se expresa en kg/m³.

El peso específico es un indicador de calidad, valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que valores bajos corresponden a materiales absorbentes y débiles.

Los agregados presentan poros, y cuando éstos absorben agua o humedad sin que se les aplique presión, se le considera saturado y superficialmente seco, además si la humedad se mantiene en la superficie, se le denomina saturado

¹⁰ RAFAEL CACHAY HUAMAN "DISEÑO DE MEZCLAS-MÉTODO DEL AGREGADO GLOBAL Y MÓDULO DE FINURA

superficialmente húmedo, si se secan al aire o en horno, se le denomina agregado seco al aire, o completamente seco.

El contenido de agua influye en la resistencia y otras propiedades del concreto, por lo que es necesario su control, si los agregados se encuentran saturados y superficialmente seco, no podrán absorber agua de la mezcla, sin embargo si están parcialmente secos o mojados modifican el agua de diseño.

La Norma distingue tres maneras de expresar el peso específico en función de las condiciones de saturación.

Peso específico (Pe): es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario del material permeable, a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada, libre de gas¹¹.

Peso específico aparente (Pa): es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada, libre de gas¹².

Peso específico saturado con superficie seca (Psss): es lo mismo que peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables¹³.

Los resultados del ensayo se muestran en el Cuadro 4

¹¹ ASOCEM

¹² IDEM

¹³ IDEM

PARA CONCRETOS DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA" - TESIS DE GRADO, UNI-FIC
"BOLETÍN TÉCNICO NRO. 11 - JUNIO 1984"

Cuadro 4 PESO ESPECÍFICO DE MASA

DESCRIPCIÓN	DATOS DE LABORATORIO		
Peso en el aire, muestra seca(gr)	A	1318.6	1320.0
Peso muestra, saturada superf. Seca(gr)	B	1331.0	1329.0
Peso muestra en agua, saturada(gr)	C	850.0	857.0
Peso específico de masa		2.77	2.80
Pe(promedio en gr/cm ³)	$A / (B - C)$	2.78	
Peso saturado superficialmente seco		2.80	2.82
Psss(promedio en gr/cm ³)	$B / (B - C)$	2.81	
Peso específico aparente		2.84	2.85
Pa(promedio en gr/cm ³)	$A / (A - C)$	2.84	

2.2.3 PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

NTP 400.017

Es la relación entre el peso de la partícula y su volumen total incluyendo los vacíos. Se usa para estimar las proporciones en el diseño de mezcla. Los resultados se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5.a PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO

Descripción	Muestra 1	Muestra 2
Peso del molde (gr)	5175.0	5175.0
Volumen del molde (cm ³)	9985.0	9985.0
Peso muestra + peso molde (gr)	20000.0	19800.0
Peso de la muestra (gr)	14825.0	14625.0
P. Unit. suelto (kg/m ³)	1485.0	1462.0
P. Unit. Suelto (kg/m ³) prom.		1475.0

Cuadro 5.b PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO

Descripción	Muestra 1	Muestra 2
Peso del molde (gr)	5175.000	5175.000
Volumen del molde (cm ³)	9985.000	9985.000
Peso muestra + peso molde (gr)	21000.000	20800.000
Peso de la muestra (gr)	15825.000	15625.000
P. unit. Compactado (kr/m ³)	1585.00	1565.00
P. unit. suelto (kr/m ³) prom.		1575.00

2.2.4 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y HUMEDAD

NTP 400.021

a) **ABSORCIÓN:** es la cantidad de agua que los poros del agregado pueden absorber después de 24 horas, (la muestra debe ser sumergida en agua) se expresa en porcentaje. Realmente los poros no se llenan por completo debido a que el agua asciende por capilaridad, quedando vacíos en el agregado. Se debe tomar en cuenta en el diseño de mezcla, pues modifica el agua de diseño. Los resultados se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6 ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	DATOS DE LABORATORIO	
	Peso en el aire, muestra seca (gr)	A
Peso muestra, sat. sup. seca (gr)	B	1331.0
ABSORCIÓN (%)	$(B-A) * 100/A$	0.940%

b) **HUMEDAD:** viene a ser el agua que retienen las partículas del agregado. Debe ser considerado en el diseño de mezclas debido a que contribuye a modificar el agua de diseño. Los resultados se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7 HUMEDAD - AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN	DATOS DE LABORATORIO	
<i>Peso húmedo del agregado(gr)</i>	<i>H</i>	<i>4484.0</i>
<i>Peso seco del agregado(gr)</i>	<i>S</i>	<i>4470.0</i>
<i>ABSORCIÓN (%)</i>	$(H-S)*100/S$	<i>0.312%</i>

2.2.5 PERDIDA POR ABRASIÓN (ENSAYO DE LOS ÁNGELES) NTP 400.020

Es la resistencia al desgaste de un agregado. Se obtiene por un proceso de abrasión y frotamiento, empleando una carga abrasiva. Importante en mezclas de concreto que serán colocados en pavimentos. Los resultados se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8 PERDIDA POR ABRASIÓN

DESCRIPCIÓN	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>
<i>Peso original(gr)</i>	<i>5000.00</i>	<i>4978.0</i>
<i>Peso final(gr)</i>	<i>4295.00</i>	<i>4250.00</i>
<i>% de desgaste</i>	<i>14.1%</i>	<i>14.62%</i>
<i>% de desgaste(promedio)</i>	<i>14.40%</i>	

2.2.6 DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS**NTP 400.016**

Determina la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfatos de sodio o sulfato de magnesio. Importante en la durabilidad de concreto a la intemperie en condiciones climáticas reales. Los resultados se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9 DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO(*)

PASA	RETIENE	IDENTIF.	ORIGINAL (%)	PESO ANTES DE ENSAYO	PESO DESPUES DE ENSAYO	% PERD. DESPUES DE ENSAYO	% PERD. CORREGIDA
2"	1 1/2"						
1 1/2"	1"	IV	8	1005	1004	0.09	-
1"	3/4"	D-1	25	503	488	2.98	0.75
3/4"	1/2"	17-A	34	670	620	7.46	2.53
1/2"	3/8"	20-A	20	330	303	8.18	1.64
3/8"	Nº 4	B-C	13	300	283	5.67	0.74
TOTAL							5.66

(*) EN EL ENSAYO SE UTILIZO SULFATO DE SODIO

2.3 ENSAYOS EN EL AGREGADO FINO

Se indicará la referencia de la norma respectiva, se describe el objetivo del ensayo y se presentan los resultados de laboratorio.

2.3.1 GRANULOMETRÍA**NTP 400.012**

Agregado fino vine a ser el material que pasa el tamiz NTP 9.5 mm. (malla Nº 3/8"), proveniente de la desintegración natural o artificial y que cumpla con los requisitos de la norma NTP 400.012, Cuadro 10.

Cuadro 10 ENSAYO GRANULOMETRICO – AGREGADO FINO

MALLAS	PESO RET. (gr.)	% RETENIDOS	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA ACUM.	NTP 400.037
3/8"				100	100
Nº 4	4	2	2	98	95 - 100
Nº 8	19	10	12	88	80 - 100
Nº 16	44	22	34	66	50 - 85
Nº 30	45	23	57	43	25 - 60
Nº 50	22	11	68	32	10 - 30
Nº 100	30	15	83	17	2 - 10
Nº 200	14	7	90	10	
< Nº 200	22	11	100	—	
TOTAL	200	MÓDULO DE FINEZA	2.52		

2.3.2 PESO ESPECÍFICO DE MASA

NTP 400.022

El objetivo de éste ensayo es el igual al ítem 2.2.2, los resultados se muestran en el Cuadro 11

Cuadro 11 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO

Peso de la muestra (gr)	M	300.00
Peso frasco + agua (gr)	A	656.90
Peso frasco + agua + (M) (gr)	B	956.90
Peso frasco + agua + mat. Sat. Sup. seco (gr)	C	844.70
Volum. de masa + vol. de vacíos (gr)	D= B-C	112.20

Cuadro 10 ENSAYO GRANULOMETRICO – AGREGADO FINO

MALLAS	PESO RET. (gr.)	% RETENIDOS	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA ACUM.	NTP 400.037
3/8"				100	100
Nº 4	4	2	2	98	95 - 100
Nº 8	19	10	12	88	80 - 100
Nº 16	44	22	34	66	50 - 85
Nº 30	45	23	57	43	25 - 60
Nº 50	22	11	68	32	10 - 30
Nº 100	30	15	83	17	2 - 10
Nº 200	14	7	90	10	
< Nº 200	22	11	100	—	
TOTAL	200	MÓDULO DE FINEZA	2.52		

2.3.2 PESO ESPECÍFICO DE MASA

NTP 400.022

El objetivo de éste ensayo es el igual al ítem 2.2.2, los resultados se muestran en el Cuadro 11

Cuadro 11 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO

Peso de la muestra (gr)	M	300.00
Peso frasco + agua (gr)	A	656.90
Peso frasco + agua + (M) (gr)	B	956.90
Peso frasco + agua + mat. Sat. Sup. seco (gr)	C	844.70
Volum. de masa + vol. de vacíos (gr)	D= B-C	112.20

Peso mat. seco en estufa (gr)	E	297.60
Volum. de masa	$F = D - (M - E)$	109.80
Peso específico	$Pe = E/D$	2.652
Peso esp. sat. Sup. Seca (gr/cm ³)	$P_{sss} = M/D$	2.674
Peso de masa seca (aparente) (gr/cm ³)	$Pa = E/F$	2.710

2.3.3 PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

NTP 400.017

Igual a ítem 2.2.3, los resultados se muestran en el Cuadro 12

Cuadro 12.a PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO

Descripción	Muestra 1	Muestra 2
Peso del molde (gr)	183.00	183.00
Volumen del molde (cm ³)	943.790	943.790
Peso muestra + peso molde (gr)	1694.00	1710.00
Peso de la muestra (gr)	1511.00	1527.00
P. Unit. Suelto (kr/m ³)	1601	1618
P. Unit. Suelto (kr/cm ³) prom.		1609

Cuadro 12.b PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

Descripción	Muestra 1	Muestra 2
Peso del molde (gr)	5175.00	5175.00
Volumen del molde (cm ³)	9985.00	9985.00
Peso muestra + peso molde (gr)	23100.00	23110.00
Peso de la muestra (gr)	17925.00	17935.00
P. Unit. Suelto (kg/m ³)	1795	1796
P. Unit. Suelto (kg/m ³) prom.		1795

2.3.4 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y HUMEDAD**NTP 400.021**

Igual al ítem 2.2.4, los resultados se muestran en el Cuadro 13

Cuadro 13 ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>DATOS DE LABORATORIO</i>	
<i>Peso en el aire, muestra seca</i>	<i>A</i>	<i>300.000</i>
<i>Peso muestra, sat. sup. seca</i>	<i>B</i>	<i>297.600</i>
<i>ABSORCIÓN (%)</i>	$(B-A) * 100/A$	<i>0.810%</i>

2.3.5 MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA N° 200**NTP 400.018**

Se presentan recubriendo el agregado grueso o mezclado con la arena (limos y arcillas). Afecta la adherencia entre el agregado y la pasta, afectando la resistencia, se acostumbra limitarlos entre 3% a 7%¹⁴.

Cuadro 14 MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA N° 200

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>Muestra 1(500 gr)</i>	<i>Muestra 2(500 gr)</i>
<i>Recipiente + muestra</i>	<i>630.0</i>	<i>630</i>
<i>Recipiente + muestra lavada</i>	<i>578.0</i>	<i>570.0</i>
<i>Material mayor # 200</i>	<i>52.0</i>	<i>60.0</i>
<i>% que pasa # 200</i>	<i>10.4</i>	<i>12.0</i>
<i>Promedio(%)</i>	<i>11.20</i>	

Presentadas las características físicas de los agregados, se procederá al diseño de mezclas, tema que trata en el siguiente capítulo.

¹⁴ ENRIQUE PASQUEL C.

"TÓPICOS DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO EN EL PERÚ"

CAPÍTULO III

DISEÑO DE MEZCLA PARA CCR. – DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

- *GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GLOBAL*
- *COMPACTACIÓN - TEORÍA – CONTROL – CÁLCULO DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA Y ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD*
- *DISEÑO DE MEZCLAS – CÁLCULO DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO (w/c)*

DISEÑO DE MEZCLAS PARA CCR. DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

El CCR evoluciona a partir de mezclas de suelo - cemento, sin embargo las mezclas de estos agregados debe obedecer a algún método de diseño. Existen varios métodos de diseño, como por ejemplo, el método del ACI, método de Walker, etc.

Para el presente trabajo, se utiliza el Método del Agregado Global, debido a que representa mejor el comportamiento de la mezcla, y esta comprobado experimentalmente que para diferentes muestras, conservando el módulo de fineza constante, los requerimientos de agua, resistencia y trabajabilidad dentro de ciertos límites son los mismos.¹⁵

Para elaborar este tipo de mezcla (de consistencia seca), se consultaron las especificaciones ACI 211.3 - 75, revisada en 1987 y reprobada en 1992, y la 207.5 R -89, para Roller Compacted Concrete (que especifica el diseño de mezclas para presas), la primera de las mencionadas se utilizó como referencia para el diseño de mezclas, sin embargo se obtuvo mezclas pedregosas y la cantidad de agua no permitía compactar adecuadamente la mezcla, lo mismo se obtuvo al utilizar el diseño que recomienda el ACI 211.81.

La norma ACI 207.5 R - 89, está fuera del alcance de la presente tesis debido a que utiliza agregado grueso de mayor tamaño, menor contenido de cemento y agua.

Por otro lado, utilizando conceptos del Agregado Global y de Mecánica de Suelos, se observó que la mezcla presentaba un comportamiento adecuado de trabajabilidad y resistencia.

¹⁵ ENRIQUE PASQUEL CARBAJAL

Por las razones antes expuestas, para la presente investigación se utilizará como referencia conceptos del Agregado Global y de Mecánica de Suelos.

3.1 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GLOBAL

Es la combinación de los agregados en proporciones adecuadas que cumplen con ciertos requisitos de una determinada especificación.

Esta combinación representada en una curva debe ser lo mas tendida posible ya que indicará gran variedad de tamaño, agregados de similar dimensión quedará representado por una línea vertical. Una curva tendida o suave influenciará en la densidad del material compactado, debido a que la estructura de la mezcla será más densa y su volumen de vacíos quedará reducida a un mínimo.

Para el cálculo de las proporciones se utilizará el método gráfico del cuadrado (el método se explica mas adelante), también se puede calcular utilizando el concepto de módulo de la combinación, que relaciona los módulos de los agregados grueso y fino con la participación porcentual en volumen de los mismos.

La ecuación que relaciona éstos parámetros es:

$$M = r_f * m_f + r_g * m_g$$

donde:

M	Módulo de fineza de la combinación de los agregados.
m_f	Módulo de fineza del agregado fino
m_g	Módulo de fineza del agregado grueso.

<i>rf</i>	<i>% de agregado fino con relación al volumen absoluto del agregado.</i>
<i>rg</i>	<i>% de agregado grueso con relación al volumen absoluto del agregado.</i>

Se observa que, para obtener el módulo de la combinación, es necesario conocer los módulos de los agregados, y éstos se calculan a partir del ensayo de granulometría para agregados, es importante anotar que, el método obvia el análisis de la mezcla total y podría presentarse un contenido de finos que afecten la calidad del concreto y la compactación del mismo.

3.1.1 COMPARACIÓN ENTRE HUSOS PARA BASES Y SUB - BASES, SEGÚN EL MTCVC, Y HUSOS PARA CONCRETO NTP 400.037 Y ACI 304.

Debido a que el producto final es una mezcla de agregados para concreto y con características de mezclas de suelos para bases, se comparan los husos utilizados para bases y sub - bases según el MTCVC con los husos para elaborar concreto.

De la tabla 1, se puede observar que, en la malla nro. 200 del huso del MTCVC presenta un rango de 5 a 15% de material pasante, en el huso del NTP y del ACI presenta un valor de cero. De acuerdo al MTCVC, para bases y sub-bases un contenido de finos mayor al especificado puede producir problemas de compactación.

Para una mejor visualización se han superpuesto los tres husos, gráfico 1, obsérvese que la curva obtenida en laboratorio cumple con los límites especificados por los husos, el huso más exigente es el de la NTP, mallas 100 y 200, que limitan el contenido de fino, sin embargo en las muestras de laboratorio se ha podido observar que un mayor contenido de fino (sin salir de los límites del

huso del MTCVC) mejoró la mezcla y se pudo compactar adecuadamente, esto se debe a que los finos sirvieron para llenar los vacíos en la mezcla.

La combinación de los materiales que cumplan con los requisitos de los husos, debe satisfacer los requerimientos que se exigen al material, sin embargo el material puede no cumplir con los porcentajes de los husos individualmente para la arena y piedra y si se les mezcla en proporciones adecuadas, su granulometría global puede quedar comprendida en algunos de los husos indicados y tener un comportamiento adecuado.

Tabla 1 COMPARACIÓN ENTRE HUSOS PARA BASES Y SUB - BASES, SEGÚN EL MTCVC, Y HUSOS PARA CONCRETO NTP 400.037 Y ACI 304

TAMAÑO DE MALLA	% EN PESO QUE PASA		
	MTCVC	NTP 400.37 37,5 mm (1 1/2")	ACI 304 25,0 mm(1")
2"	100	100	
1 1/2"		95 - 100	
1"	75 - 95		100
3/4"		45 - 80	80 - 88
1/2"			65 - 77
3/8"	40 - 75		50 - 70
Nro. 4	30 - 60	25 - 50	40 - 59
Nro.8			28 - 46
Nro.10	20 - 45		
Nro.16			18 - 34
Nro.30		8 - 30	12 - 24
Nro.40	15 - 30		
Nro.50			7 - 15
Nro.100		0 - 8	3 - 8
Nro.200	5 - 15		

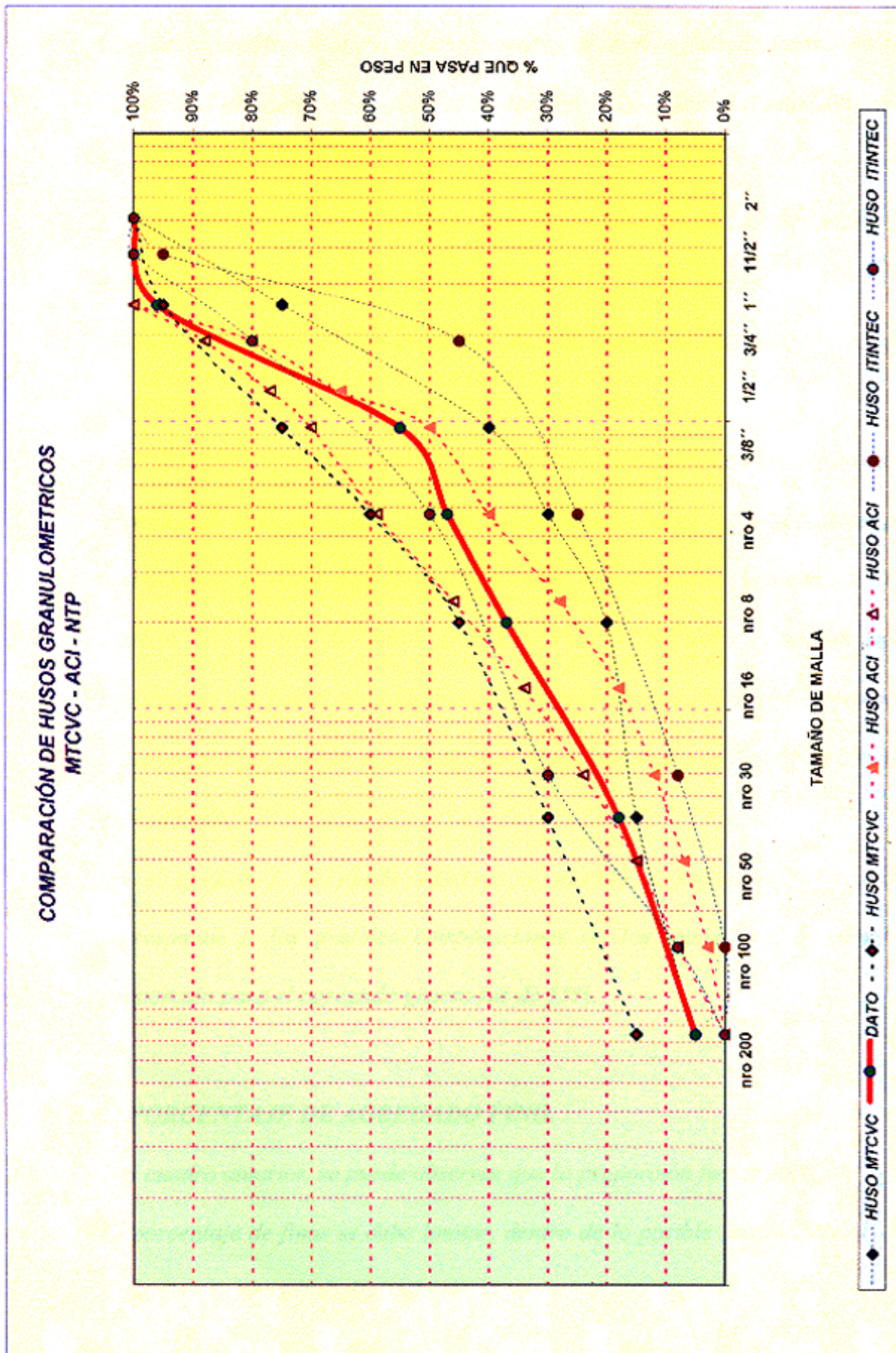


Gráfico 1 COMPARACIÓN ENTRE HUSOS PARA BASES Y SUB-BASES Y HUSOS PARA CONCRETO

3.1.2 PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO

Uno de los problemas que se nos presenta, es la combinación de los materiales, de tal forma de obtener una mezcla aceptable que cumpla una determinada especificación.

El método utilizado en este trabajo, para la combinación de los materiales, es el método gráfico del cuadrado, presentado por Rico y Del Castillo.

El método consiste en un cuadrado de 100 unidades de lado, en el que se representaran los porcentajes pasantes de cada malla.

En cada escala vertical se marcará los porcentajes pasantes para cada material de acuerdo al tipo de malla que le corresponda, luego se unen estos puntos representado el porcentaje de en cada malla. Seguidamente, sobre éstas líneas se marcan los límites del huso granulométrico a utilizar que representan los porcentajes que pasan por cada malla. La menor separación de todas éstas marcas representará las posibles combinaciones de los materiales que cumplen con el huso especificado.

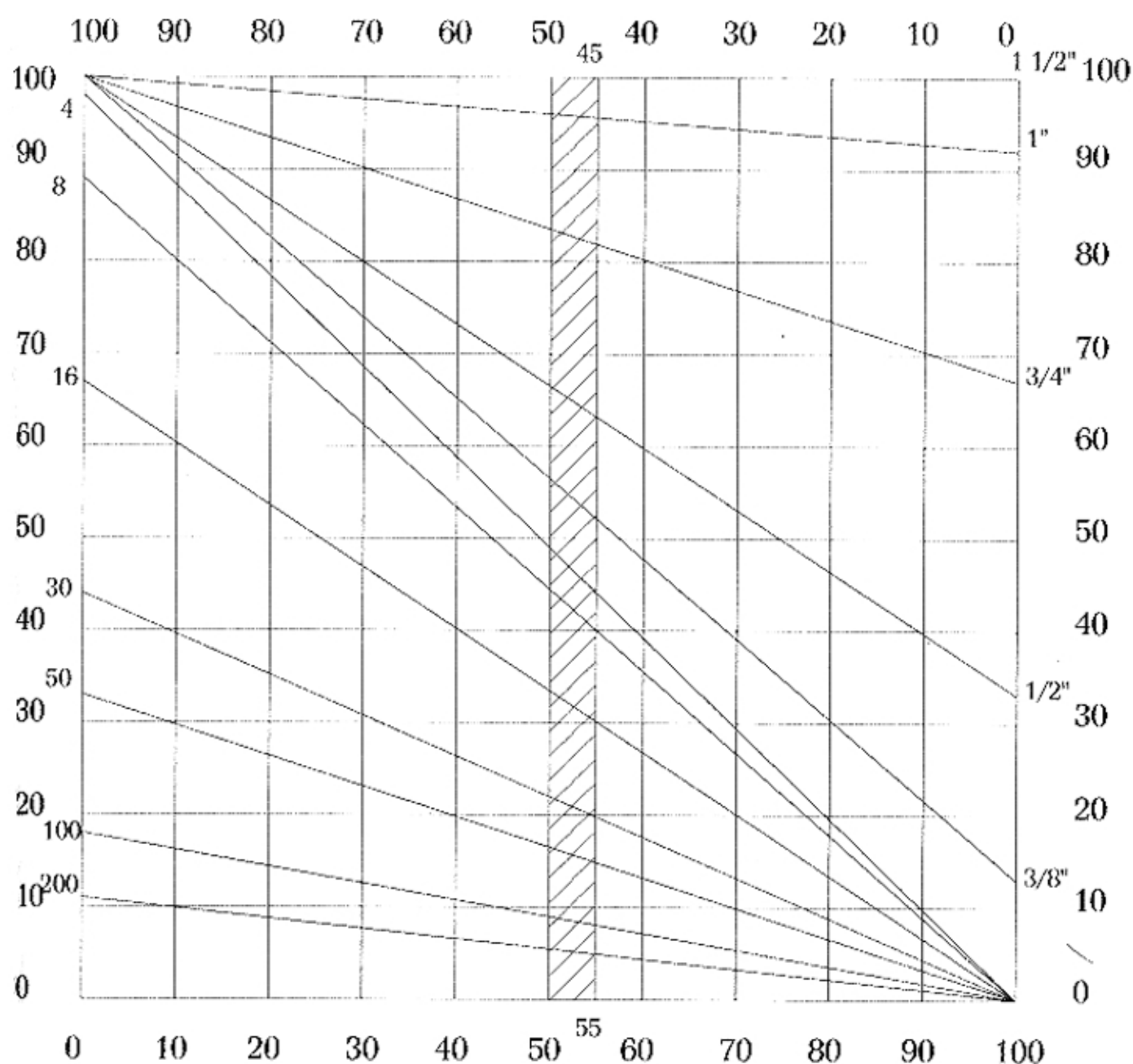
En el gráfico 2, se puede observar el método expuesto, la zona achurada corresponde a las posibles combinaciones de los materiales. Finalmente, la proporción para el agregado grueso fue de 55%.

3.1.3 PORCENTAJE DE AGREGADO FINO.

Del cuadro anterior, se puede observar que la proporción fue de 45%.

El porcentaje de finos se debe limitar, dentro de lo posible (malla 200) al 15% de acuerdo a la especificación del MTCVC.

GRAFICO 2. METODO DEL CUADRADO - MEZCLA DE DOS MATERIALES



Esc. 6:1

3.1.4 PORCENTAJE DE CEMENTO

El cemento se considero como parte del agregado fino, y su intervención en la mezcla de suelos fue en un rango de 10% al 14 % del peso total del agregado fino.

El mismo rango de variación se utilizó en el diseño de mezclas para elaborar concreto. Se observó en las pruebas iniciales que, con 14% de cemento en la mezcla, se obtuvo una resistencia del orden de 300 Kg/cm² a 7 días, por lo que se decidió disminuir el porcentaje de cemento a un orden del 12 %.

Con 55% de agregado grueso y 45% de agregado fino (incluido el cemento), se hicieron pruebas iniciales y, se obtuvo resistencias en un orden de 110 kg/cm², a 1 día y 150 kg/cm² a 7 días.

En la figura 2, se muestra los porcentajes de participación de los materiales para una mezcla de CCR, sin incluir el agua.

3.2 COMPACTACIÓN - TEORÍA - CONTROL, CÁLCULO DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA Y ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO)

1. COMPACTACIÓN

Un suelo esta compuesto por una parte sólida y por otra de vacíos (agua y aire), al aplicar una fuerza sobre el suelo, éste se reagrupa y se consolida, reduciendo de esta manera al mínimo los espacios vacíos. Al proceso de disminución de vacíos por una fuerza externa se le denomina compactación.

El objetivo principal de la compactación es mejorar las propiedades del material en los siguientes aspectos:

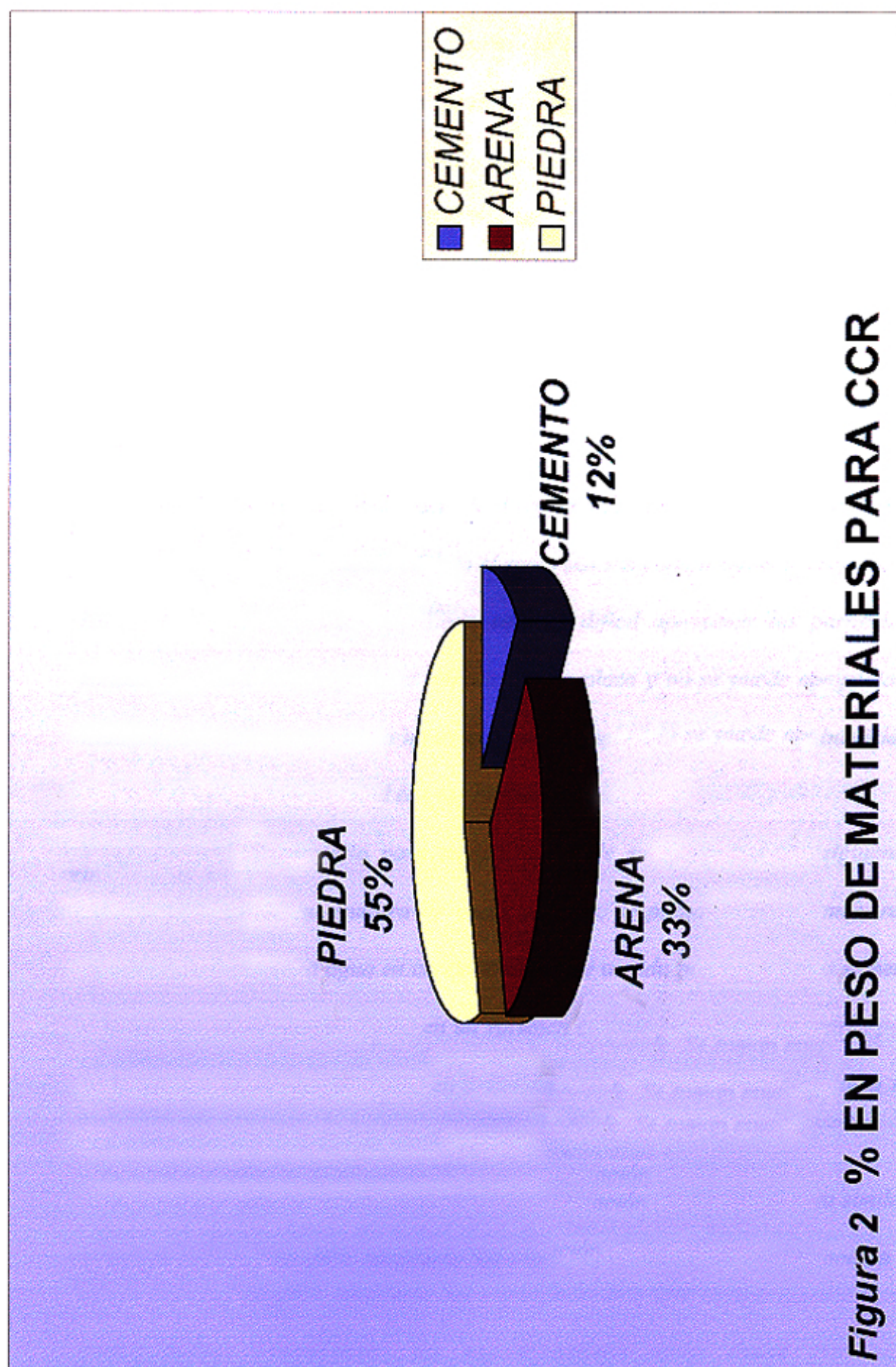


Figura 2 % EN PESO DE MATERIALES PARA CCR

- *Aumentar la resistencia al corte, mejorando la estabilidad de la base, aumenta la capacidad de carga en las cimentaciones y en los pavimentos.*
- *Disminuir la comprensibilidad, disminuyendo los asentamientos.*
- *Disminuir la relación de vacíos y reducir la permeabilidad.*
- *Disminuir la contracción y expansión por congelamiento*

2. TEORÍA - CONTROL

Los trabajos del Ing. Proctor se iniciaron en 1929 y se publicaron en 1933 (Fundamental Principles of Soil Compaction - Engineering New Record, Agosto y setiembre de 1933). La idea base de Proctor era que la compactación por expulsión de aire se producirá cuando el suelo sea sometido a esfuerzos repetidos (choques), si el suelo esta demasiado seco es difícil aproximar las partículas sólidas, y si esta muy húmedo el material se desplaza y no se puede compactar. Entonces debe existir un punto intermedio en el que a una determinada humedad se consiga la máxima densidad con los medios utilizados¹⁶

Los ensayos de laboratorio para compactación de suelos parten del siguiente principio: Se toma una muestra de suelo, se seca, se preparan varias muestras parciales, se les agrega agua en cantidad diferente a cada porción y se les somete a una compactación normalizada en un volumen conocido. Se toman muestras por cada ensayo de compactación y se calcula la densidad seca, luego se plotea la densidad seca en función de la humedad de compactación.

Esta curva que se obtiene presenta la siguiente característica: es una curva similar a una parábola con el vértice en la parte superior. La densidad seca aumenta a

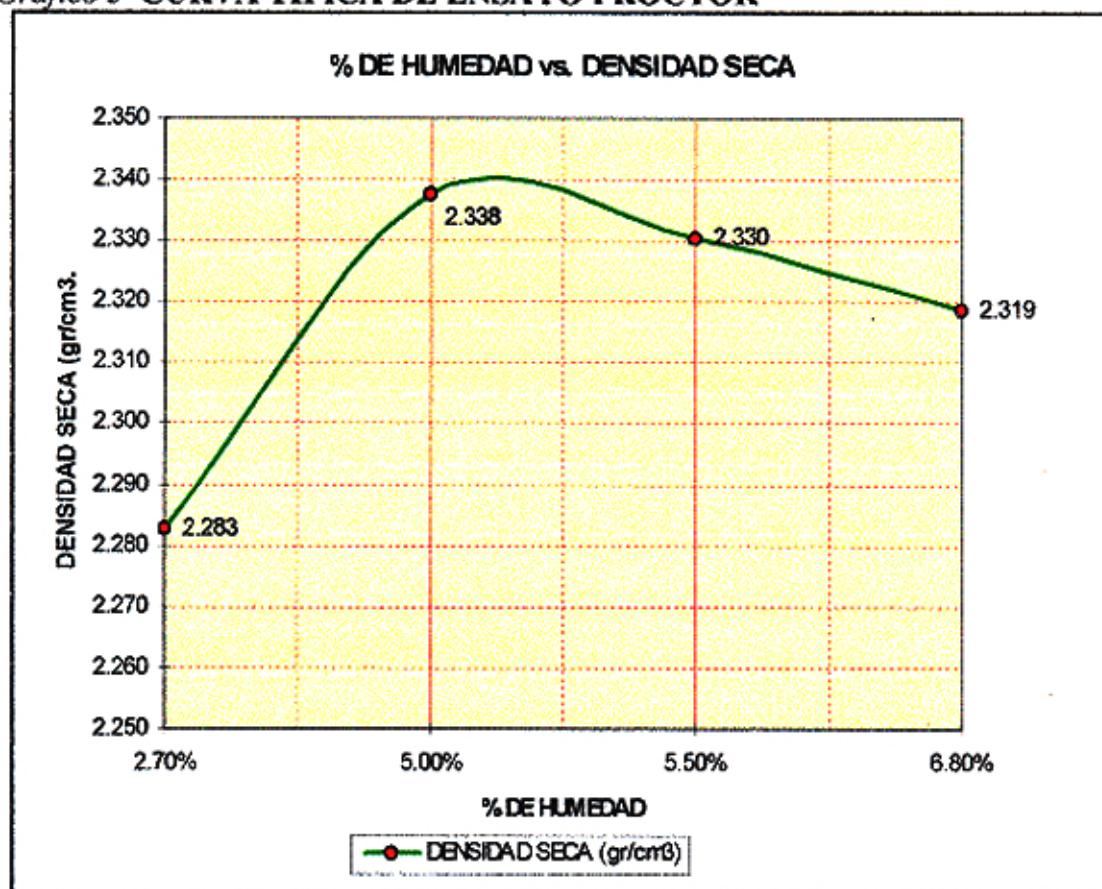
¹⁶ G. JEUFFROY

"PROYECTO DE CARRTERAS T-1"

medida que se incrementa el contenido de humedad, hasta llegar a un valor máximo, para luego descender cuando los incrementos de agua son altos.

Las coordenadas de éste punto máximo se les conoce como Óptimo Contenido de Humedad (OCH) y Máxima Densidad Seca (MDS). Una curva típica de Proctor se muestra en la gráfico 3.

Gráfico 3 CURVA TÍPICA DE ENSAYO PROCTOR



La compactación depende de varios factores, los cuales incluye el tipo de suelo, la humedad que presente, el espesor de capa a compactar, el equipo utilizado, la velocidad y el número de pasadas.

Cuando las características del material queden definidas en laboratorio por medio de los ensayos, se debe establecer las especificaciones que aseguren una buena compactación. Generalmente las especificaciones están dadas por una

compactación relativa, que se define como la relación entre la densidad seca en el campo y la densidad seca máxima obtenida en el laboratorio.

$$\text{COMPACTACIÓN RELATIVA (CR)} = \text{Densidad en el Campo/Densidad máxima}$$

La CR, se expresa en términos de porcentaje, y los valores típicos especificados son entre 90% y 100%.

Por otro lado la compactación se puede especificar de acuerdo al tipo de rodillo a utilizar, indicando su peso, el número de pasadas, la velocidad y el espesor de capa. Para determinar lo anterior, es preciso hacer tramos de pruebas en la etapa de diseño, es decir experimentar con diferentes espesores de capas y diferentes energías de compactación, y así obtener la combinación más eficiente y eficaz. Por las diferentes variables y el costo que involucra un tramo de prueba, éste método se justifica para proyectos de gran envergadura, tales como las presas de concreto.

CÁLCULO DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA Y ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO)

Por lo general se utilizan diferentes ensayos normalizados para calcular la Máxima Densidad Seca, tres de los ensayos se basan en normas británicas y dos en normas americanas, Tabla 2.

Tabla 2 ENSAYOS NORMALIZADOS PARA CALCULAR LA MÁXIMA DENSIDAD SECA

ENSAYO	REFERENCIA ESTANDAR	MASA	ALTURA DE CAÍDA	VOLUMEN DEL MOLDE	CAPAS	GOLPES POR CAPA
Método del martillo 2,5 Kg	BS 1377:1975 Ensayo 12	2,5 Kg	300 mm.	1.000 cm ³ .	3	27
Método del martillo 4,5 Kg	BS 1377:1975 Ensayo 13	4,5 Kg	450 mm.	1.000 cm ³ .	5	27
Proctor standard	ASTM D -698-78	2,49 Kg	305 mm.	944 cm ³ .	3	25

AASHTO standard	AASHTO T-99	(5,5 lb)	(12 pulg)	(1/30 pie ³)		
Proctor modificado	ASTM D-1557-78	4,54 Kg	457 mm.	944 cm ³ .	5	56
AASHTO modificado	AASHTO T-180	(10 lb)	(18 pulg)	(1/30 pie ³)		
Método del martillo	BS 1377:1975	La muestra se compacta en un molde de CBR, en tres capas mediante un martillo vibratorio durante 60 segundos				
Vibratorio	Ensayo 14					

Referencia: "Mecánica de Suelos" de Peter L. Berry - David Reid.

Del cuadro anterior se puede observar que, los ensayos se basan en compactación por impacto, excepto el último que se basa en una combinación de vibración y presión estática. En nuestro medio, los ensayos se basan en normas americanas, es decir se utiliza Proctor estándar o modificado según sea el tipo de material a ensayar, por otro lado, el método del martillo vibratorio, es utilizado en diseños de mezclas para presas, (caso de presas en Colombia, Brasil, USA, etc.), sin embargo, en Argentina, España es común utilizar éste ensayo para diseños de pavimentos, ya que da una mejor representación del material.

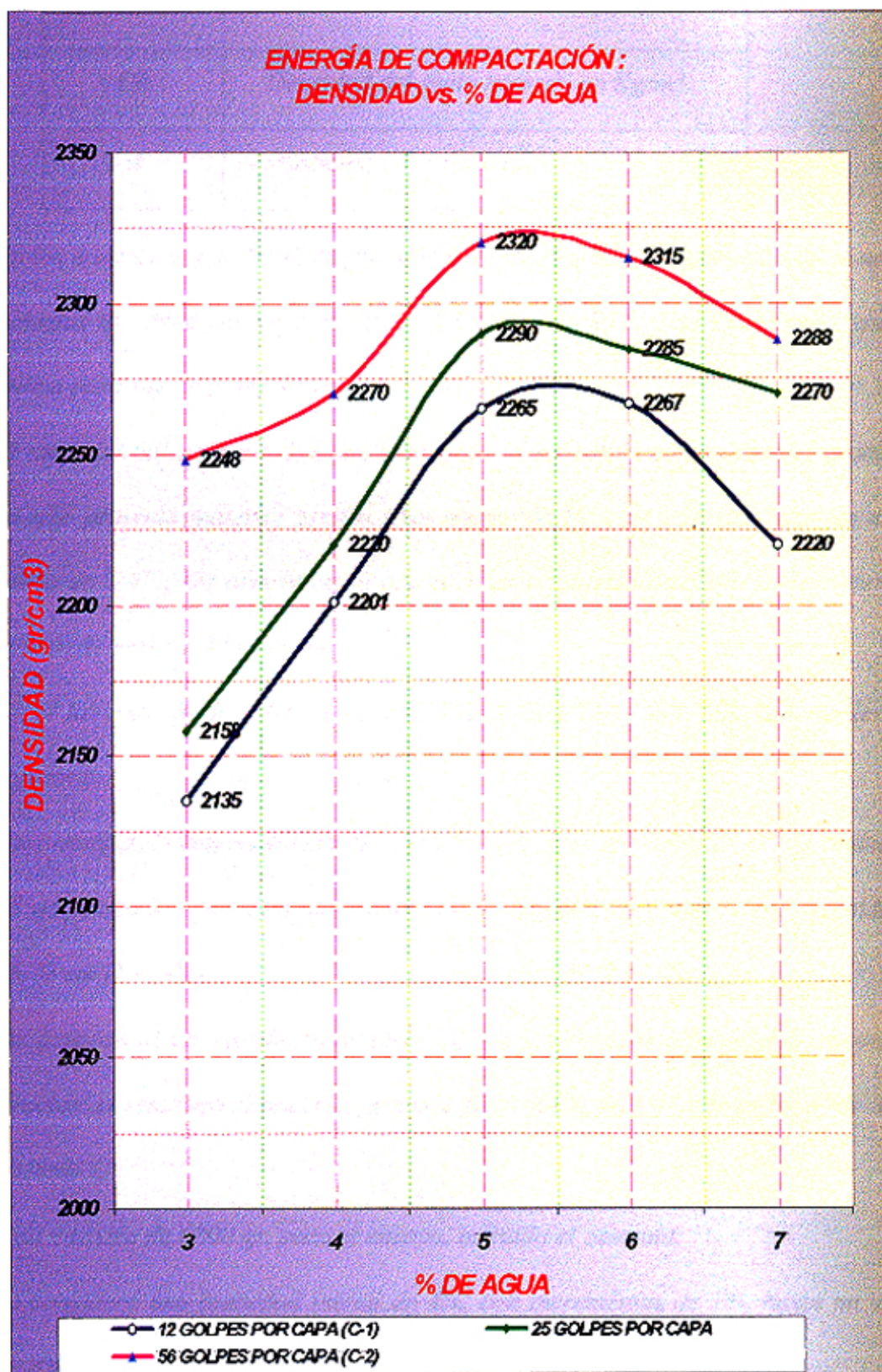
Se debe tener presente que, dependiendo de la energía de compactación utilizada, se obtiene densidades diferentes para un mismo material, como se puede apreciar en el gráfico 4.

Obsérvese que, para una mayor energía de compactación, se obtiene una mayor densidad y un menor contenido de humedad (curva C-1), si la energía de compactación es menor, se obtiene menor densidad y mayor contenido de humedad (curva C-2).

La Máxima Densidad Seca (MDS), se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$D_s = D_h / (1 + w)$$

Gráfico 4 CURVAS PROCTOR CON DIFERENTES ENERGÍAS DE COMPACTACIÓN



donde:

D_s	Máxima Densidad Seca en Kg/m ³ .
D_h	Densidad del suelo húmedo en Kg/m ³ .
w	Porcentaje de humedad.

En los ensayos se pueden distinguir dos tipos de Proctor, el standard, que se aplica a suelos que contienen gravas hasta del orden de 3/8", y el modificado, que se utiliza para suelos granulares.

El material utilizado en el presente trabajo se considera como material granular, ya que presenta material grueso (con menos de 30% de material retenido en la malla de 3/4"). De acuerdo a lo anterior, en el presente trabajo se considera el ensayo de Proctor Modificado.

En el laboratorio del MTCVC, para calcular la MSD y el OCH, se consideró lo siguiente.

- Una energía de compactación de 28,45 Kg-cm/cm³, un molde de 6" de diámetro, 56 golpes en 5 capas, con una masa de 4,54 Kg. (10 lb) y una altura de caída de 45,72 cm (18 pulg).
- De acuerdo al ensayo de granulometría, y a las especificaciones del ensayo del Proctor, se sustituyó el material retenido en la malla de 3/4" por material de 3/8". (método C).
- Una muestra de 6000 gr, para el ensayo, incluido el cemento.
- Se consideró una humedad inicial de 4%, con incrementos de 1%, hasta un valor de 8%.

En laboratorio se obtuvo densidades secas en un orden de 2.300 kg/m³ a 2.405 kg/m³. El contenido de humedad varió de 6% a 7,5%, con un porcentaje de agregado grueso del orden de 50% a 65% y variando el cemento de 10% a 14%.

En el cuadro 15, se muestra el cálculo de la MDS y OCH, para una muestra de 6000gr, con un contenido de cemento de 12%, en el gráfico 5, se aprecia la curva que se obtiene planteando las densidades vs. el porcentaje de humedad.

Una vez conocida la densidad que se alcanza en esta muestra para un contenido de humedad, se procede a hacer el diseño de mezclas, sin embargo se debe tener presente que los moldes que se utilizan en la preparación de mezclas de concreto son diferentes a los moldes utilizados en los ensayos de Proctor, por lo que se debe considerar una equivalencia entre ambos moldes, ver figura 3. Para tal efecto se ha considerado lo siguiente:

- La energía de compactación será la misma, es decir el molde de concreto de 6" x 12", se compactará con 28,45 Kg-cm/cm³(56 golpes por capa).
- La masa para compactar es de 4,54 kg, con una altura de caída de 45,72 cm.

La variable desconocida, es el número de capas a compactar para un volumen conocido. Del cuadro anterior, se aprecia la equivalencia entre el molde del ensayo del proctor y un molde para concreto, así mismo, en la parte inferior se muestra el cálculo, para el número de capas necesarias para compactar un molde de 6" x 12", sin variar el resto de variables.

ENSAYOS DE PROCTOR

Cuadro 15

%hum. asum.	4.00%	5.00%	6.00%	7.00%
psh. + molde(gr)	7,838.0	8,020.0	8,106.0	8,145.0
peso molde (gr)	2,810.0	2,810.0	2,810.0	2,810.0
psh.(gr)	5,028.0	5,210.0	5,296.0	5,335.0
vol. molde(cm3)	2,116.0	2,116.0	2,116.0	2,116.0
dsh.(gr/cm3)	2.38	2.46	2.50	2.52
dss.(gr/cm3)	2.31	2.35	2.37	2.36
agua (cm3)	209.00	269.00	328.00	388.00
%humedad	2.70%	4.80%	5.50%	6.80%

Gráfico 5 CURVA DE ENSAYO DE PROCTOR

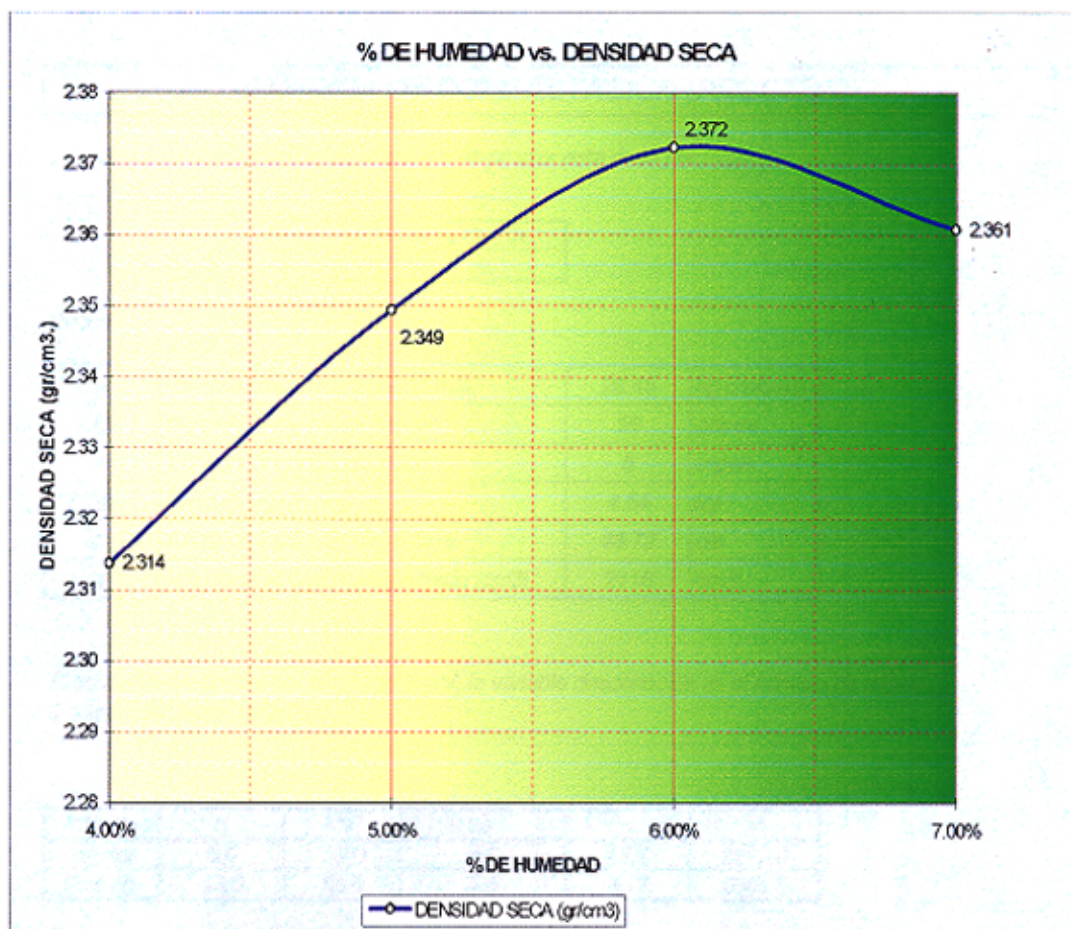
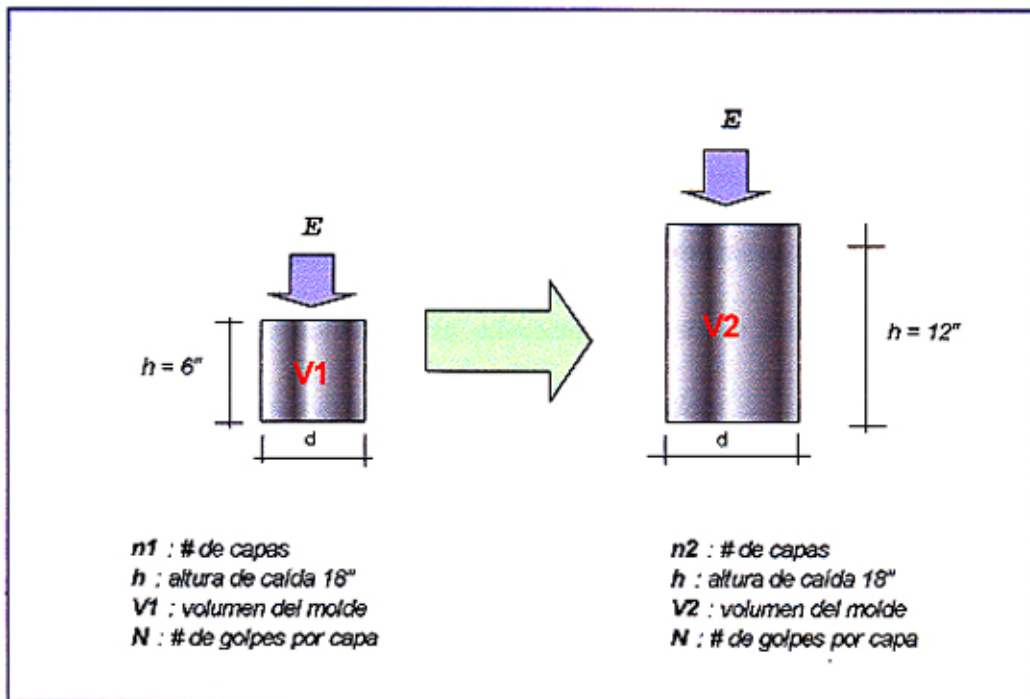


Figura 3 EQUIVALENTE DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN PARA UN MOLDE DE 6"x12"



ENERGIA DE COMPACTACION (PROCTOR)

La energía de compactacion en el ensayo de proctor esta dada por :

$$E_e = \frac{N \cdot n \cdot w \cdot h}{V}$$

Donde :

E_e	Energía específica (kg-cm/cm ³)	28.45	kg-cm/cm ³
N	Número de golpes por capa	58	golpes
n	Número de capas del suelo	5	capas
w	Peso del pisón (kg)	4.54	kg
h	Altura de caída del pisón (cm)	45.72	cm
V	Volumen del suelo compactado (cm ³)	2116	cm ³

Si se mantiene constante : E_e , N , w , h y V , la variable desconocida es el número de capas a compactar, luego tenemos:

Molde	n	N	w	h	V
Proctor	5.0	56.0	4.5	45.7	2116.0
Probeta	13.0	56.0	4.5	45.7	5301.5

3.3 DISEÑO DE MEZCLAS, CÁLCULO DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO (a/c), CORRECCIÓN

3.3.1 DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezclas, se puede definir como el proceso de proporcionamiento de los materiales más adecuados, para combinarlos convenientemente y producir una mezcla trabajable y de consistencia adecuada en estado fresco y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador.

La proporción y el tipo de materiales establecen la calidad del concreto y por ende la calidad del sistema estructural, pero no sólo deberán escogerse buenos materiales, sino mantener cierta uniformidad en todo el producto.

El diseño de mezclas debe proporcionar mezclas que cumplan con las siguientes características generales.

- *Una adecuada **densidad**.*
- *Una elevada **resistencia interna**.*
- *Un adecuado control de la **relación agua/cemento**, ya que ésta está asociada con la resistencia requerida y la trabajabilidad.*
- *Una **textura superficial cerrada** para concreto expuestos a condiciones climatológicas adversas.*

El objetivo del diseñador debe ser el de producir mezclas de concreto de resistencia óptima con el menor contenido de cemento y trabajabilidad adecuada, para lograr esto el proporcionamiento de la mezcla debe basarse en información obtenida de los resultados de laboratorio (experiencias anteriores, muestras estadísticas, etc.)

Para el diseño de mezclas se tratará de obtener las siguientes características, una relación agua/cemento que logre la máxima densidad y la mayor resistencia.

Para el diseño de mezclas, existen diferentes métodos, tales como: el método del ACI, método de Walker, método del módulo de finura de la combinación de los agregados, etc. Tal como se mencionó anteriormente, en el presente trabajo, se diseña la mezcla con el método del agregado global.

Para el proporcionamiento de la mezcla, con algunas modificaciones dependiendo del método que se utilice, la siguiente secuencia se puede tomar como referencia.

- 1. Seleccionar la resistencia promedio.*
- 2. Seleccionar el tamaño máximo nominal del agregado.*
- 3. Seleccionar el asentamiento a utilizar, de acuerdo al tipo de estructura*
- 4. Selección de la cantidad de agua de diseño.*
- 5. Selección del porcentaje del contenido de aire en la mezcla.*
- 6. Selección de la relación agua/cemento, ya sea por resistencia o por durabilidad.*
- 7. Cálculo de la cantidad de cemento.*
- 8. Cálculo del volumen absoluto de la pasta.*
- 9. Cálculo del volumen del agregado.*
- 10. Cálculo del modulo de finura de fineza de la combinación de los agregados.*
- 11. Cálculo del porcentaje del agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregados.*
- 12. Cálculo del volumen de los volúmenes absolutos de los agregados.*
- 13. Cálculo del peso seco de los agregados.*

14. Cálculo de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y grueso.

15. Corrección por humedad de los agregados.

16. Determinación en peso de las proporciones de la mezcla.

3.3.2 CÁLCULO DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO (a/c)

La resistencia depende la relación a/c , la cual se puede calcular utilizando conceptos de tecnología de concreto o criterios de mecánica de suelos.

La relación a/c , se puede calcular:

1. Por medio de gráficas del comité del ACI.
2. Por mezclas de pruebas.
3. Por el ensayo de Proctor.

Los dos primeros puntos corresponden a conceptos relacionados con tecnología de concreto y el tercer punto a conceptos de mecánica de suelos.

De acuerdo al método que recomienda el ACI, la cantidad de agua que se obtiene hace imposible la compactación de la mezcla, se obtienen mezclas con mucha piedra, por otro lado, se debe tener en cuenta que no evalúa la granulometría de la combinación de los agregados.

Las gráficas del ACI se deben tomar como valor referencial, y correlacionan el $f'c$ con la relación a/c para concretos con aire y sin aire incorporado, $f'c$ vs. tamaño nominal, $f'c$ vs. condiciones de durabilidad.

El ensayo de Proctor, no está considerado dentro de los criterios para el cálculo de la relación a/c en un diseño de mezcla, ya que éste ensayo se asocia más con Mecánica de Suelos, y correlaciona humedad vs. densidad. Sin embargo, como se mostrará más adelante, por la naturaleza del concreto que se desea obtener, la

cantidad de agua que se obtiene del ensayo de Proctor, mejora considerablemente las características de la mezcla.

3.3.3 CORRECCIÓN

Una vez que, la relación a/c quede determinada, al igual que las proporciones de los agregados, el agua en la mezcla se corregirá, para lo cual se deberá tener en consideración la condición de humedad y absorción de los agregados.

En el capítulo de ensayos de materiales (Cap III), se definieron las diferentes condiciones de humedad que puede presentar el agregado, tales como: Seco, semi-seco, saturado superficialmente seco y húmedo o mojado.

Antes de plantear la corrección del agua de la mezcla, recordemos los conceptos de humedad, absorción y humedad superficial.

HUMEDAD: *Cantidad de agua presente en el material, y se determina por la diferencia entre su peso y su peso seco.*

ABSORCIÓN: *Cantidad de agua que necesita el agregado, para pasar del estado seco al estado saturado superficialmente seco.*

HUMEDAD SUPERFICIAL: *Es la diferencia entre el contenido de humedad y la absorción. Siendo esto una diferencia algebraica, se pueden presentar dos casos, que sea positiva, lo cual significará que el agregado aporta agua a la mezcla y ésta se debe disminuir del agua de diseño, si es negativa, significa que el agregado toma agua de la mezcla, por lo que se debe adicionar agua al diseño.*

Finalmente el agua que se incorpora a la mezcladora estará dada por, el agua de diseño mas el aporte de humedad de los agregados (entiéndase que el aporte de los agregados puede ser positivo o negativo)

Considerando lo expuesto anteriormente para el diseño mezclas, se procedió al cálculo para 1m³ de concreto para CCR, ver Tabla 3 y en la figura 4 se aprecia la participación porcentual en peso de los materiales.

Tabla 3 **DISEÑO DE MEZCLAS PARA CCR.**

DATOS GENERALES	
Peso específico del cemento	3.11 gr/cm ³ .
Relación agua/cemento	0.517
Peso específico arena	2652.00 Kg/m ³ .
Peso específico piedra	2770.00 Kg/m ³ .
HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS	
ARENA	
Humedad	0.81%
Absorción	1.20%
PIEDRA	
Humedad	0.31%
Absorción	0.94%
CÁLCULO PARA DISEÑO 1.00 m³. DE CONCRETO	
% de aire	1.50%
Volumen de agua	158.00 lt.
Cantidad de cemento	306.00 Kg
Volumen de pasta	0.27159 m ³ .
Peso de arena	789.00 Kg
Peso de piedra	1195.00 Kg
CORRECCIÓN POR HUMEDAD	
HUMEDAD	
Arena	795.00 Kg
Piedra	1199.00 Kg
APORTE DE HUMEDAD DEBIDO A LOS AGREGADOS	
Arena	-3.10 lt.
Piedra	-7.50 lt.
Aporte de humedad	-10.60 lt.
Agua efectiva	169.00 lt.
VALORES PARA MEZCLA DE PRUEBA	
Cemento	306.00 kg
Arena	795.00 kg
Piedra	1199.00 kg
Agua	169.00 lt.
	2469.00 kg/m ³ .
VALORES PARA UNA TANDA 85.00 Kg	
Cemento	11.00 kg
Arena	27.00 kg
Piedra	41.00 kg
Agua	6.00 lt.

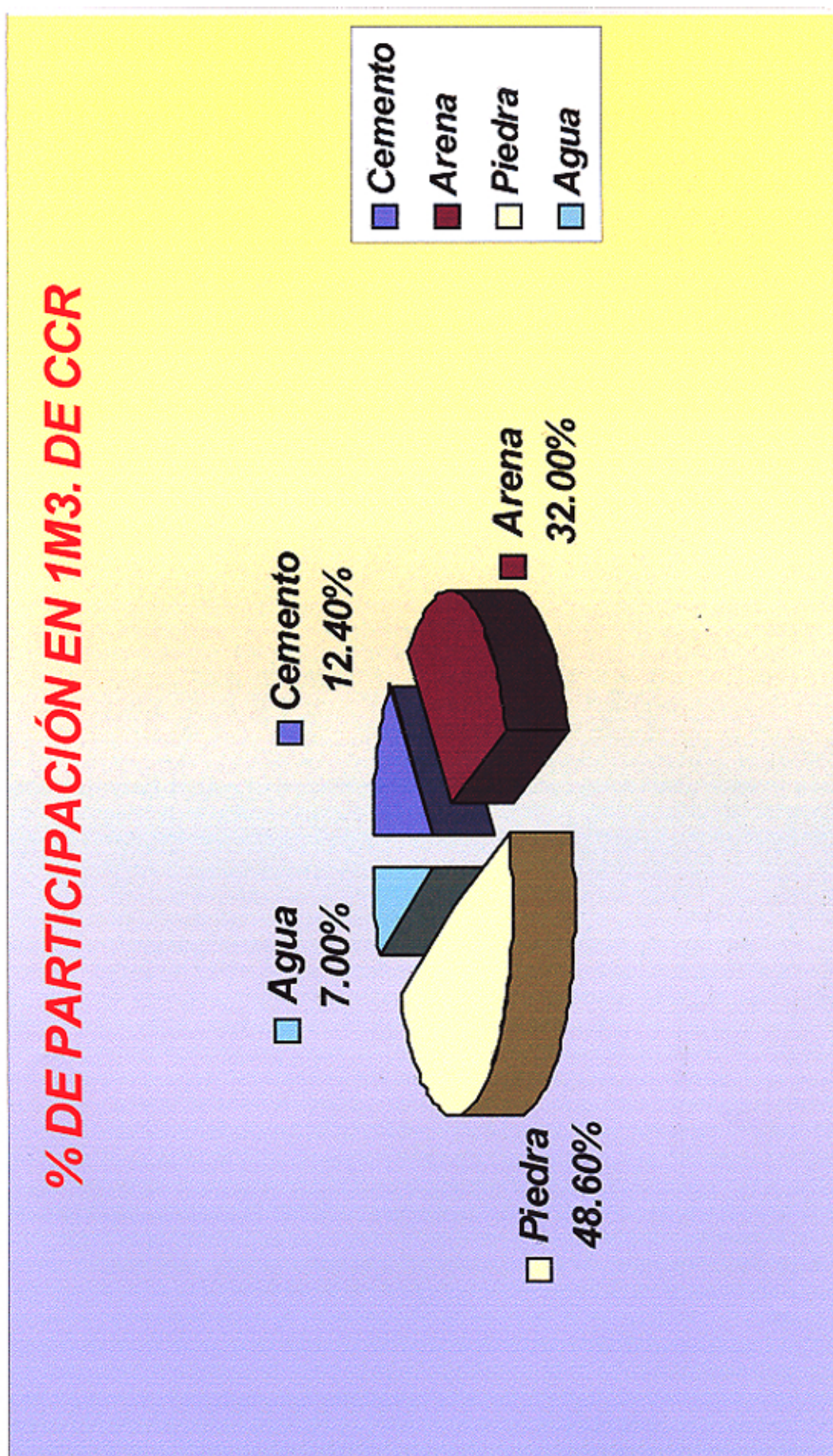


Figura 4 PARTICIPACIÓN PORCENTUAL EN PESO PARA UN CCR

CAPÍTULO IV

PROPIEDADES DEL CCR. EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO

- *PROPIEDADES DEL CCR EN ESTADO FRESCO*
- *PROPIEDADES DEL CCR. EN ESTADO ENDURECIDO*

PROPIEDADES DEL CCR EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO

En capítulos anteriores se mencionaron las características principales de los componentes de un concreto, así como, conceptos y métodos para la elaboración del diseño de mezcla. Como puede verse, esto forma parte de la calidad del concreto, sin embargo, el producto pasa desde un proceso inicial, al cual se le conoce como el estado fresco, hasta quedar totalmente sólido al que se le denomina estado endurecido.

Para asegurar la calidad del sistema, no sólo se deben escoger materiales adecuados sino se deberá mantener una uniformidad en todo el producto. En las siguientes secciones se resumen las principales características del concreto en estado fresco y endurecido.

4.1 PROPIEDADES DEL CCR EN ESTADO FRESCO.

Uno de los objetivos del diseño de mezcla, es producir concretos manejables y que sean fáciles de colocar en los moldes, asegurando una buena calidad en la pasta, con una relación agua/cemento baja y optimizando el contenido de cemento.

Para lograr los objetivos anteriores se deben conocer las propiedades del material, y dentro de éstas, tenemos los ensayos de: consistencia ó asentamiento, peso unitario que esta relacionado con el rendimiento de la mezcla, tiempo que tarda en endurecer la mezcla (fragua).

El conocimiento de esto permitirá planificar adecuadamente el proceso de producción, transporte y colocación de la mezcla.

4.1.1 ENSAYO DE CONSISTENCIA (ASENTAMIENTO) NTP 339.035

La NTP 339.035 describe el procedimiento del ensayo.

Mide el grado de trabajabilidad que tiene una mezcla y consiste en que el concreto se forma dentro de un molde metálico (tronco - cónico) tal como se muestra en la foto 3.

foto 3



La norma NTP 339.035 describe el procedimiento del ensayo.

Para un CCR se especifica un asentamiento cero.

Por experiencias previas, tal como se mencionó, se utilizó la norma ACI 211.3-75, la cual estima la cantidad de agua en función del asentamiento y el tamaño del agregado. Para un asentamiento de 0" a 3", y agregado grueso

de 1", se estima una cantidad de agua de 160lt. por metro cúbico de concreto. Si bien es cierto que se obtuvo un asentamiento de 0" (cero) con la cantidad de agua especificada, el concreto resulto con mucha piedra y la compactación en el molde resulto un poco difícil.

Para nuestro caso, se utilizó como referencia el ensayo del proctor, se obtuvo 158lt por metro cúbico de concreto, se hizo el ensayo de consistencia, comprobándose un asentamiento de cero en la mezcla.

4.1.2 ENSAYO DE PESO UNITARIO

NTP 339.046

Es la relación del peso de la mezcla de concreto a volumen total incluyendo los vacíos. Para concreto normales el peso específico es del orden de 2,300 Kg./m³, y se obtienen con agregados de peso específico del orden de 1,500 a 1,700 kg/m³.

Se debe tener presente que mientras mayor sea la diferencia de pesos específicos entre el agregado grueso y fino, mayor será la segregación, debido a que las partículas gruesas se acomodarán en la parte inferior del molde que lo contenga.

El peso unitario se emplea para estimar el rendimiento de la mezcla, es decir la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto, ya que en obra los contenidos de agua y cemento varían de tanda a tanda, además se debe tener en cuenta el volumen de aire presente y el desperdicio.

Para obtener el peso específico en laboratorio, se utiliza un recipiente cilíndrico, el cual el llenado en tres capas y a cada capa se les aplica 25

golpes con una varilla de 5/8" y 60cm de longitud distribuidos uniformemente.

En nuestro caso, esto no ha sido posible aplicarlo, debido a que la mezcla es "seca" y aplicándole golpes con la varilla nos deja muchos vacíos en la mezcla, además en obra el CCR será vibrado exteriormente y para poder hacer el cálculo del peso específico en laboratorio se modificó el procedimiento de la siguiente forma:

- Se utilizará moldes de 6" de diámetro por 12" de altura.
- La mezcla se compactará en capas de 2.5 cm aproximadamente, haciendo un total de 13 capas.
- Para la compactación se utilizará el martillo del proctor modificado, con un peso de 4.5kg, con una repetición de 56 golpes por capa.
- En la parte superior de la probeta se colocará un collarín, de tal forma que asegure la compactación de la última capa.
- Se enrasa la probeta, siguiendo el procedimiento del ensayo de proctor, se limpia la base del molde y se pesa.
- El peso unitario, se calcula, dividiendo el peso entre el volumen de la probeta.

En las fotos 4 y 5, se muestran el proceso de compactación de las probetas.

4.1.3 TIEMPO DE FRAGUA

NTP 339.082

Mide el tiempo que una mezcla demora en endurecerse y ganar resistencia, el proceso de fragua comprende desde que los materiales se vierten en la mezcladora hasta el endurecimiento de la mezcla.

Foto 4 COMPACTACIÓN DE PROBETA



Foto 5 COMPACTACIÓN DE LA ÚLTIMA CAPA



Este ensayo se ha dividido en dos etapas: la primera, denominada fragua inicial, que consiste en un aumento de viscosidad y temperatura de la mezcla, y la segunda, que es la fragua final, que se caracteriza por el endurecimiento de la mezcla y por consiguiente el incremento de la resistencia.

Existen factores que se deben tener en presente en el tiempo de fragua, ya que existe diferencia entre valores de laboratorio y obra, tales como:

- *Variaciones en la dosificación de la mezcla.*
- *Temperatura ambiente y humedad relativa.*
- *Cantidad de cemento en la mezcla.*
- *Dimensiones del elemento, donde se vaciará concreto.*
- *Velocidad del viento en el área por vaciar concreto.*

El ensayo fue realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), debido a que el laboratorio del Ministerio de Transportes no dispone del equipo.

Para calcular el tiempo de fragua se debe obtener un mortero por tamizado, el cual se coloca en un recipiente de 6" de alto por 6" de diámetro y que después es penetrado por una agujas normalizadas cada cierto tiempo. Con los datos anteriores se hace una gráfica, en el eje de las abscisas se dibujan los tiempos y el eje de las ordenadas la resistencia a la penetración. Para la fragua inicial la norma específica una resistencia a la penetración de 170kg/cm² (500 psi) y para la fragua final cuando alcance 1364kg/cm² (4000 psi)

4.2 PROPIEDADES DEL CCR EN ESTADO ENDURECIDO

La mezcla de concreto una vez endurecida, entrará en servicio y será sometido a cargas para las que fue diseñada, el buen o mal comportamiento dependerá exclusivamente de las propiedades mecánicas de éste. El adecuado control de ésta propiedades aseguraran un eficiente comportamiento del concreto endurecido a lo largo de la vida útil del concreto.

Las propiedades mecánicas se pueden clasificar en:

- a) Propiedades en el corto plazo, y*
- b) Propiedades a largo plazo.*

En la primera se considera la resistencia a la compresión, tensión y cortante, y la segunda la rigidez, la cual se obtiene a través del módulo de elasticidad.

En el presente trabajo sólo se estudian la resistencia a la compresión y la compresión diametral.

4.2.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NTP 339.034

La resistencia a la compresión, es la capacidad de soportar cargas en el eje axial del elemento, depende principalmente de la relación agua/cemento, además se ve afectada por la calidad del agregado, tipo de cemento, y temperatura.

Otro aspecto importante que influye en la resistencia es el curado ya que es el que determina la hidratación del cemento y por consiguiente el desarrollo de la resistencia del concreto. Por otro lado, cabe mencionar que la resistencia en obra puede verse afectada por la mano de obra que no sea la

adecuada, variaciones en el contenido de humedad de los agregados, mal curado, etc., factores que se deben vigilar y tomar las acciones correctivas para que la resistencia del concreto no sea afectada.

La NTP 339.034 especifica el ensayo.

Las probetas se fabricaran en moldes de 6" de diámetro por 12" de altura, y tal como se mencionara antes, serán compactadas en 13 capas, con 56 golpes por capa, curados bajo condiciones normales de laboratorio. Posteriormente se le aplicará una carga sobre su eje axial a los 28 días.

La resistencia a la compresión se calcula de la siguiente manera:

$$C = (4 * P) / (\pi * D^2)$$

donde :

C	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)
P	Carga de rotura (Kg)
D	Diámetro de la probeta (cm ²)

4.2.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN

DIAMETRAL

NTP 339.084

La resistencia del concreto a tensión se considera relativamente baja, generalmente un 10% del f_c . Para calcular dicha resistencia se usa la prueba brasileña.

La norma que especifica el procedimiento de ensayo es la NTP 339.084. La fabricación de las probetas es igual el procedimiento descrito en el ensayo

de compresión. El ensayo consiste en apoyar horizontalmente la probeta sobre la prensa y aplicarle carga sobre su eje longitudinal.

La resistencia a la tracción esta dado por:

$$T = (2 * P) / (\pi * L * D)$$

donde:

<i>T</i>	<i>Tracción del elemento (Kg/cm2)</i>
<i>P</i>	<i>Carga de rotura (Kg)</i>
<i>L</i>	<i>Longitud de la probeta (cm)</i>
<i>D</i>	<i>Diámetro de la probeta (cm)</i>

CAPÍTULO V

CUADRO DE RESULTADOS – GRÁFICOS

- *CURVAS DE GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS (GRUESO, FINO Y GLOBAL)*
- *CURVAS DE ENSAYO DE PROCTOR*
- *DISEÑO DE MEZCLAS*
- *CURVA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN vs. # EDAD*
- *CURVA DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN vs. # EDAD*

CUADRO DE RESULTADOS - GRÁFICOS

En las siguientes secciones se presentan los resultados de los ensayos, así como las gráficas correspondientes.

Los resultados de los ensayos corresponden a:

- 1. Granulometría del agregado grueso y fino.*
- 2. Proctor modificado*
- 3. Diseño de mezcla.*
- 4. Propiedades del concreto fresco y endurecido.*

Todos los resultados y gráficas que se presentan corresponden a los ensayos realizados en el laboratorio del Ministerio de Transportes, Comunicación, Vivienda y Construcción (MTCVC).

Los resultados de laboratorio indican un adecuado comportamiento de este tipo de mezclas, sin embargo su comportamiento real en obra, se podrá evaluar después de ejecutar el programa en campo, determinándose las ventajas o desventajas de éste tipo de mezclas así como el proceso constructivo.

• GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

Se presentan las gráficas correspondientes de los ensayos físicos de los agregados finos y gruesos, gráficos 6 y 7, éstos se han combinado de tal forma de obtener una curva suave, de tal forma que cumpla con los límites recomendados por el ACI, ver gráfico 8.

En los gráficos se puede observar, la procedencia de los materiales, los porcentajes retenidos y pasantes de cada material, el tamaño máximo nominal, el módulo de fineza, los pesos unitarios, la humedad, abrasión, etc.

Es de notar que las curvas de la arena como de la piedra, se encuentran ligeramente fuera del rango especificado por las normas correspondientes, sin embargo si se aprecia el gráfico de la combinación la mayor parte de la curva se ubica dentro de los límites que la norma ACI establece. Si comparamos ésta curva con los límites que recomienda el MTCVC, se observará que la parte que corresponde a los finos, se sale del huso granulométrico del ACI, pero no sobrepasa los límites del MTCVC, ver gráfico 9.

La razón de tal diferencia se explica por lo siguiente, la norma ACI se usa para materiales con los que se elabora concreto, y el contenido de finos varía de 3% al 5 %, en cambio para bases y sub-bases generalmente no se utiliza cemento y se emplea mayor material fino para rellenar los espacios vacíos, en nuestro caso se obtuvo un 5% (malla 200) en la combinación de los agregados.

Gráfico 6 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES
 VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN
 DIRECCION GENERAL DE CAMINOS
 OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS						
MUESTRA	Arena				FECHA	Feb-96
PROCEDENCIA	Cantera San Martín				HECHO POR	ENRIQUE PALOMARES C.
MALLAS	PESO RET. (gramos)	% RETENDOS	%RET. ACUMULADO	% QUE PASA ACUM.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
2"					Tamaño máximo nominal	No aplicable
1 1/2"					Módulo de fineza	2.52
1"					Peso específico (kg/cm ³)	2.652.00
3/4"					Peso unitario suelto k(g/cm ³)	1.601.00
1/2"					Peso unitario compact. (kg/cm ³)	1.795.00
3/8"				100	Humedad natural (%)	0.81
NRO 4	4	2	2	98	Absorción (%)	1.20
NRO 8	19	10	12	89	Abrasión (%)	No aplicable
NRO 16	44	22	34	67	Impurezas orgánicas	acceptable
NRO 30	45	23	56	44	Durabilidad (5 ciclos, SO ₄ +Na ₂)	1.72%
NRO. 50	22	11	67	33	Equivalente arena	57.05%
NRO. 100	30	15	82	18		
NRO. 200	14	7	89	11		
< NRO. 200	22	11	100	0		
TOTAL	200	MDO. FINEZA	2.52			

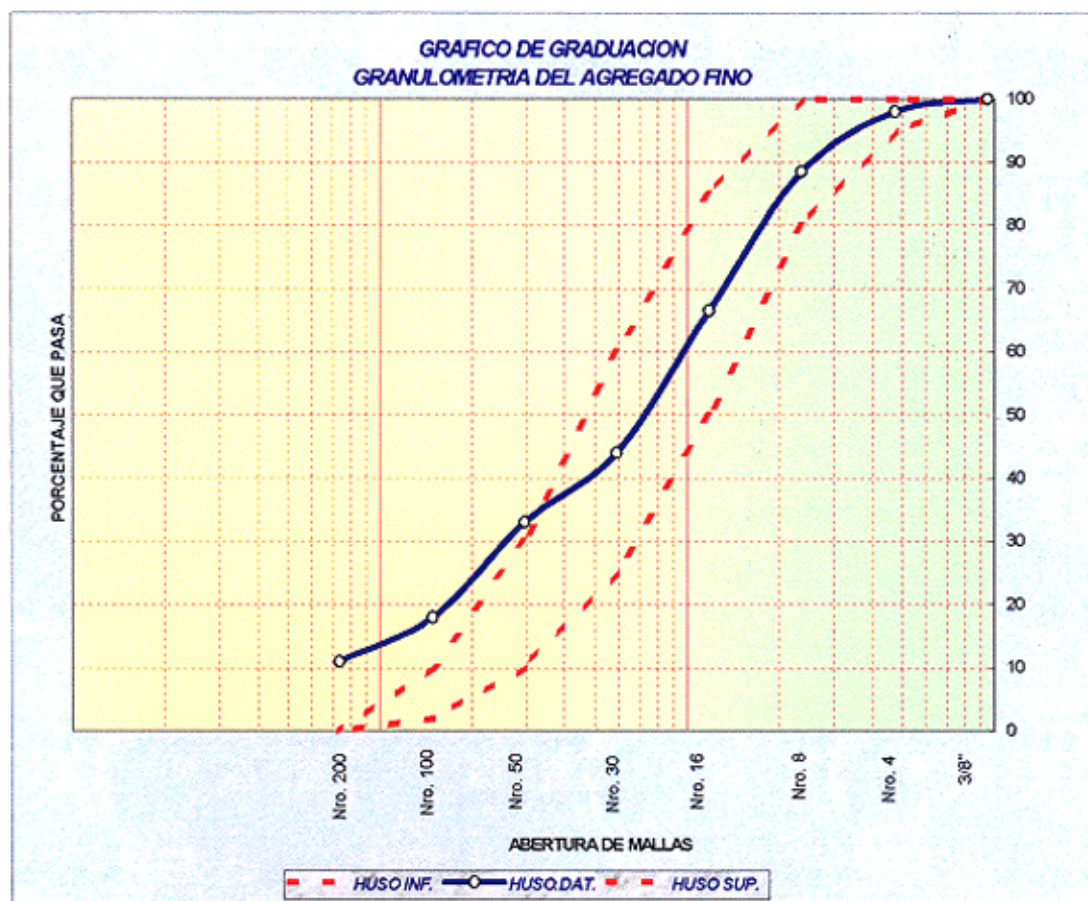


Gráfico 7 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

**MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES
VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS
OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD
AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS						
MUESTRA PROCEDENCIA	Piedra Cantera San Martín		FECHA HECHO POR	Feb-96 ENRIQUE PALOMARES C.		
MALLAS	PESO RET. (gramos)	% RETENIDOS	%RET. ACUMULADO	% QUE PASA ACUM.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
2"					Tamaño máximo nominal	1"
1 1/2"				100	Módulo de fineza	7.20
1"	155	8	8	92	Peso específico (kg/m ³)	2,770.00
3/4"	483	25	33	67	Peso unitario suelto (kg/m ³)	1,480.00
1/2"	648	34	67	33	Peso unitario compact. (kg/m ³)	1,580.00
3/8"	375	20	87	13	Humedad natural (%)	0.31
NRO 4	244	13	100	0	Absorción (%)	0.94
NRO 8			100		Abrasión (%)	14.40
NRO 16			100		Impurezas orgánicas	
NRO 30			100		Durabilidad (5 ciclos, SO4Na2) (%)	5.66
NRO. 50			100			
NRO. 100			100			
NRO. 200						
< NRO. 200						
TOTAL	1905	MDO. FINEZA	7.20			

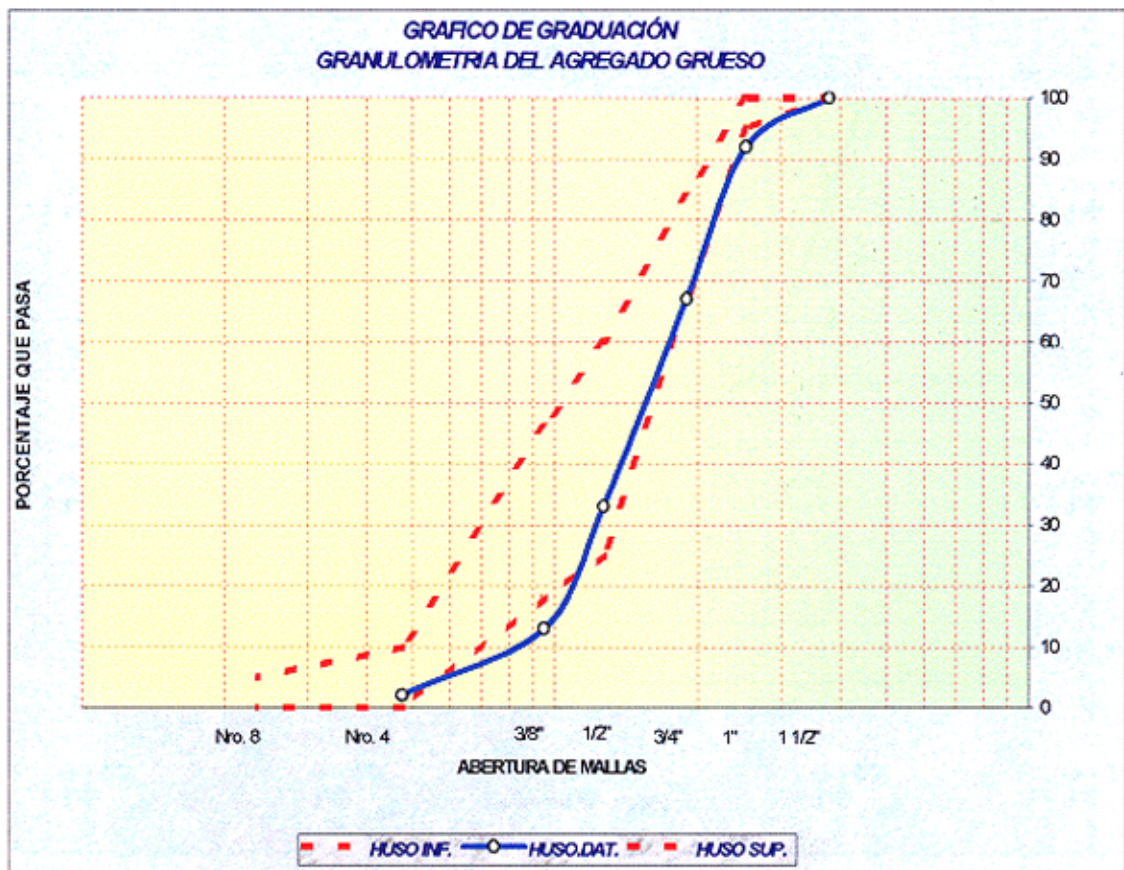


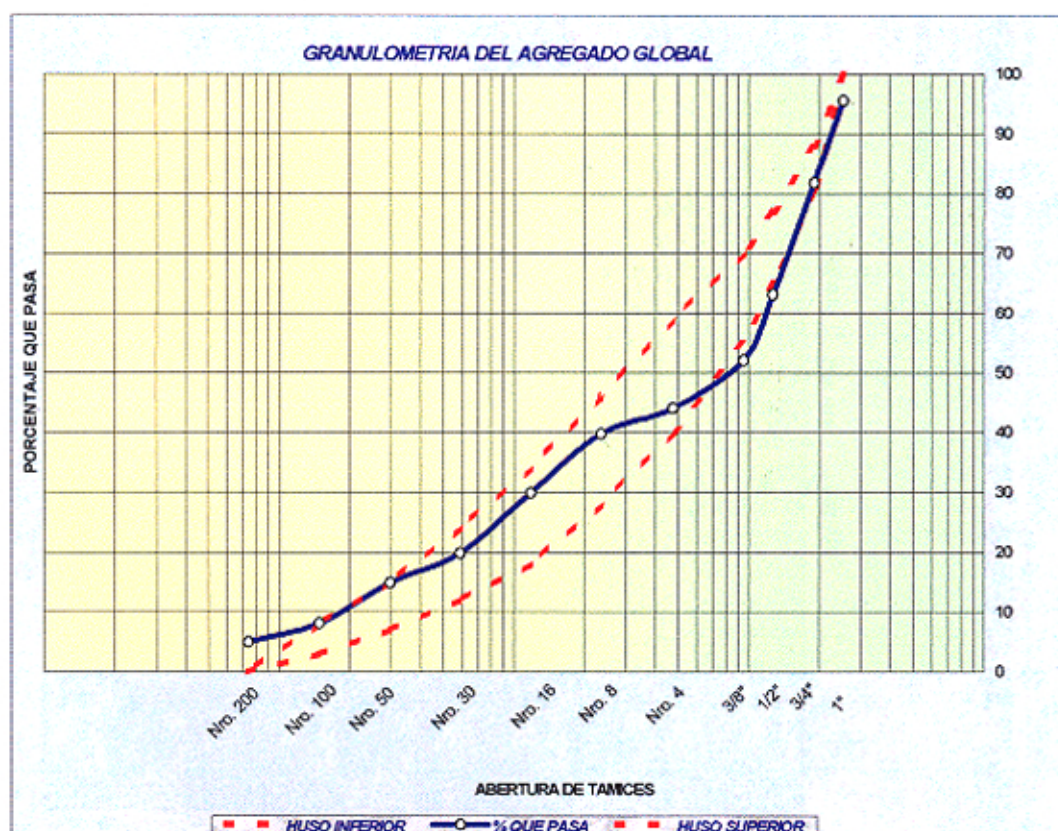
Gráfico 8 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GLOBAL

MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES
VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN
 DIRECCION GENERAL DE CAMINOS
 OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD
 AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO GLOBAL			
MUESTRA	Piedra + Arena + Cemento	FECHA	Feb-96
PROCEDENCIA	Cantera San Martín	HECHO POR	ENRIQUE PALOMARES

PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO 55%
 PORCENTAJE DE AGREGADO FINO 45%

	% PIEDRA	% ARENA	%	% RET.	% QUE PASA	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
MALLAS	RETENIDO	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	PASA		
1 1/2"					100	Tamaño máximo nominal	1"
1"	8		4	4	96	Módulo de fineza	5.09
3/4"	25		14	18	82	Peso específico	
1/2"	34		19	37	63	Peso unitario suelto(kg/m3)	1,900.00
3/8"	20		11	48	52	Peso unit. Comp.(kg/m3)	2,160.00
Nro. 4	13	2	8	56	44	Humedad natural (%)	
Nro. 8		10	4	60	40	Absorción (%)	
Nro. 16		22	10	70	30	Abrasión (%)	
Nro. 30		23	10	80	20	Impurezas orgánicas	
Nro. 50		11	5	85	15	Durabilidad (5 ciclos, SO4Na2)	
Nro. 100		15	7	92	8	Equivalente arena	
Nro. 200		7	3	95	5		
> Nro. 200		11	5	100	0		
TOTAL	100		MDO. FINEZA	5.09			



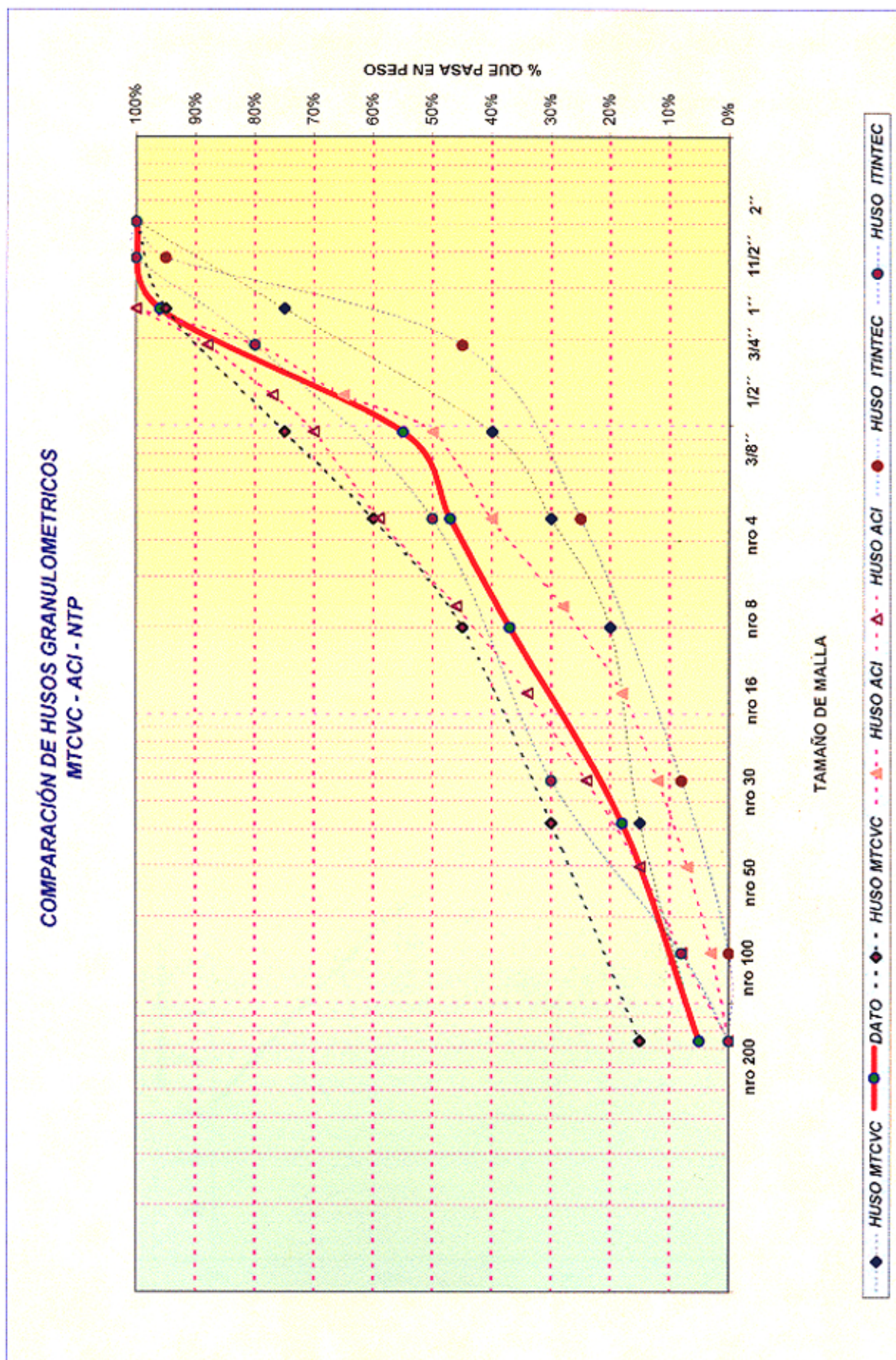


Gráfico 9 COMPARACIÓN ENTRE HUSOS PARA BASES Y SUB-BASES Y HUSOS PARA CONCRETO

• PROCTOR MODIFICADO

De acuerdo a la granulometría de la combinación presentado en gráfico 9, para el ensayo del Proctor, gráfico 10, se utilizó la siguiente proporción:

Arena: 2,100 gr.

Piedra: 3,180 gr.

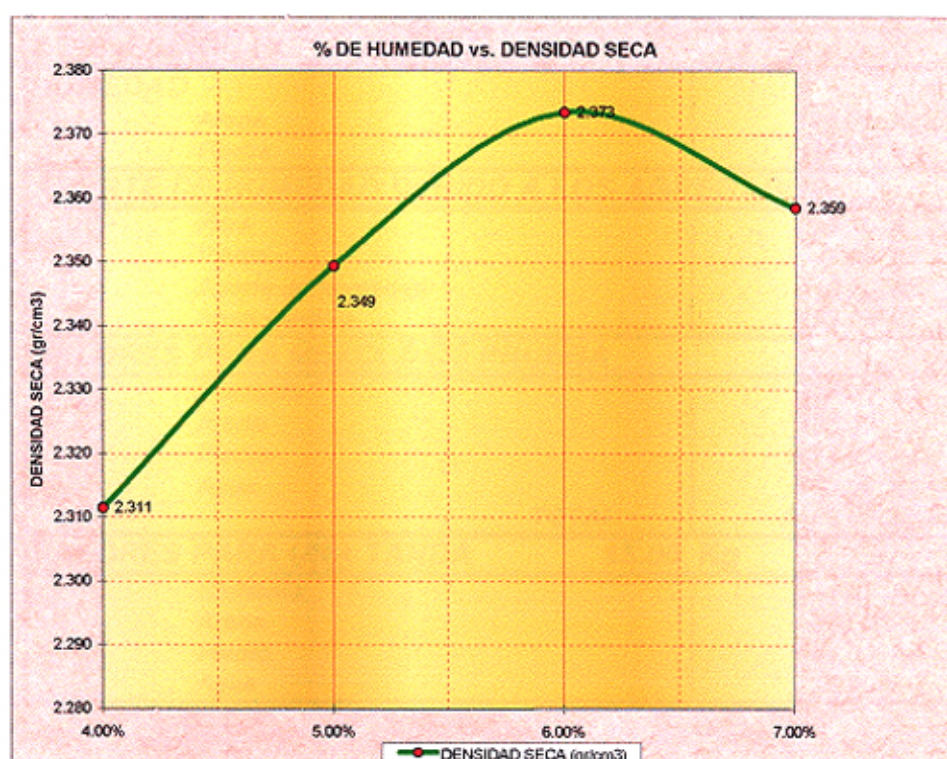
Cemento: 720 gr.

Total 6,000.00 gr.

El agua inicialmente se estimó en un 5% del peso de los materiales.

Gráfico 10 ENSAYO DE PROCTOR

%hum. asum.	4.00%	5.00%	6.00%	7.00%
psh. + molde (gr)	7838.00	8020.00	8106.00	8145.00
peso molde(gr)	2810.00	2810.00	2810.00	2810.00
psh.(gr)	5028.00	5210.00	5296.00	5335.00
vol. molde(cm3)	2116.00	2116.00	2116.00	2116.00
dsh.(gr/cm3)	2.376	2.462	2.503	2.521
dss.(gr/cm3)	2.311	2.349	2.373	2.359
agua(cm3)	215.00	275.00	335.00	394.00
%humedad	2.80%	4.80%	5.45%	6.90%



• **DISEÑO DE MEZCLA**

Con los datos anteriores se procedió a hacer el diseño de mezcla, tal como aprecia en Cuadro 16.

Cuadro 16 **DISEÑO DE MEZCLA PARA CCR**

DATOS GENERALES	
Peso específico del cemento	3.11 gr/cm ³ .
Relación agua/cemento	0.517
Peso específico arena	2652.00 Kg/m ³ .
Peso específico piedra	2770.00 Kg/m ³ .
HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS	
ARENA	
Humedad	0.81%
Absorción	1.20%
PIEDRA	
Humedad	0.31%
Absorción	0.94%
CÁLCULO PARA DISEÑO 1.00 m³. DE CONCRETO	
% de aire	1.50%
Volumen de agua	158.00 lt.
Cantidad de cemento	306.00 m ³ .
Volumen de pasta	0.27160 m ³ .
Peso de arena	789.00 Kg.
Peso de piedra	1195.00 Kg.
CORRECCIÓN POR HUMEDAD	
HUMEDAD	
Arena	795.00 Kg.
Piedra	1199.00 Kg.
APORTE DE HUMEDAD DEBIDO A LOS AGREGADOS	
Arena	-3.10 lt.
Piedra	-7.50 lt.
Aporte de humedad	-10.60 lt.
Agua efectiva	169.00 lt.
VALORES PARA MEZCLA DE PRUEBA	
Cemento	306.00 kg
Arena	795.00 kg
Piedra	1199.00 kg
Agua	169.00 lt.
TOTAL	2469.00 kg/m³
VALORES PARA UNA TANDA 85.00 Kg	
Cemento	11.00 kg
Arena	27.00 kg
Piedra	41.00 kg
Agua	6.00 lt.

- **PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO**

Se muestran los resultados para concreto en estado fresco y endurecido.

CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Ensayo de consistencia:

De acuerdo a la característica de la mezcla, ésta tiene revenimiento cero, tal como lo confirma la foto 3 (capítulo IV)

Ensayo de Peso Unitario:

De acuerdo al procedimiento planteado en el ítem 4.1.2 (capítulo IV), se obtuvo un peso de 2,350 kg/m³, similar a un concreto tradicional.

Tiempo de fragua:

La fragua inicial fue a los 40 minutos y la fragua final fue a las 2h 15m, sin embargo en obra se estimó el tiempo de trabajo en 30 minutos, tiempo en el que se mezcló los materiales, se transportó, colocó y compactó el material.

Se adjunta informe emitido por el Laboratorio Nro. 1 de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

76

Apartado Postal 1301- Lima 100 - Perú Teléfono (51-14) 4811070 anexo 285 Telefax 4819845

INFORME

Del : Laboratorio N°1-Ensayo de Materiales
A : ENRIQUE PALOMARES
Asunto : Determinación del Tiempo de Fragua
Expediente :
Recibo :
Fecha : 19 de Marzo de 1997

ENSAYO DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS POR MEDIO DE SU RESISTENCIA A LA PENETRACION

CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA :

Proporciones en peso de la mezcla : 1:3.66:2.78
Slump obtenido = 0"

CANTIDAD DE MATERIAL PARA USADAS PARA LA FRAGUA :

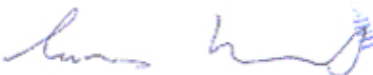
Cemento = 5.34 kgs.
Arena = 19.52 kgs.
Piedra = 14.82 kgs.
Agua = 2.83 lts.

Fecha de Ensayo = 14/03/97
Temperatura Ambiente = 30°C
Hora Inicio = 8h30m a.m.

Tiempo Transc.	Aguja	Area (cm ²)	Presión (kg/cm ²)
32m	13/16"	3.35	20.4
50m	5/16"	0.49	55.7
1h30m	5/16"	0.49	94.7
2h44m	3/16"	0.18	454.4

INICIO FRAGUA = 40 min.
FINAL FRAGUA = 2h15m

HECHO POR : Ing. A.T.C.
TECNICO : C.R.D.


ING. CARLOS IRALA CANDIOTTI
JEFE DEL LABORATORIO N°1
ENSAYO DE MATERIALES



CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

El concreto aumenta su resistencia rápidamente durante los primeros días y semanas. Generalmente en los proyectos, la resistencia se especifica a los 28 días, aproximadamente el 70% de la cual se alcanza al final de la primera semana después de la colocación.

En los ensayos previos, la resistencia a la compresión a 7 días se obtenían valores mayores a los 200kg/cm², por lo que para observar el incremento de resistencia se consideró a 45 días los ensayos de compresión y tracción.

Resistencia a la Compresión:

Las probetas fueron ensayadas a edades de 1, 3, 5, 7, 14, 28, y 45 días.

Se fabricaron cuatro probetas para cada ensayo, la resistencia final, se considera como el promedio de cuatro probetas, los resultados se muestran en el cuadro 18.

En el Cuadro 17, se indica el resumen de los resultados de las probetas ensayadas. Así mismo se muestran las gráficas de resistencia vs. edad y el porcentaje de resistencia vs. edad, gráficos 11 y 12 respectivamente.

Cuadro 17 RESUMEN DE ROTURA DE PROBETAS

<i>ID probeta</i>	<i># de días</i>	<i>f'c(kg/cm²)</i>	<i>% resistencia</i>
<i>1</i>	<i>1</i>	<i>121.35</i>	<i>35.92%</i>
<i>2</i>	<i>3</i>	<i>188.95</i>	<i>55.92%</i>
<i>3</i>	<i>5</i>	<i>228.50</i>	<i>67.63%</i>
<i>4</i>	<i>7</i>	<i>270.16</i>	<i>79.96%</i>
<i>5</i>	<i>14</i>	<i>309.59</i>	<i>91.63%</i>
<i>6</i>	<i>28</i>	<i>335.78</i>	<i>99.38%</i>
<i>7</i>	<i>45</i>	<i>337.86</i>	<i>100.00%</i>

Cuadro 18 ENSAYO DE COMPRESIÓN

ID PROBETA	# de días	Peso (kg)	Diámetro	Área = $\pi \cdot D^2/4$	Carga (kg)	$f'c$ (kg/cm ²)
1	1	13,100	47.47	179.295	20000	111.55
2	1	13,300	47.47	179.295	22500	125.49
3	1	13,200	47.47	179.295	22000	122.70
4	1	13,200	47.54	179.849	22600	125.66
PROMEDIO						121.35

# Probeta	# de días	Peso (kg)	Diámetro	Área = $\pi \cdot D^2/4$	Carga (kg)	$f'c$ (kg/cm ²)
1	3	13,100	47.47	179.295	35000	195.21
2	3	13,300	47.47	179.295	35600	198.56
3	3	13,200	47.47	179.295	35000	195.21
4	3	13,200	47.54	179.849	30000	166.81
PROMEDIO						188.95

# Probeta	# de días	Peso (kg)	Diámetro	Área = $\pi \cdot D^2/4$	Carga (kg)	$f'c$ (kg/cm ²)
1	5	13,100	47.47	179.295	41200	229.79
2	5	13,300	47.47	179.295	41500	231.46
3	5	13,200	47.47	179.295	40100	223.65
4	5	13,200	47.54	179.849	41200	229.08
PROMEDIO						228.50

# Probeta	# de días	Peso (kg)	Diámetro	Área = $\pi \cdot D^2/4$	Carga (kg)	$f'c$ (kg/cm ²)
1	7	13,100	47.47	179.295	48700	271.62
2	7	13,300	47.47	179.295	48000	267.72
3	7	13,200	47.47	179.295	48700	271.62
4	7	13,200	47.54	179.849	48500	269.67
PROMEDIO						270.16

# Probeta	# de días	Peso (kg)	Diámetro	Área = $\pi \cdot D^2/4$	Carga (kg)	$f'c$ (kg/cm ²)
1	14	13,100	47.47	179.295	55000	306.76
2	14	13,300	47.47	179.295	58000	323.49
3	14	13,200	47.47	179.295	54200	302.30
4	14	13,200	47.54	179.849	55000	305.81
PROMEDIO						309.59

# Probeta	# de días	Peso (kg)	Diámetro	Área = $\pi \cdot D^2/4$	Carga (kg)	$f'c$ (kg/cm ²)
1	28	13,100	47.47	179.295	59000	329.07
2	28	13,300	47.47	179.295	60000	334.64
3	28	13,200	47.47	179.295	62000	345.80
4	28	13,200	47.54	179.849	60000	333.61
PROMEDIO						335.78

# Probeta	# de días	Peso (kg)	Diámetro	Área = $\pi \cdot D^2/4$	Carga (kg)	$f'c$ (kg/cm ²)
1	45	13,100	47.47	179.295	62500	348.59
2	45	13,300	47.47	179.295	60000	334.64
3	45	13,200	47.47	179.295	58000	323.49
4	45	13,200	47.54	179.849	62000	344.73
PROMEDIO						337.86

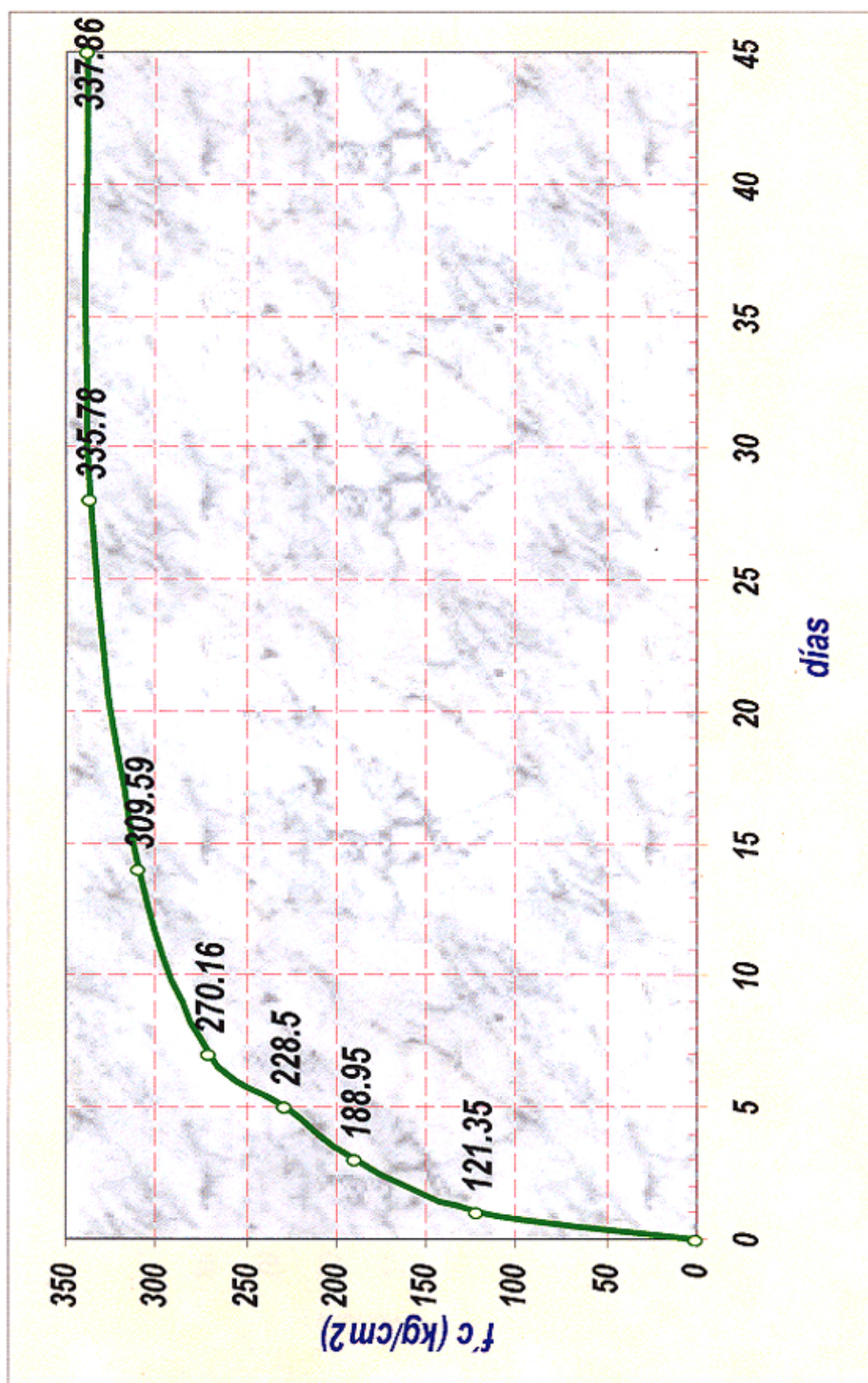


Gráfico 11 RESISTENCIA vs. EDAD

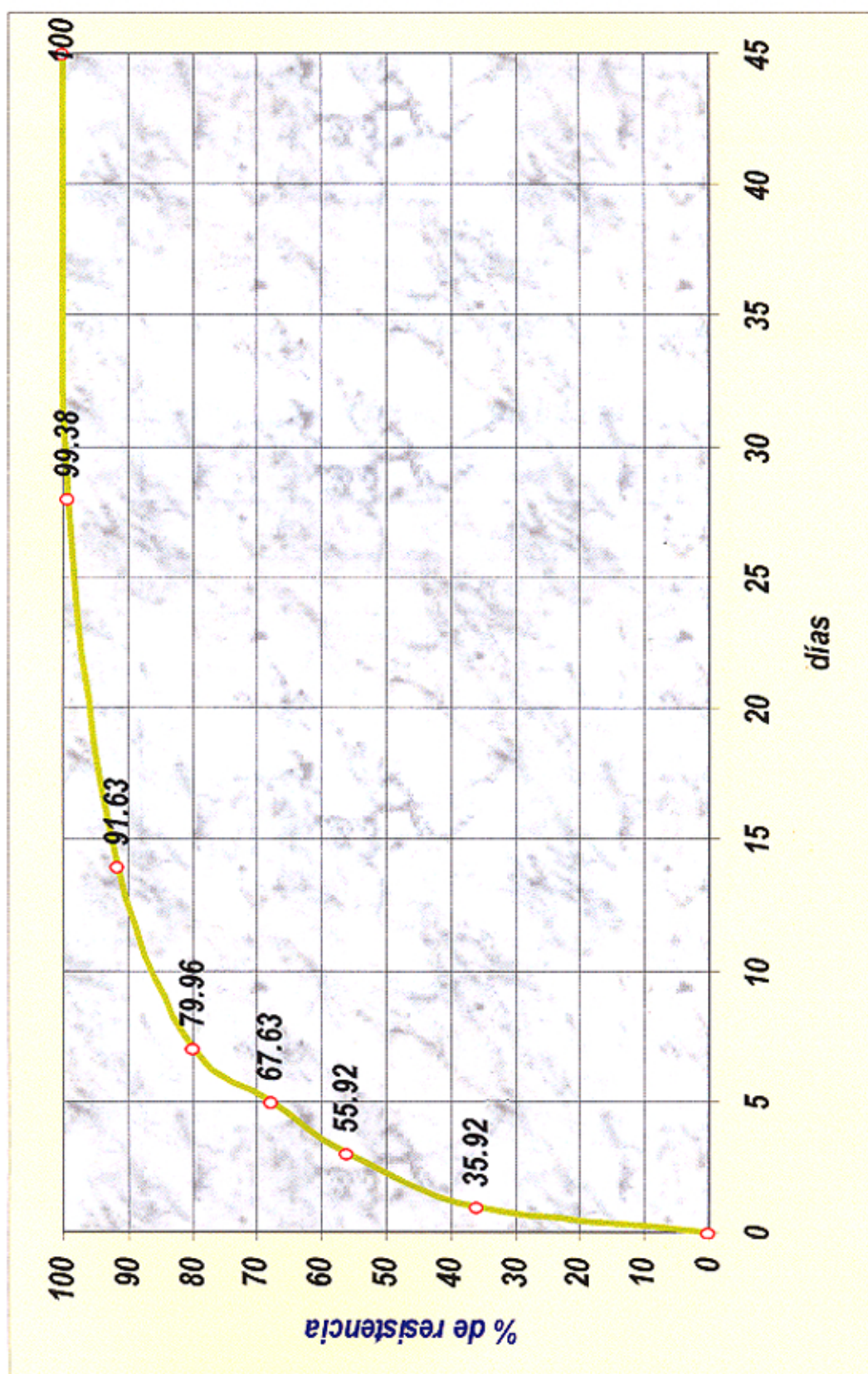


Gráfico 12 % RESISTENCIA vs. EDAD

Resistencia a la Tracción:

Las probetas fueron ensayadas a edades de 1, 3, 5, 7, 14, 28, y 45 días.

Se fabricaron cuatro probetas para cada ensayo, el promedio de las cuatro se muestran en el Cuadro 19, así mismo se consigna el porcentaje de incremento con respecto a valor máximo que alcanza a los 45 días. En el Cuadro 20, se muestran los resultados de los ensayos de las probetas.

En el gráfico 13, se observa el incremento de **resistencia por tracción vs. edad**

Cuadro 19 RESUMEN DE ROTURA DE PROBETAS

<i>ID probeta</i>	<i># de días</i>	<i>f'1(kg/cm2)</i>	<i>% resistencia</i>
1	1	14.67	40.62%
2	3	17.82	49.33%
3	5	21.36	59.13%
4	7	24.54	67.93%
5	14	31.83	88.12%
6	28	35.02	96.94%
7	45	36.12	100.00%

Cuadro 20 ENSAYO DE TRACCIÓN

# Probeta	# de días	Peso (kg)	Diámetro	$\pi \cdot D^2 \cdot L$	Carga (kg)	$f_t(\text{kg/cm}^2)$
1	1	13,100	15.00	1413.716	10600	15.00
2	1	13,300	15.30	1441.990	10500	14.56
3	1	13,200	15.30	1441.990	10500	14.56
4	1	13,200	15.30	1441.990	10500	14.56
PROMEDIO						14.67

# Probeta	# de días	Peso (kg)	Diámetro	$\pi \cdot D^2 \cdot L$	Carga (kg)	$f_t(\text{kg/cm}^2)$
1	3	13,100	15.00	1413.716	12800	18.11
2	3	13,300	15.20	1432.565	12600	17.59
3	3	13,200	15.00	1413.716	12600	17.83
4	3	13,200	15.30	1441.990	12800	17.75
PROMEDIO						17.82

# Probeta	# de días	Peso (kg)	Diámetro	$\pi \cdot D^2 \cdot L$	Carga (kg)	$f_t(\text{kg/cm}^2)$
1	5	13,100	15.30	1441.990	15000	20.80
2	5	13,300	15.30	1441.990	15500	21.50
3	5	13,200	15.30	1441.990	15600	21.64
4	5	13,200	15.30	1441.990	15500	21.50
PROMEDIO						21.36

# Probeta	# de días	Peso (kg)	Diámetro	$\pi \cdot D^2 \cdot L$	Carga (kg)	$f_t(\text{kg/cm}^2)$
1	7	13,100	15.30	1441.990	17600	24.41
2	7	13,300	15.00	1413.716	17500	24.76
3	7	13,200	15.20	1432.565	17600	24.57
4	7	13,200	15.30	1441.990	17600	24.41
PROMEDIO						24.54

# Probeta	# de días	Peso (kg)	Diámetro	$\pi \cdot D^2 \cdot L$	Carga (kg)	$f_t(\text{kg/cm}^2)$
1	14	13,100	15.30	1441.990	23000	31.90
2	14	13,300	15.30	1441.990	22800	31.62
3	14	13,200	15.30	1441.990	23000	31.90
4	14	13,200	15.30	1441.990	23000	31.90
PROMEDIO						31.83

# Probeta	# de días	Peso (kg)	Diámetro	$\pi \cdot D^2 \cdot L$	Carga (kg)	$f_t(\text{kg/cm}^2)$
1	28	13,100	15.30	1456.410	25000	34.33
2	28	13,300	15.31	1457.362	25500	34.99
3	28	13,200	15.30	1441.990	25500	35.37
4	28	13,200	15.30	1441.990	25500	35.37
PROMEDIO						35.02

# Probeta	# de días	Peso (kg)	Diámetro	$\pi \cdot D^2 \cdot L$	Carga (kg)	$f_t(\text{kg/cm}^2)$
1	45	13,100	15.30	1441.990	26000	36.06
2	45	13,300	15.20	1432.565	26000	36.30
3	45	13,200	15.30	1441.990	26000	36.06
4	45	13,200	15.30	1441.990	26000	36.06
PROMEDIO						36.12

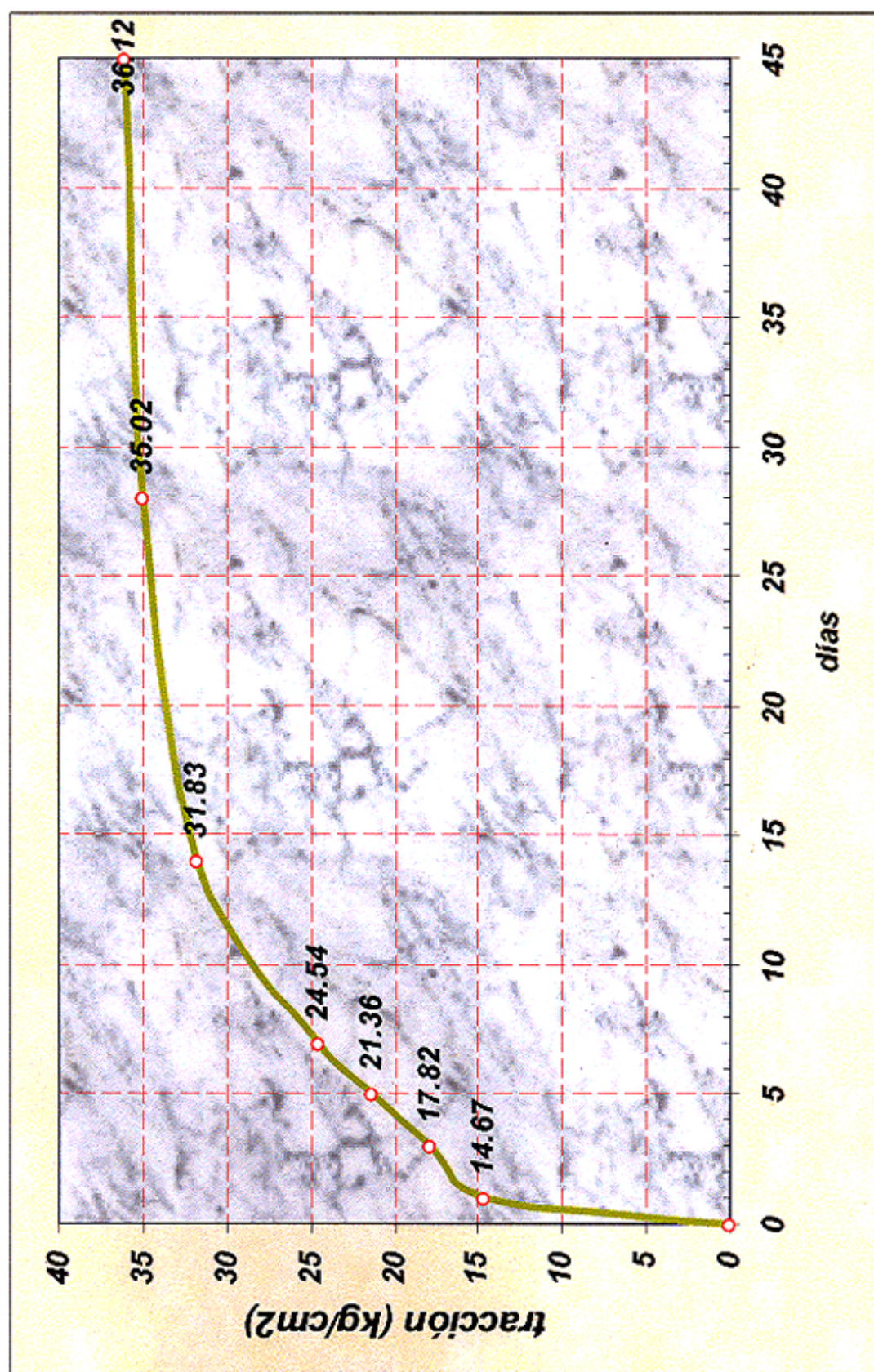


Gráfico 13 TRACCIÓN vs. EDAD

CAPÍTULO VI

PRUEBA EXPERIMENTAL – APLICACIÓN DEL CCR.

- *PREPARACIÓN DE LA BASE*
- *PROCESO CONSTRUCTIVO*
- *COLOCACIÓN DE LA MEZCLA*
- *CONTROL DE LA COMPACTACIÓN*

PRUEBA EXPERIMENTAL - APLICACIÓN DEL CCR.

Luego de haber efectuado los ensayos en Laboratorio, con resultados satisfactorios, se decidió llevarlo a la práctica, es por esta razón, que en el presente trabajo se consideró hacer una prueba experimental del CCR.

Cabe mencionar que, en éste capítulo se ha tomado como referencia la Norma Peruana “Rehabilitación de Pavimento Urbanos”, (NTP 339.116), en todo lo relacionado a esta prueba.

6.1 OBJETIVO

El objetivo de la prueba experimental es, determinar si es posible utilizar el CCR, como alternativa de solución en la reparación de pavimentos de concreto.

6.2 ALCANCE DE LA PRUEBA

Los resultados de laboratorio han sido alentadores con respecto al comportamiento de la mezcla, tanto en estado fresco como endurecido. El alcance de la prueba se limitará a:

- 1. Comprobar, si el diseño de mezclas producido a pié de obra, alcanza resistencias similares a las obtenidas en laboratorio.*
- 2. Evaluar el proceso constructivo.*
- 3. Comparar el costo de producción de CCR, con procesos constructivos similares.*

6.3 UBICACIÓN DE LA PRUEBA

La prueba experimental se coordinó con la municipalidad de San Isidro, quién designó un tramo de 40.00m² aproximadamente, en el área de ingreso del

estacionamiento del departamento de Obras, tercera cuadra de la calle marathon, ver lámina 1.

La prueba se realizó el día 16 de junio de 1997, los controles de campo se coordinaron con el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción (MTCVC)

6.4 RECURSOS A UTILIZARSE

Dependiendo del área, la ubicación, volúmenes por vaciar, etc., se debe planificar los recursos a utilizar, tales como: la cantidad de materiales para la producción de concreto, personal requerido, tanto técnicos como ingenieros, y la cantidad de equipos para la producción, transporte, colocación, distribución, compactación y curado.

En las secciones siguientes se describirán las etapas de la prueba, desde el proceso de preparar la base hasta la terminación del CCR

6.5 PREPARACIÓN DE LA BASE

Un pavimento es una estructura diseñada para soportar cargas estáticas y móviles, conformado por diferentes capas, a las cuales se les denomina sub-base, base, y capa de rodadura.

La sub-base, viene a ser el material seleccionado y se coloca encima de la subrasante¹⁷.

El término base se refiere al material seleccionado que se coloca encima de la sub-base.

¹⁷ Parte superior del suelo de fundación, nivelada, perfilada y compactada, que sirve de apoyo a las diferentes capas del pavimento.

La capa de rodadura se refiere al material formado por una mezcla bituminosa o una losa de concreto.

En el área de prueba se tenía las siguientes características:

- *Se encontraba a nivel de base, es decir se le había colocado afirmado y compactado, tal como se puede ver fotos 6 y 7.*
- *El espesor de la base es de 20cm.*
- *El porcentaje de compactación fue 98% un poco menor de acuerdo a las especificaciones (100% para sub-bases y bases).*

6.6 PROCESO CONSTRUCTIVO

Se describirá el proceso constructivo en forma genérica y después el proceso para el caso particular de la prueba.

De acuerdo a las características del área, el clima, acceso, transporte, etc., se planificó el proceso constructivo en las siguientes etapas:

6.6.1 Producción

6.6.2 Transporte

6.6.3 Colocación y distribución

6.6.4 Control y compactación, y

6.6.5 Curado

6.6.1 Producción

Se puede producir en centrales utilizadas en la fabricación de concretos tradicionales, sin embargo para nuestro caso, por tratarse de un área pequeña en la producción se utilizó una mezcladora tipo trompo de 7 pies³ de capacidad, ver fotos 8 y 9.

De acuerdo a lo planificado, previa conversión de peso a volumen, en la dosificación de la mezcla se utilizó latas de 1/2 pié³, de igual forma, la cantidad de agua se dosificó en un balde de un galón, al que previamente se le marco el nivel de agua.

De acuerdo al área por experimentar y los resultados del laboratorio, los recursos utilizados fueron:

a) MATERIALES

- *Cemento, se estimó en 50 bolsas.*
- *Arena 3 m³.*
- *Piedra 3 m³, (tamaño máximo de 1”), y*
- *Agua 0.45 m³.*

b) MANO DE OBRA

- *1 capataz*
- *1 maquinista*
- *3 peones*
- *1 oficial*

c) EQUIPO

- *1 rodillo vibratorio de 2 tn.*
- *1 mezcladora tipo trompo de 7 pies³.*
- *Herramientas menores como: lampas, rastrillo, carretillas, mangueras, reglas, cilindros, etc.*

6.6.2 Transporte

Se utilizan volquetes, tratando de evitar la segregación, por lo que la altura entre el suelo y la tolva debe ser la mínima posible. Dependiendo del clima y la distancia se debe prever el uso de lonas o toldos para cubrir el CCR para que no pierda humedad.

En la presente prueba, se presentó la siguiente dificultad, como el área por vaciar queda muy cerca del ingreso de camiones de la Dirección de Obras Públicas, no se podía instalar la mezcladora en la pista de acceso, por lo que se instaló a 15 metros del lugar por vaciar.

El concreto se transporto en buggies de 3 pies de capacidad, ver foto 10.

6.6.3 Colocación y distribución

Dependiendo de la magnitud de la obra, la distribución del material puede realizarse manualmente o con equipos. (motoniveladora o distribuidora asfáltica).

La distribución se hizo manualmente, tal como se puede apreciar en las fotos 11 y 12.

Además, la colocación del CCR, debe ser lo más continua posible. Antes de la colocación del CCR se consideró:

- *La superficie donde se vació la mezcla, debe estar nivelada y compactada de acuerdo a los requerimientos especificados.*
- *De ser necesarios los encofrados laterales, éstos deben ser lo suficientemente rígidos, de tal forma que, no se deformen con la colocación y compactación del CCR.*

- *Se consideró un espesor de capa de 15 cm, para lo cual se colocó niveles que sirvieron de guía al momento de la compactación.*
- *Previamente en la superficie sobre la cual se vació el CCR, se roció agua, para que ésta no absorba agua de la mezcla.*
- *Para la descarga y distribución del CCR, el área se dividió en franjas, de tal forma de ir reduciendo el largo a medida que se coloca el CCR.*
- *La mezcla a colocar deberá ser transportada prácticamente hasta el sitio específico donde quedará ubicado. La colocación debe ser un proceso continuo de descarga y distribución, de tal forma que el vaciado se haga en forma controlada para obtener el nivel especificado sin compactación y sin segregación.*
- *Si durante el proceso de descarga y distribución se observa segregación, sea cualquiera la causa, se debe detener el proceso y hacer las correcciones necesarias*

6.6.4 Control y compactación

Los equipos son los mismos que se usan en pavimentos asfálticos, de acuerdo a la magnitud de la obra y el grado de compactación especificado, se pueden utilizar rodillos lisos, vibratorios, mixtos y placas vibratorias.

No existe un número fijo de pasadas, se recomienda un pequeño tramo experimental para verificar el número de pasadas necesarias.

Una vez, colocado y distribuido el material, se compacta con un rodillo de 2Tn, y que vibrando llega a 6Tn, ver foto 13.

En la prueba experimental, la compactación se llevó a cabo de la siguiente manera:

- *Inmediatamente después de colocado y distribuido el material.*
- *El primer pase con el rodillo vibratorio se hará sin vibración, los siguientes pases serán vibrados, se consideró cinco pases para alcanzar la densidad especificada en laboratorio.*
- *Después del número de pases considerados, se controló la densidad, ver foto 14, ésta alcanzo un valor de $2,350 \text{ kg/cm}^2$ ($CR = 2350/2373 = 99.03\%$), valor cercano al obtenido en laboratorio. Se tomaron 2 muestras para el ensayo a la compresión, ver foto 15; dió como resultado: a 3 días, 180 kg/cm^2 , y a 7 días 270 kg/cm^2 .*

6.6.5 Curado

Se realiza inmediatamente después terminada la compactación. El curado puede ser con agua o con riego asfáltico.

Si se emplea riego asfáltico colocando posteriormente una capa de arena, se puede abrir al tránsito inmediatamente después que rompa la emulsión.

Se roció agua inmediatamente después de terminar la compactación, y se curo por espacio de 3 días.

UBICACIÓN DE LA PRUEBA

SAN ISIDRO

VER LA VICTORIA N° 5

VER JESUS MARIA Y LINCE N° 5

VER SAN BORJA N° 9

VER MAGALENA N° 4

VER MIRAFLORES N° 11





Foto 6 : Area de prueba con base terminada.



Foto 7 : Colocación de Niveles.

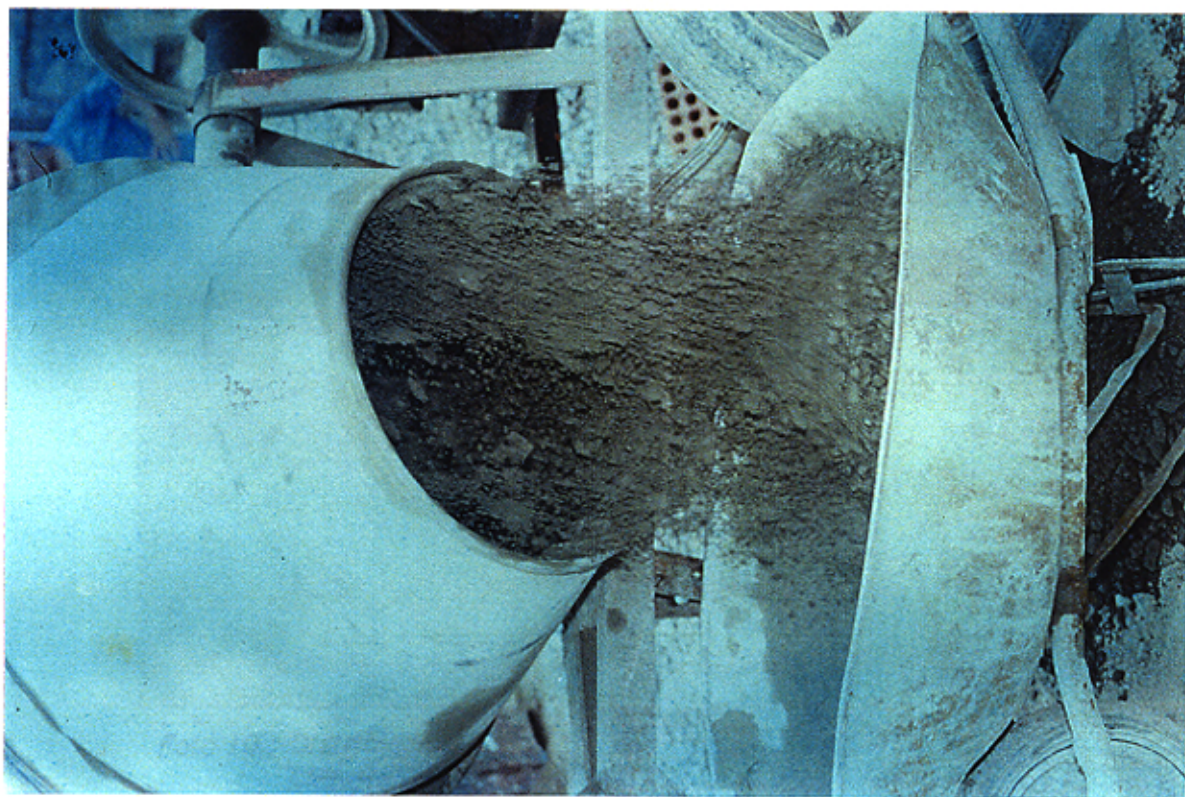


Foto 9 : Descarga de la mezcla de concreto.



Foto 8 : Producción de la mezcla de concreto.



Foto 10 : Distribución del Material.



Foto 11 : Colocación de la mezcla.



Foto 12 : Distribución del Concreto.



Foto. 13 : Compactación de losa de concreto.



Foto 15 : Toma de muestras de concreto.

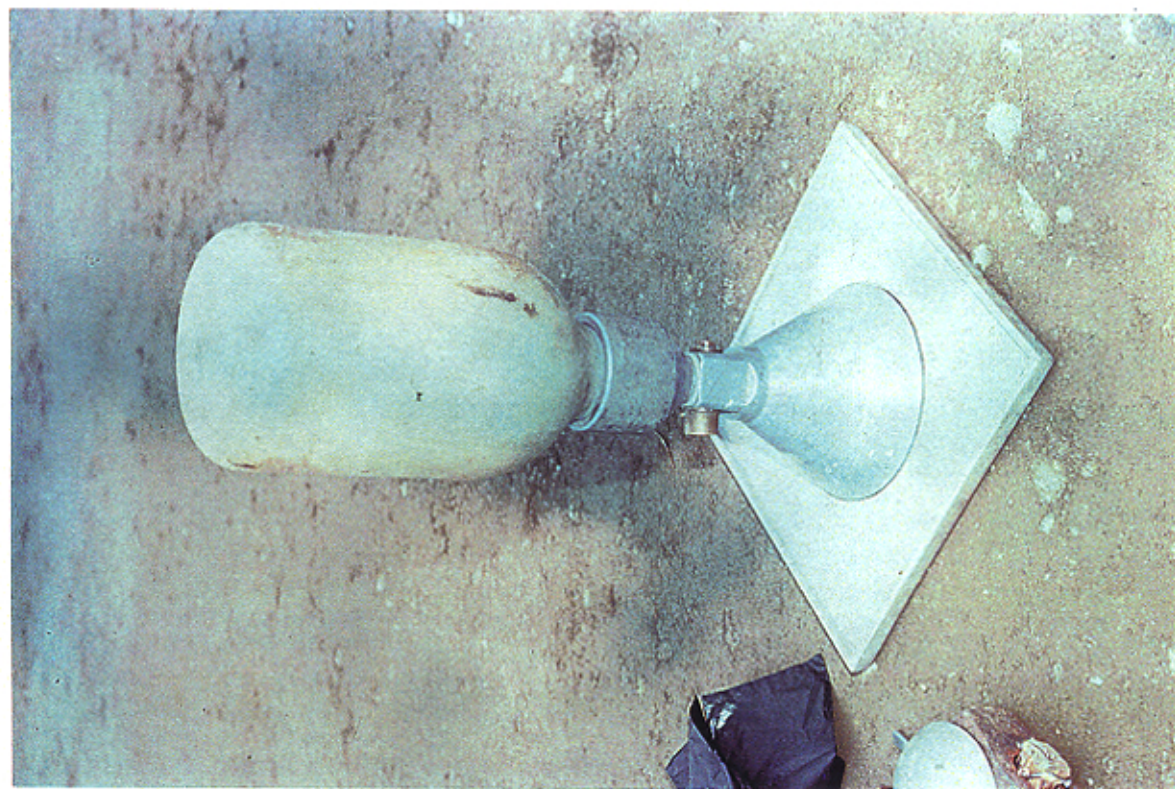


Foto 14 : Densidad de campo.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIÓN DE LOS CAPÍTULOS

- *COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS*
- *ENERGÍA DE COMPACTACIÓN*
- *DISEÑO DE MEZCLA*
- *CONTROL DE COMPACTACIÓN*
- *PRUEBA DE CAMPO*

CONCLUSIONES

En las secciones siguientes se presentan las conclusiones del presente trabajo, por capítulo y dentro de éstas, se hace algún comentario u observación.

CAPÍTULO I: EVOLUCIÓN DEL CCR

- *Podemos observar que desde su evolución y a través del desarrollo tecnológico, cada vez se han utilizado mayores volúmenes de CCR.*
- *En el Perú, con el mayor intercambio de información y conocimiento, no pasará mucho tiempo que el CCR sea conocido y aplicado, ya sea como pavimento o en la construcción de presas.*

CAPÍTULO II: MATERIALES A EMPLEAR

- *Los módulos de fineza de los agregados, están en un rango aceptable, en el agregado grueso fue de 7.2, en el caso de la arena fue de 2.52, por lo que no tiende a ser grueso (el límite recomendado es de 2.35 a 3.15). En cuanto al módulo de la combinación, éste fue de 5.09, valor comprendido entre 4.8 y 5.2¹⁸*
- *El ensayo de abrasión fue de 14.40% contra 50%, y en el ensayo de durabilidad (sulfato de sodio) se obtuvo un valor de 5.66% contra 15%, valores que están por debajo de lo que recomiendan las normas 400.020 y 400.016 respectivamente.*
- *Se obtuvo un 11% de fino (malla 200) contra un 5% que especifica la norma para concreto, sin embargo cuando se hizo la combinación se obtuvo un 5% de finos.*

¹⁸ BARRIOS

"MÉTODO DE MIRONOF", TESIS DE GRADO UNI-FIC

CAPÍTULO III: DISEÑO DE MEZCLAS PARA CCR

- *Después de probar los diseños que recomienda el ACI y obtener mezclas pedregosas y difíciles de compactar con el pisón de proctor, se optó por cambiar la metodología, es decir el cálculo del diseño de mezclas empleado, se apoya por un lado, en ensayos de mecánica de suelos y por otro en conceptos de tecnología de concreto.*
- *Se utilizó el siguiente procedimiento, con el método del cuadrado se determinó las proporciones para la mezcla de agregados, después se calculó la relación agua/cemento utilizando el ensayo del proctor y finalmente las proporciones para el diseño de mezcla. Otra forma de calcular es utilizando el método del agregado global (módulo de fineza), por ejemplo, conocido el módulo de la combinación, del agregado grueso y fino, se puede calcular la participación porcentual del agregado fino y restando de 100% se calcula la participación porcentual del agregado grueso.*
- *Se decidió usar 12% de cemento en la mezcla, ya que porcentajes mayores de cemento, producían concretos con un promedio de 300kg/cm², a los 7 días, con un 10% de cemento, se obtenía mezclas pedregosas y resistencias menores.*
- *Existen varias combinaciones de los agregados, pero la curva más suave y dentro de los límites especificados, es la que mejor comportamiento tendrá, tanto en el diseño de mezclas, como en resistencia.*
- *Con respecto a la energía de compactación, podemos afirmar que, cuanto mayor sea ésta, mayor será la densidad y menor el contenido de humedad en*

la mezcla y lo contrario si es menor la energía de compactación (ver gráfico 3, capítulo III).

- Para estimar la resistencia de diseño, se procedió de la siguiente manera, después de determinar el óptimo contenido de humedad, se varió el contenido de cemento y se evaluó la resistencia a los 7 días, de ésta forma, podemos determinar el contenido de cemento que permita alcanzar la resistencia deseada.

CAPÍTULO IV: PROPIEDADES DEL CCR EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO

- El peso unitario, en promedio fue de 2,300kg/m³, con agregados del orden de 1,500 a 1,700 kg/m³. Para el cálculo de éste, se consideró lo siguiente, un molde de 6'' x 12'', compactado con un martillo de 4.5kg y con una altura de caída de 18'', después de compactar el molde, se pesa la probeta y el valor obtenido se divide entre el volumen del mismo.
- Para evaluar el comportamiento de la mezcla, se utilizó los ensayos de resistencia a la compresión axial y diametral, dando resultados satisfactorios, para la resistencia a compresión se obtuvo 335 kg/cm² y a la tracción por compresión diametral 35 kg/cm², ambos a 28 días.

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y GRÁFICOS

- Con una participación de 12% de cemento, 49% de agregado grueso y 32% de agregado fino, en el ensayo de proctor, se obtuvo como resultado un óptimo contenido de humedad del 6% y una máxima densidad seca de 2,373gr/cm³. Con éstos porcentajes, se hizo el diseño de mezclas para un metro cúbico de CCR, ver Cuadro 16.

- Si comparamos el diseño de ésta mezcla con un diseño tradicional, observaremos la diferencia en la cantidad de cemento y agua, tal como se aprecia en cuadro adjunto.

Descripción	CCR	Concreto tradicional $f'c = 280\text{kg/cm}^2$ ⁽¹⁹⁾
Cemento	306	350
Arena	795	526
Piedra	1199	1367
Agua	169	166

- Del cuadro anterior observamos que, para un diseño de 280kg/cm^2 , a 28 días, el contenido de cemento es de 350kg , mientras que para un CCR, el contenido de cemento es de 306kg , y se obtiene una resistencia de 270kg/cm^2 , a 7 días, ver gráfico 11. La comparación no es en las mismas condiciones, debido a que la resistencia de CCR es a 7 días y el de concreto tradicional es a 28 días, sin embargo esto sirve como valor de referencia y demuestra la bondad de la mezcla seca.

CAPÍTULO VI: PRUEBA EXPERIMENTAL – APLICACIÓN DEL CCR

- Si bien es cierto que, el área de prueba fue pequeña, pero sirvió para evaluar y analizar, tanto el rendimiento, como el costo que involucra para hacer este tipo de mezclas.
- Con respecto al porcentaje de compactación, se especifico, primero dar una pase con el rodillo sin vibración y después cinco pases con rodillo vibrando,

¹⁹ MARCO A. ASENJO Y. Y
FRANKLIN BARMAC A.

"CONCRETO SIN SLUMP" TESIS DE GRADO UNI-FIC

seguidamente se determinó la densidad de campo, ésta alcanzó un 99% con respecto a la obtenida en el ensayo de Laboratorio.

- El costo de CCR para esta experiencia fue de 21.30 nuevos soles por metro cuadrado, para una resistencia promedio de 300kg/cm² y un espesor de 0.15m. En el cuadro adjunto, se muestra un análisis de precios unitarios.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PARTIDA: CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
 ESPESOR DE LOSA: 0.15 m.
 COSTO POR M2.: 21.30 nuevos soles
 RENDIMIENTO DIARIO: 90.00 m²/día

MATERIALES	Unid.	Cantidad	P.U.	Sub-total	Total
Cemento	bls.	7.560	12.00	90.72	
Arena	m ³ .	0.521	15.19	7.92	
Piedra	m ³ .	0.854	39.41	33.64	
Agua	m ³ .	0.178	9.00	1.60	133.87
MANO DE OBRA					
Capataz(1)	hh.	0.018	10.08	0.18	
Operarios(2)	hh.	0.178	8.40	1.49	
Peones(3)	hh.	0.267	6.78	1.81	3.48
EQUIPOS					
Herramientas menores	%M.O.	0.020	3.48	0.07	
Mezcladora de 7 p3.	hm.	0.089	13.75	1.22	
Rodillo liso vibratorio(2trn)	hm.	0.089	38.05	3.38	4.67
COSTO DIRECTO POR M3.					142.03

PRECIOS AL 31OCT98

- De acuerdo a la publicación de CAPECO al 31ago98, el costo para un pavimento de concreto de 210kg/cm² y 0.15m de espesor, es de 32.95 nuevos soles por metro cuadrado.
- Por los resultados de resistencia, compactación, costo, etc., satisfactorios podría utilizarse como una alternativa en la reparación de pavimentos.