

35.10 **DISEÑO DE MEZCLA**



Holcim



ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO DE MEZCLA

En el presente documento se describe el proporcionamiento que se consideran en el diseño de la mezcla del concreto con resistencia a la Flexión a 28 días, 45 kg/cm² colocación Directa.

Se anexan en el mismo los respaldos correspondientes que sustentan los valores considerados en el diseño, los cuales son presentados por la empresa Holcim Concretos, S.A. DE C.V.

En el cuadro 1, se muestran las principales características detallas:

Requisito	Detalle
Tipo de Cemento	ASTM C 1157 Tipo HE
Relación A/C	0.45
Tamaño Nominal de Agregado	Nº 57 (25 mm)
Asentamiento en Obra	Valor
Minimo	25 mm
Nominal	50 mm
Maximo	75 mm

Cuadro 1: Especificaciones para Mezcla de Concreto en el Proyecto

1. DISEÑO DE MEZCLA

Descripción de Materiales

Cemento

Se empleará cemento norma ASTM C1157 HE, el cual posee propiedades de ganancia de resistencia temprana, como puede verse en su certificado de calidad en la parte de anexos. El Cemento se despachará directamente de la Planta Cementera de Holcim El Salvador ubicada en la ciudad de Metapán, departamento de Santa Ana. El Cemento será suministrado a Granel y transportado hasta la Planta de Concreto por medio de Camiones Cisterna-Cementera conocidos localmente como Pipas para Cemento.





Planta de Cemento El Ronco, Municipio de Metapán

Agregados

Para la elaboración de la mezcla de concreto, se utilizarán los agregados Gruesos (Gravas) y Finos (Arenas), suministrados por LA CANTERA. La cual tiene sus instalaciones en el Km 57.5 de la Carretera El Litoral en el municipio de La Libertad. Los agregados producidos por nuestro proveedor LA CANTERA, son de origen basáltico y se distinguen por su alta homogeneidad, gran resistencia al desgaste, alta densidad y resistencia a la compresión.

Las granulometrías para los agregados gruesos las trabajaremos en base a la especificación ASTM C-33 para la clasificación de agregados gruesos

Las granulometrías de los agregados gruesos se realizan en base a la ASTM C136.

Grava

Se utilizará grava triturada de La Cantera que se encuentra disponible en los siguientes tamaños:

Grava #57 y Grava #8

Las características físicas de las gravas, son las siguientes de acuerdo a datos tomados recientes:



Propiedades	Grava #57	Grava #8
Granulometría	Dentro de límites ASTM C33	Dentro de límites ASTM C33
Densidad, gr/cm ³	2.59±0.04	2.54±0.04
Absorción, %	1.5±0.5	2.0±0.5
Peso volumétrico seco varillado, kg/m ³	1500±25	1425±25

Arena:

En el diseño de mezcla de concreto se utiliza como agregado fino la Arena Natural o arena de Río Tihuapa y Arena Triturada, las características físicas de la arena son las siguientes:

Propiedades	Arena Natural	Arena Triturada
Granulometría	Dentro de los límites ASTM C33	Dentro de los límites ASTM C33
Módulo de finura	2.73 ±0.3	2.9 ±0.3
Densidad, gr/cm ³	2.47±0.04	2.58±0.04
Absorción, %	4.5±1	3.0±1

Con respecto a la arena esta cumple con la clasificación de la norma ASTM C33, la cual brinda los parámetros de los porcentajes a cumplir, así como también el ensayo se realizar en base a la norma ASTM C136.

Aditivos Químicos

Para el retardo de fraguado y la reducción de agua en las mezclas, se emplean los diferentes aditivos RB928 (retardante de fraguado) y MEGAFLOW (reductor de agua de alto rango), según la especificación ASTM C 494. Ver certificados de calidad en Anexos.

Agua

El agua que se utiliza para elaborar el concreto satisface los requisitos aplicables de la especificación para Agua para ser usada en Concreto Premezclado.

DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de las mezclas se realiza siguiendo los procesos de optimización y diseños de Holcim Concretos, en donde se calibran las principales propiedades exigidas al Concreto Fresco y Concreto Endurecido.

A continuación se detallan algunos de los criterios tomados en cuenta:

Los valores conocidos dados por la ET a ser empleados en el diseño de mezcla se resumen en:

Valores Conocidos:

- Resistencia Especificada a Flexión a 28 días; $MR = 45 \text{ kg/cm}^2$.
- Máxima Relación Agua/Cemento; Solicitada $A/C = 0.45$.
- Tamaño Nominal del Agregado Grueso; 25 mm.
- Rango del Revenimiento Objetivo.

Los valores a ser determinados en el proceso del diseño de mezcla son:

- Valor de Sobre-Diseño.
- Relación Agua/Cemento para cumplir el Sobre-Diseño.
- Contenido de Agua para cumplir con el Revenimiento Especificado.
- Granulometría de Agregados Combinados.

Pasamos a discutir los cuatro pasos que fueron determinados durante nuestro Proceso de Diseño de Mezcla.



Valor de Sobre-Diseño.

El valor del Sobre-Diseño está relacionado con la probabilidad de valores menores al esfuerzo de flexión especificado a los 28 días. Esta relación es inversamente proporcional de tal suerte que para menor ocurrencia de valores menores al especificado, mayor será el valor de Sobre-Diseño.

La ecuación general del valor del Sobre-Diseño viene dada por.

$$\text{Valor del Sobre-Diseño} = \text{Valor Objetivo} + z * \text{Desviación Estándar}$$

Siendo.

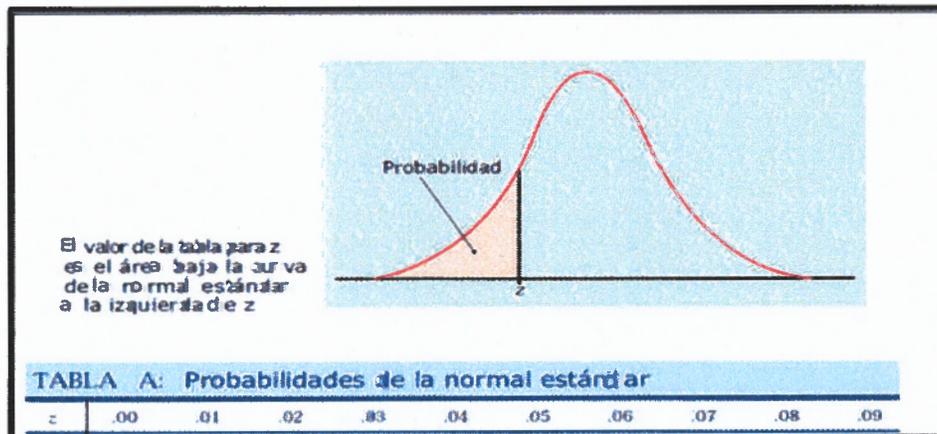
z = La probabilidad de ocurrencia de valores menores al Valor Objetivo, dentro de una población de eventos con una distribución Normal de frecuencia.

La ecuación general del valor del Sobre-Diseño viene dada por.

$$\text{Valor del Sobre-Diseño} = \text{Valor Objetivo} + z * \text{Desviación Estándar}$$

Siendo.

z = La probabilidad de ocurrencia de valores menores al Valor Objetivo, dentro de una población de eventos con una distribución Normal de frecuencia.



z = La probabilidad de ocurrencia de valores menores al Valor Objetivo

A la fecha, el % de valores menores al valor objetivo no está declarado en las ET y por experiencias en proyectos similares, el MOP tiene como regla el 0 % de datos menores al valor objetivo. Este criterio nos obliga a utilizar una condición de 6σ equivalente a un $z = 3.0$.

Aplicando estos criterios a la resistencia a la Flexión Especificada tenemos.

Para una Desviación Estándar histórica en plantas de producción de RMX utilizando Mezcladores Centrales de 1.5 kg/cm^2 .

Debe entenderse que la Planta Móvil para la producción de concreto del Proyecto no cuenta con datos propios que permita ser utilizado, por lo que se utiliza un dato histórico de proyectos anteriores con plantas de producción similares, esto nos permite hacer un cálculo del Sobre-Diseño para tener una Probabilidad de 0% de valores menores a $MR = 45 \text{ kg/cm}^2$.

Recordemos que la Desviación Estándar de los Valores de Resistencia está directamente relacionada con el Control de Calidad de la Producción de Concreto por medio del control sobre la Dosificación y Mezclado del Concreto.

Valor de Sobre-Diseño a Flexión = Valor Objetivo + z * Desviación Estándar.

$$\text{Valor de Sobre-Diseño a Flexión} = 45 + z * 1.5 \text{ kg/cm}^2$$

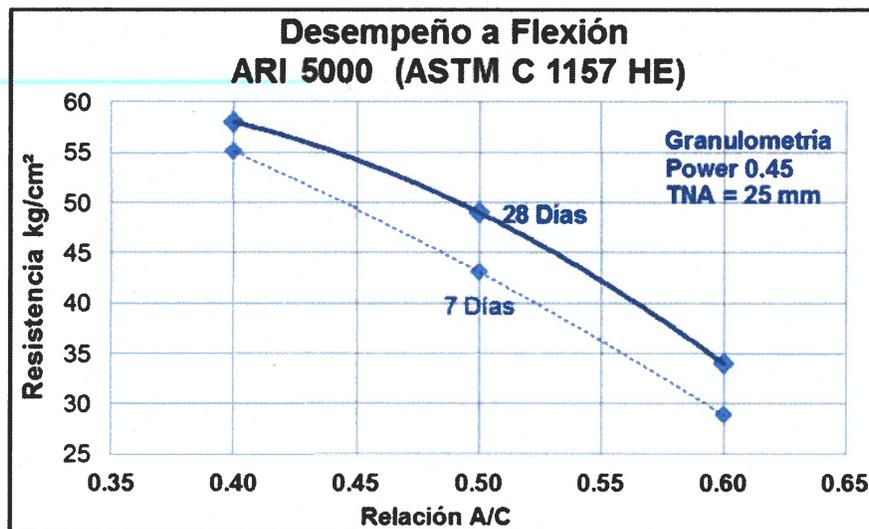
$$\text{Valor de Sobre-Diseño a Flexión} = 45 + 3 * 1.5 = 49.5 \text{ kg/cm}^2$$

Valor de Sobre-Diseño a Flexión = 49.5 kg/cm^2

Un Sobre-Diseño a Flexión promedio a 28 días cercano a 50 kg/cm^2 es suficiente para garantizar una probabilidad del 0% de valores menores a 45 kg/cm^2 .

Relación Agua/Cemento para cumplir el Sobre-Diseño.

Conociendo el Valor del Sobre-Diseño, buscamos en nuestras Curvas de Desempeño a Flexión cual A/C permite cumplir con este requisito.



Curva de Desempeño a Flexión

Cada valor mostrado en la Curva de Desempeño a Flexión, corresponde a un promedio de 5 repeticiones de mezclas de Laboratorio, utilizando los materiales que serán empleados en la Obra.

Estas curvas nos permiten hacer las primeras aproximaciones para determinar la relación A/C del Diseño Final de Mezcla.

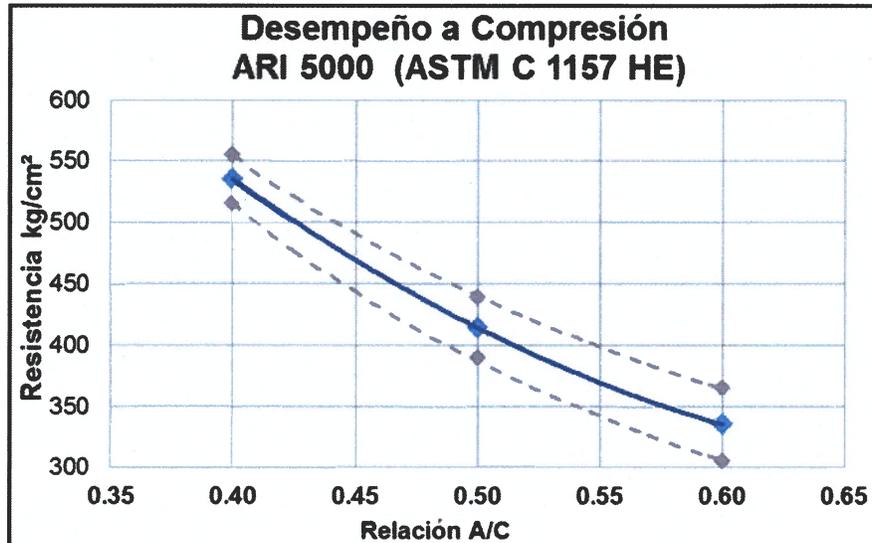
En la etapa de investigación se tuvo el cuidado de verificar que cada Granulometría Integral empleada, también se ubicara en la Zona II de la Carta de Shilstone.

Con la Relación Agua/Cemento de 0.45, se supera con amplio margen el Sobre-Diseño para 0% de valores menores al especificado.

Relación Agua/Cemento a ser utilizada en el Diseño de Mezcla = 0.45.



Para determinar la Resistencia a Compresión, utilizamos las curvas de desempeño creadas simultáneamente durante la investigación del desempeño a Flexión.



Curva de Desempeño a Compresión

Se han incluido los valores máximos y mínimos obtenidos a compresión los cuales fueron suavizados para generar graficas de tendencia de Rangos.

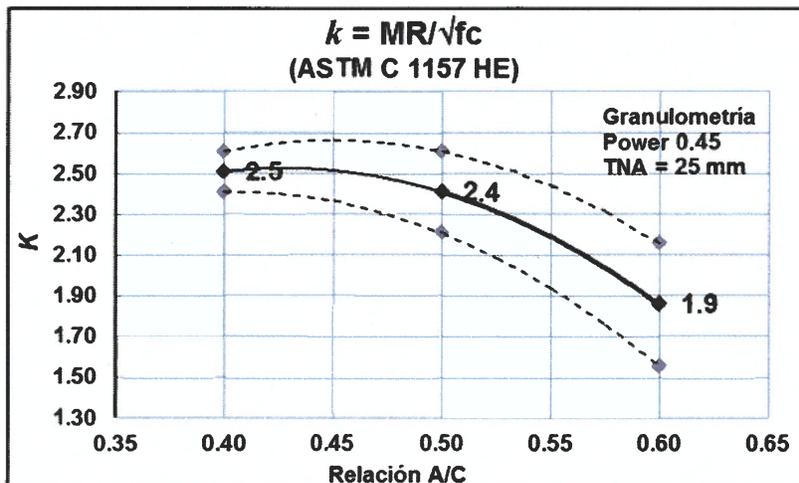
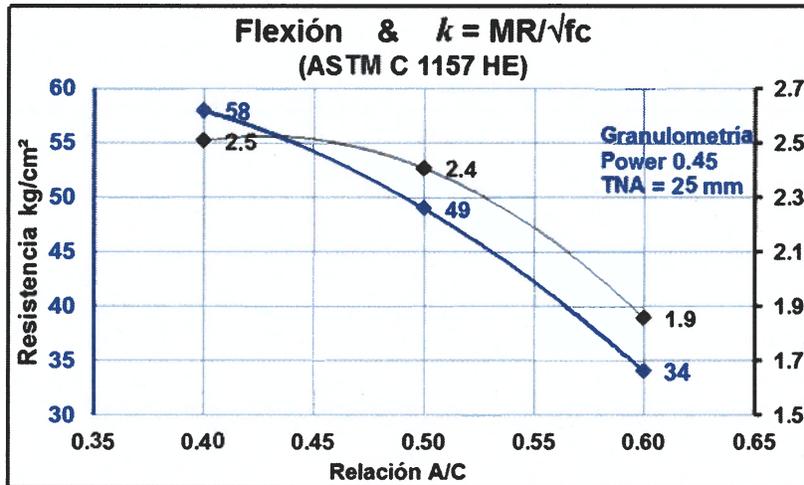
La Resistencia a Compresión Esperada a 28 días para una A/C = 0.45 es de 475 kg//cm² ± 25 kg/cm².

Resistencia a Compresión 475 kg//cm² ± 25 kg/cm².

Otras relaciones creadas durante la investigación de Desempeño a Flexión son las relacionadas entre Compresión y Flexión por medio de la ecuación.

$$MR = k * \sqrt{fc}$$

Los valores mostrados muestran tendencias de comportamiento general.



Relación $MR = k * \sqrt{f_c}$ para distintas A/C

No existe un valor único de k para una misma mezcla de concreto como algunos procedimientos lo insinúan.

Para tener una adecuada correspondencia Compresión/Flexión que sirva para comprobar el cumplimiento a flexión por medio de resultados de compresión, se debe documentar durante las primeras etapas de ejecución del proyecto ambos



valores correspondientes a una misma muestra y encontrar la correspondencia para cada rango de variación de los valores de compresión, dentro de la distribución de frecuencia normal de los valores de compresión. Como Proveedores de Concreto, esta fuera de nuestro compromiso construir este tipo de estudio siendo nuestra ineludible responsabilidad el cumplimiento de la Relación A/C Solicitada y de la Resistencia a Flexión relacionada con dicha A/C.

Contenido de Agua para cumplir con el Revenimiento Objetivo.

Mediante las mezclas de laboratorio se determinó que el agua libre de mezcla para una A/C = 0.45 oscilaba entre 173 hasta 178 Litros/m³ para una cantidad inicial de aditivos dentro de la mezcla.

Para compensar los menores valores de Revenimiento originados por el uso de la Fibra Sintética, se fijó el agua en 175 Litros/m³ y se buscó ajustar el cumplimiento del revenimiento por medio del uso de Aditivos plastificantes.

Por los distintos periodos de acarreo originados durante el transporte del concreto desde la planta de producción hasta el punto de pavimentación, el revenimiento de salida de Planta se encuentra en el límite superior para garantizar cumplir con el revenimiento objetivo en Obra.

El uso de dos tipos de aditivos nos permite tener un mejor control sobre un adecuado Tiempo de Fraguado Inicial, por medio del uso de un aditivo Tipo B, y el control del Revenimiento de Salida por medio de un aditivo Tipo F.

La cantidad de Agua Libre de Mezcla más la cantidad de agua contenida en los Aditivos, permiten cumplir con la A/C solicitada de 0.45.

Agua de Mezcla = 175 Litros/m³.



Granulometría de Agregados Combinados.

Con el objetivo de maximizar el desempeño de la mezcla, se realizaron mezclas preliminares con diferentes granulometrías integrales.

Las granulometrías que presentaban un adecuado equilibrio entre facilidad de colocación y desempeño a flexión fueron las que se acercaron a las granulometrías Power 0.45.

$$\% \text{ Pasante} = (d/D)^{0.45}$$

Paralelamente, revisamos los Factores de Grosor y Trabajabilidad de la Carta de Shilstone de nuestro Diseño Final de Mezcla.

La composición granulométrica junto con el contenido de cemento relacionado con la A/C solicitada (A/C=0.45), garantiza estar en la Zona II de la Carta de Shilstone con valores del Factor de Grosor de FG = 66.5 y Factores de Trabajabilidad FT = 34.4.

Discusión Granulométrica.

Los distintos métodos para evaluar la Granulometría Integral de una combinación de agregados, buscan facilitar la elección de los porcentajes de cada material que permita una distribución lo más continua y conveniente posible, utilizando las Granulometrías individuales de los Agregados Disponibles en la Obra.

Una vez seleccionada la combinación de agregados, se procede a elaborar Mezclas de Concreto en Laboratorio y evaluar su facilidad de colocación y acabado teniendo en consideración los métodos constructivos a ser empleados en la Obra.

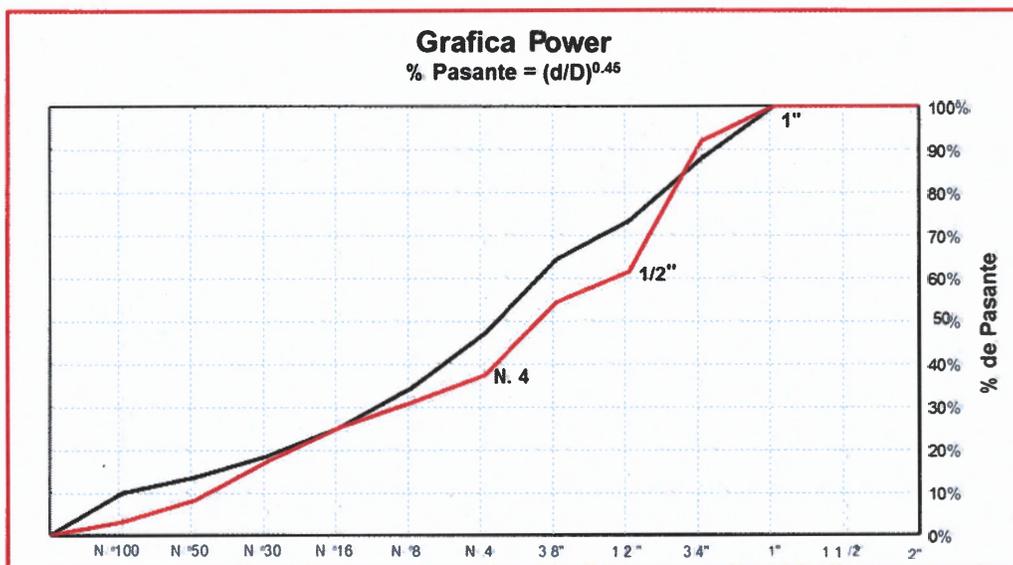
El estricto cumplimiento de una Granulometría Integral no garantiza producir mezclas de concretos manejables ya que esto depende en gran medida de las características y cantidad de la Fase Mortero del Concreto, donde se incorpora la cantidad de Agua, la cantidad de Cemento y el Porcentaje de Aire Incorporado intencionalmente; estos elementos no son contemplados en el análisis granulométrico.

Grafica de Power (0.45)

Es un desarrollo de Granulometría Continua que permite fácilmente identificar excesos o faltantes de material en cada Malla.

Para nuestro caso, se detectó un faltante en la Malla 1/2" que es originada por la granulometría de la Grava 57. A pesar que la granulometría independiente de esta grava cumple con las Bandas dadas por la ASTM C 33, en un análisis integral se evidencia un faltante en este tamaño. Esto se aprecia más fácilmente utilizando una gráfica de Mallas y Porcentajes, siendo más difícil identificarlo al construir el grafico en escala Semi-logarítmica.

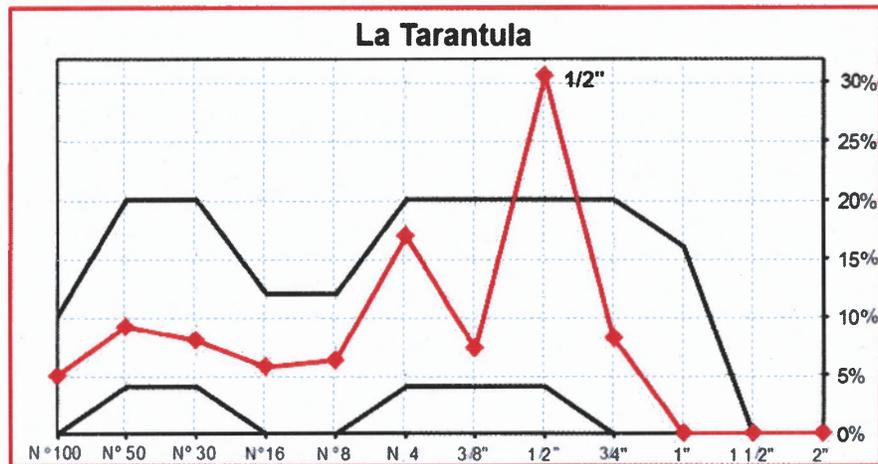
En la gráfica Power se identifica que la combinación de las Arenas se compensa convenientemente para las Arena Gruesas (hasta Malla N° 30). análisis de Afenas Finas no procede para Mezclas para Pavimentos, adema podemos identificar que la combinación de las Gravas genera una granulometría ligeramente gruesa apropiada para concretos a ser utilizados en Pavimentos.



Grafica Integral Power (0.45) – Porcentaje de Pasante por Malla

Grafica "La Tarántula".

De reciente desarrollo, la Grafica "La Tarántula" presenta porcentajes de retenidos recomendados para concretos a ser utilizados en Pavimentos, permitiendo que uno o hasta tres puntos se encuentren fuera o en las inmediaciones de sus límites.



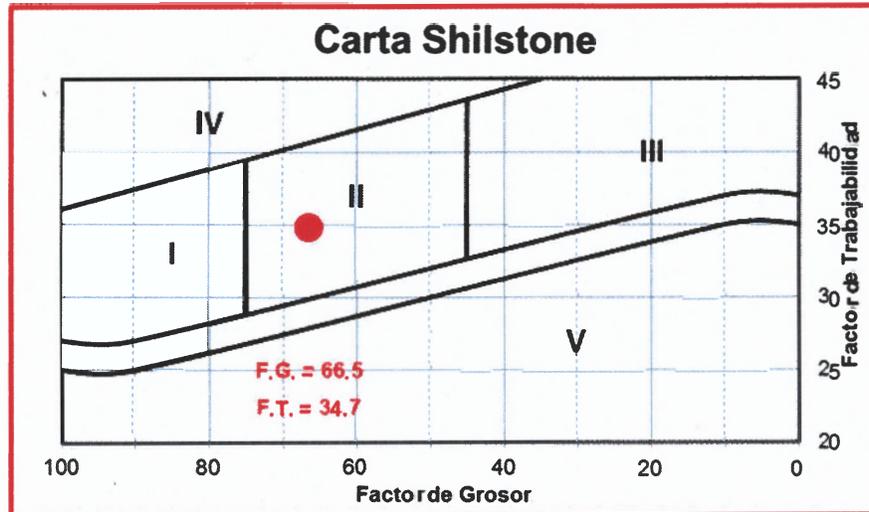
Porcentajes de Retenidos por Malla

Analizando los retenidos de las tres Mallas consecutivas, Malla 3/4", Malla 1/2" y Malla 3/8", se identifica que el exceso de retenido en la Malla 1/2" es compensado con los otros dos retenidos, principalmente con de la Malla 3/8", cumpliendo los criterios de continuidad de esta metodología propone.

Graficas Shilstone.

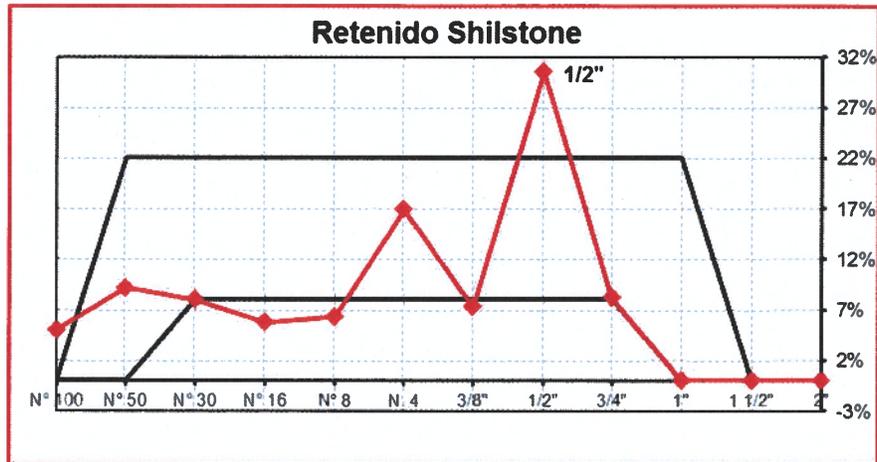
La Carta Shilstone es una herramienta que reúne convenientemente la elección de las granulometrías de los agregados y la facilidad de colocación (Trabajabilidad) ya que incorpora la Fase Mortero constituida por el porcentaje de Arena Pasante la Malla N° 8 y la cantidad de Cemento dentro de la Mezcla.

Para concretos a ser utilizados en Pavimentos, en general se recomienda ubicarse en la Zona II de la Carta de Shilstone.



Diseño de Mezcla Final con A/C = 0.45

El Grafico de Retenidos de Shilstone, al igual que el grafico Power (0.45) facilita identificar faltantes o excesos de materiales en cada malla. Sin embargo, concedores de la dificultades de obtener una continuidad perfecta, la metodología Shilstone permite que dos puntos consecutivos pueden estar fuera de los % de retenidos recomendados siempre que el concreto sea adecuadamente trabajable.



Porcentaje de Retenidos por Malla

Como lo expresa el *Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement*, el cumplimiento de una Metodología de Análisis Granulométrica no garantiza el cumplimiento de los parámetros de evaluación propuestos por otras metodologías.

Conclusión de la Discusión Granulométrica.

La combinación granulométrica propuesta en el Diseño Final de Mezcla, cumple con todos los criterios recomendados por la Metodología Shilstone.

Porcentajes de Participación de los Agregados.

Porcentaje Total de Arena: 34.5 %

- Arena Natural: 60%
- Arena Triturada: 40%

Porcentaje Total de Grava: 65.5 %

- Grava N° 57: 84%
- Grava N° 8: 16%

Diseño de Mezcla.

Aclaremos que el procedimiento de Diseño de Mezclas utilizando Granulometrías Integrales, se aleja del criterio utilizado por el ACI 211.1 donde la cantidad de Agregado Grueso depende de su Tamaño Nominal y del Módulo de Finura de la Arena. Adicionalmente, el ACI 211.1 no contempla las posibles variaciones en porcentajes de dos o más agregados gruesos de diferentes tamaños y que de estos porcentajes, dependa la densificación de la Mezcla.

El diseño final es calculado por medio de los aportes de los Volúmenes Absolutos de los materiales a ser utilizados.

1. Agua Libre: 175 Litros/m³, encontrada por medio de Mezclas de Prueba
2. Relación A/C: Definida para el Proyecto como $A/C = 0.45$.
3. Cemento: 400 kg/m³, que permite asegurar el cumplimiento de la A/C de proyecto incluyendo el agua que aportan los Aditivos.
4. Porcentaje de Aire Atrapado; 1%, el cual fue determinado en las Mezclas de Prueba.
5. Aporte de Volúmenes Absolutos: Determinado por los porcentajes de participación encontrados en la Discusión Granulométrica.

Porcentaje Total de Arena: 34.5 %

- Arena Natural: 60%
- Arena Triturada: 40%

Porcentaje Total de Grava: 65.5 %

- Grava N° 57: 84%
- Grava N° 8: 16%

Por solicitud se trabajara con una A/C=0.45 para el diseño de mezcla MR45.

DISEÑO DE MEZCLA MR 45 DIRECTO CON TEMPERATURA Y FIBRA PARA CAMION DE VOLTEO

Proporcionamiento Volumétrico

Materiales		Consumos	
		kg / m ³	Litros / m ³
Cemento		400	134
Adición	0.00%	0.00	0
Agua	A/C = 0.45	175.0	175
Vacios	1.0%		10
Agregado Fino	34.5%		
Agregado Fino 1	40.00%	237	94
Agregado Fino 2	60.00%	356	145
Agregado Grueso	65.5%		
Agregado Grueso 1	81.0%	945	368
Agregado Grueso 2	16.0%	180	71
Aditivos	ml/Kg		
Aditivo 1	2.00	0.91	0.80
Aditivo 2	7.00	3.39	2.80
Aditivo 3		0.00	0.00
		Σ = 2297	Σ = 1000

Notas:

Las cantidades declaradas están sujetas a cambios por ajustes granulométricos y rendimientos.

Variación de Peso antes de Ajuste por Rendimiento= 2309 ± 23 kg/m³ - (2286 - 2332 kg/m³)

Las Gravedades Especificas son un promedio de resultados

Dosificación Final

Material	Identificación	Cantidad Final	Unidad
Cemento	C1157	400	kg / m ³
Adición	0	0.00	kg / m ³
Agua	ANDA	175	Litros/m ³
Agregado Fino			
Agregado Fino 1	Arena Triturada Cantera	240	kg / m ³
Agregado Fino 2	Arena Tihuapa	360	kg / m ³
Agregado Grueso			
Agregado Grueso 1	Grava #57	950	kg / m ³
Agregado Grueso 2	Grava #8	180	kg / m ³
Aditivos			
Aditivo 1	IMIX RB 928	0.80	Litros/m ³
Aditivo 2	Megaflow	2.80	Litros/m ³
Aditivo 3	0	0.00	Litros/m ³
Fibras			
Fibra 1	Imifiber A	0.50	Kilos/m ³
Fibra 2	0		Kilos/m ³
Sumas		$\Sigma = 2310$	kg / m ³

Nota:

Los ajustes podrán realizarse en los siguientes materiales: Cemento, Agregados, Aditivos. Siempre y cuando se cumpla con los requerimientos exigidos en las especificaciones del proyecto.



Atentamente.

Holcim Concretos, S.A. de C.V.



Coordinador de Control de Calidad