

83



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN COMO ÍNDICE  
DE DURABILIDAD DEL CONCRETO Y FACTORES  
QUE LA INFLUYEN.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A:  
OSCAR MEDINA HERNÁNDEZ**

**DIRECTOR DE TESIS:  
ING. ROBERTO URIBE AFIF.**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/185/2001

Señor  
OSCAR MEDINA HERNÁNDEZ  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ROBERTO URIBE AFIF, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN COMO ÍNDICE DE DURABILIDAD DEL CONCRETO Y FACTORES QUE LA INFLUYEN"

- I. INTRODUCCIÓN
- II. GENERALIDADES
- III. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
- IV. DISCUSIÓN
- V. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
- VI. RESULTADOS
- VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS
- VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- IX. REFERENCIAS

*[Firma]*  
7/10/02

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

*[Firma]*  
Dra. Lilia Reyes Chávez

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria a 12 noviembre 2001  
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMP/mstg

*[Firma]*  
M.C. Ericko Martínez Gómez

ESTOY DE ACUERDO CON EL 100% DE LA TESIS

*[Firma]*

*[Firma]*  
Guillermo Yanez G.

ING. ROBERTO URIBE AFIF



*A mis padres, José Medina y Amparo Hernández quienes me brindaron su apoyo y me enseñaron a ser perseverante en la vida y luchar por mis ideales.*

*Al Ing. Roberto Uribe quien confió en mi y me brindó su ayuda y experiencia para desarrollar el presente trabajo.*

*A mis sinodales:*

*Dra. Lilia Reyes.*

*Ing. Carlos A. Arroyo.*

*Ing. Guillermo Mancilla.*

*Ing. Ricardo Martínez.*

*Los cuales me brindaron su apoyo y guía en algún momento de mi carrera y me ayudaron a ser mejor.*

*A todos aquellos que en algún momento me brindaron su apoyo para ser un mejor ingeniero y una mejor persona.*

*A Diana Verónica, quien siempre estuvo a mi lado y me brindó su amor y confianza en todo momento.*



*Agradezco a CEMEX  
Concretos y al CTCC por el  
apoyo que me brindo para la  
elaboración de la presente  
Tesis.*



## LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN COMO ÍNDICE DE DURABILIDAD DEL CONCRETO Y FACTORES QUE LA INFLUYEN.

### Índice.

#### **Capítulo 1. Generalidades.**

- 1.1 Antecedentes.
- 1.2 Objetivos.

#### **Capítulo 2. Desarrollo de la Investigación.**

- 2.1 Justificación.
- 2.2 Definición de la investigación.

#### **Capítulo 3. Discusión.**

- 3.1 Resistencia a la Abrasión.
- 3.2 Métodos de prueba.

#### **Capítulo 4. Proyecto de Investigación.**

- 4.1 Método a aplicar.
- 4.2 Variables de Diseño.
- 4.3 Líneas de Investigación.

#### **Capítulo 5. Resultados.**

- 5.1 Resistencia a la Abrasión.
- 5.2 Resistencia a la Abrasión vs. Resistencia a Compresión.
- 5.3 Efecto de variables de diseño.

#### **Capítulo 6. Análisis de Resultados.**

- 6.1 La resistencia a la Abrasión como Índice de Durabilidad.
- 6.2 Efectos por variable.
- 6.3 Efectos en las propiedades del concreto.

#### **Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones.**

#### **Capítulo 8. Referencias.**



## CAPITULO 1. GENERALIDADES.

### 1.1 Antecedentes.

El hecho de que el concreto se desgasta es algo muy conocido y es tolerado hasta cierto punto, sin embargo no es sino hasta hace unos 30 años que surgió la preocupación por determinar cuales son los mecanismos de este fenómeno en cada caso en que este se presenta, con ello encontrar una solución para prevenir la abrasión concreto; o al menos retardarla lo más posible con el fin de que el concreto presente una vida útil más larga.

Considerada actualmente como una propiedad más del al concreto, la resistencia a la abrasión (RA) ha sido relegada a un plano secundario de importancia en el total de las propiedades del concreto, e incluso en algunas ocasiones ignorada. Sin embargo, la RA del concreto es una propiedad que influye de manera importante en la durabilidad del mismo, especialmente en los pisos o pavimentos, los cuales al estar hechos de concreto hidráulico presentan una resistencia a la abrasión dos veces mayor que la que presenta el pavimento asfáltico común<sup>(1)</sup>.

Existen principalmente dos tipos de condiciones de servicio que provocan que el concreto se vea expuesto a la abrasión, las originadas por acciones de origen mecánico; tales como el tráfico de personas y maquinaria en pisos y/o pavimentos de concreto, el tránsito de vehiculos automotores y cualquier tipo de tráfico sobre losas de concreto; y aquellas de origen hidráulico, como en el caso de canales de conducción de agua en centrales hidroeléctricas, canales de sedimentación en plantas de tratamiento o potabilización, pilotes de concreto en puentes que atraviesan cualquier cuerpo de agua, o en drenajes, tanto de conducción de aguas negras o pluviales. Es pertinente mencionar que el comité ACI 116 define a la abrasión como el desgaste sufrido por acciones mecánicas, mientras que al desgaste que se origina por acciones hidráulicas se le considera como erosión<sup>(2)</sup>.

De manera tradicional se asume que existe una relación directamente proporcional entre la resistencia a la compresión del concreto y la resistencia a la abrasión del mismo, aunque se reconoce que existen muchos otros factores que pueden llegar a modificar esta hipótesis, tales como son el empleo de adicionantes en el concreto, condiciones de exposición a las que va a estar sujeto el mismo, tipo de agregado utilizado, tipo de terminado, etc.

Con el fin de incrementar la resistencia a la abrasión del concreto se han utilizado tratamientos superficiales, ya sea líquidos o sólidos<sup>(3)</sup>; así como también se han buscado alternativas para incrementar la resistencia a compresión del concreto, buscando con ello de manera indirecta el aumento en la su capacidad para resistir el desgaste. Para lograr este fin, se han utilizado diversas alternativas tanto en el proceso de mezclado<sup>(4)</sup> como en el diseño

de la misma mezcla. De manera tradicional, se supone que otra manera de conseguir una mejor resistencia a la abrasión es la de utilizar agregados resistentes al desgaste, para que en combinación con los componentes del concreto logren incrementar la resistencia a la





abrasión; tal y como ha sido sugerido por diversos autores<sup>(5,6)</sup>. Con lo anterior se hace notar que existen muchos intentos dispersos para lograr una mejoría en esta propiedad del concreto.

Se debe tomar en cuenta que hasta el momento no existe un método unificado para evaluar la RA, lo que conlleva directamente a que no exista un estándar para definir el grado de resistencia que presenta un concreto; la variación de los tipos de lecturas (para algunas pruebas se reporta la pérdida en diferencia de pesos, pérdida en volumen y en otras en profundidad de desgaste) y el hecho de que no sean comparables provoca que sea prácticamente imposible correlacionar los resultados obtenidos entre una y otra prueba. Lo anterior dificulta bastante el lograr una medición confiable y estándar de esta propiedad, y en consecuencia el tomar una decisión que infiera en la durabilidad del concreto.

A diferencia de otras propiedades en las que se pueden estandarizar los resultados, la definición de la RA provoca que se presenten muchos problemas de interpretación de los mismos, debido a que no puede ser definido en porcentajes ya que estos son completamente diferentes para cada concreto, debido al peso del espécimen, sus dimensiones y la dosificación del concreto. Por lo tanto, la decisión del tipo de prueba a utilizar depende mucho de las necesidades de la investigación y del criterio de los investigadores, con lo que cada evaluación presenta diferentes parámetros de análisis.

Tales dificultades permiten entender la complejidad que presenta este tema, y a su vez hacen ver la importancia que tiene el mismo, dado que la resistencia a la abrasión puede llegar a significar un claro índice para evaluar una de las variables que afectan la durabilidad del concreto.

## 1.2 Objetivos.

Debido a los antecedentes existentes, la presente tesis únicamente se abocará a discutir sobre la resistencia a la abrasión resultado de acciones de índole mecánico, como en el caso de pisos industriales. Se presentarán una serie de resultados obtenidos de las pruebas y se analizará el comportamiento de las mismas, así como también se profundizará en la relación que guarda la RA con las diferentes características del concreto en todas sus etapas. En realidad ninguna de las pruebas existentes nos marca algún límite de aceptación o de rechazo en cuanto a la resistencia a la abrasión, por lo tanto los datos que arrojan las pruebas son meramente comparativos, por lo que resulta difícil decir que resistencia a la abrasión debe de tener un concreto para que satisfaga los requerimientos deseados. Las decisiones de aceptación o rechazo de un concreto basándose en su resistencia a la abrasión siempre se dan basándose en la experiencia y criterios del usuario, con lo que se podría considerar que las decisiones tomadas son sumamente subjetivas.

Con la pauta marcada con anterioridad, para la discusión de la RA, se analizará la información ya existente, se discutirá sobre los métodos de prueba normados para evaluarla y se presentará un proyecto de investigación en el que se validará esta propiedad, ya sea por sí misma o en conjunto con otras variables que la influyen, tales como los adicionantes minerales.



Por lo tanto: para la presente tesis, se han fijado como metas cumplir con los siguientes objetivos, que definirán el estudio.

- A. Realizar un análisis de la información existente sobre la resistencia a la abrasión del concreto.
- B. Identificar los métodos existentes y definir el método de prueba a utilizar.
- C. Identificar y analizar la relación existente entre la  $f'c$  y la resistencia a la abrasión.
- D. Analizar la influencia de los factores que influyen en el desarrollo de la resistencia a la abrasión del concreto.





## CAPITULO 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.

### 2.1 Justificación.

A pesar que hace mucho tiempo se le identifica y conocen sus efectos, en realidad existe muy poca información sobre la relevancia de la resistencia a la abrasión (RA) del concreto y sus factores de control, en comparación con otras propiedades del mismo las cuales si han sido ampliamente estudiadas. De hecho, es comúnmente aceptado que la RA del concreto guarda una relación directa con la resistencia a compresión, existiendo evidencia de esto en diversas investigaciones alrededor del mundo, aunque hay que hacer notar que no se ha profundizado mucho en este aspecto.

Al comprender mejor el comportamiento de los concretos en relación con su RA, permitirá en el futuro tomar mejores decisiones para obtener un comportamiento superior de los mismos en situaciones en donde se vean expuestos al desgaste, ya sea tanto mecánico o hidráulico, y de esta manera, obtener ahorros significativos en los costos de los concretos expuestos a estos ambientes al prolongarles la vida útil y espaciar por más tiempo los periodos de reparación y/o mantenimiento de las estructuras que presenten daños provocados por el desgaste.

Hay que tener en mente que la RA es una propiedad muy importante relacionada con la durabilidad de los concretos, y si se desea obtener concretos cada vez más durables, es menester tener bien conocidas todas las variables que influyen en este proceso. Así, tal y como se ha mencionado en párrafos anteriores, si se conoce el proceso que envuelve a la RA del concreto, se podrá utilizar dicho conocimiento para mejorar las características de los mismos que se vean expuestos a condiciones de servicio que provoquen que éste se desgaste; de esta manera, se podrá elaborar concretos más durables y de más alto desempeño.

### 2.2 Definición de la Investigación.

Actualmente es imposible el pensar en diseñar una obra de concreto sin tomar en cuenta la durabilidad, las exigencias de la misma sociedad marcan pautas muy específicas a seguir, y en el caso de la industria de la construcción se debe de trabajar bajo el concepto de que las obras no solamente deben de cumplir con las condiciones de servicio a las que van a estar expuestas, sino también que deben de ser funcionales y durables (las normas mexicanas marcan un mínimo de 50 años de vida útil de cualquier estructura de concreto<sup>(1)</sup>).



De tal manera, la durabilidad de un concreto ha pasado a ser un factor de suma importancia en el diseño, así que este no solamente debe de cumplir con las especificaciones de diseño de orden o carácter mecánico, sino que también debe de cumplir con un mínimo de vida útil de diseño. En el caso en donde el concreto se vea expuesto a acciones que originen que este se desgaste es de vital importancia el haber diseñado el concreto con los criterios de la durabilidad, ya que de no ser así, este no va a ser capaz de resistir las acciones abrasivas de servicio y su vida útil se va a ver severamente mermada.

Con el fin de lograr que un concreto resista las acciones que puedan provocarle desgaste es necesario el diseñarlo específicamente para que resista estas acciones, por lo cual es necesario el conocer los factores que pueden influir para el desarrollo de la RA del concreto y así poder encontrar el diseño de mezcla óptimo con el fin de desarrollar un concreto que sea resistente a la abrasión y en consecuencia un concreto más durable. Actualmente, en la literatura existente se tienen diversas referencias sobre los factores que influyen sobre esta propiedad del concreto, en algunos casos se encuentran un tanto dispersas y pueden llegar a tener conclusiones encontradas.

Con el fin de obtener un mejor panorama que nos permita el realizar una toma de decisiones óptima, en el presente documento se realiza un análisis de la literatura existente, y de esta manera se profundizará en el conocimiento sobre el tema, atendiendo a las experiencias de los investigadores alrededor del mundo, reflexionando sobre la influencia que los diversos componentes del concreto ejercen sobre la resistencia a la abrasión del mismo, la correlación de la resistencia a compresión y/o la relación a/c con la RA.

En la presente tesis, se analizará de primera mano la influencia de diversos factores que influyen en el desarrollo de la resistencia a la abrasión del concreto, se analizarán los resultados obtenidos, se elaborarán hipótesis basadas en las conclusiones a las que se llegue y se cotejarán las mismas con las conclusiones obtenidas en la literatura existente. Todo esto con la finalidad de que al término de la investigación se cuente con una fuente de información real y acorde a las necesidades de la industria de la construcción en el país que permita a todo aquel interesado el tomar una decisión adecuada para diseñar su concreto por durabilidad.



## CAPITULO 3. DISCUSIÓN.

### 3.1 Resistencia a la Abrasión.

La abrasión en el concreto se presenta por medio de la magnitud del desgaste de la superficie expuesta a la misma, existen diversos factores que la controlan y; en gran medida la durabilidad de un concreto bajo condiciones de trabajo en los que se ve sometido a la fricción, al rodamiento o a cualquier acción de desgaste depende de que tan resistente sea la superficie de este concreto a la abrasión.

Se ha establecido de manera tácita que la resistencia a la abrasión del concreto varia inversamente con la relación agua/cemento<sup>(1)</sup>, o expresado de otra forma, entre mayor sea la resistencia a compresión, mayor será la resistencia a la abrasión<sup>(2)</sup>.

Ordinariamente se considera que un factor importante que debe ser controlado para que un concreto presente una buena resistencia a la abrasión es el escoger agregados de buena resistencia al desgaste, dado que, después de que la capa superficial del concreto ha terminado de ser desgastada, el agregado grueso queda expuesto y es quien se ve obligado a resistir las acciones abrasivas a las que se ve sometido el concreto en combinación con la pasta, obviamente esto no es deseable y es recomendable que se elija una buena matriz cementante de alta resistencia, para así no llegar al extremo de que el agregado quede expuesto, o por lo menos de que exista oportunidad de llevar a cabo operaciones correctivas. Sin embargo, varios estudios<sup>(3)</sup> señalan que se pueden utilizar agregados de baja calidad, compensándolo con el uso de una matriz cementante de alta calidad, para poder obtener una buena resistencia a la abrasión.

Si la resistencia a la abrasión es el principal factor de consideración, con la adición de cuarzo de gran calidad, basalto o agregados de esmeril debidamente proporcionados con el cemento incrementarán la resistencia a la abrasión al incrementar la resistencia a la compresión y la dureza en la superficie<sup>(4)</sup>.

Existen varios factores que afectan la resistencia a la abrasión del concreto, dado que este es un fenómeno progresivo e inicialmente se presenta en la capa superficial del concreto y avanza hasta dejar expuestos a los agregados. Se han identificado doce deficiencias<sup>(5)</sup> que se consideran son las más importantes que pueden ocasionar que la resistencia a la abrasión disminuya, las cuales son:

- a) Excesiva agua de Sangrado.
- b) Insuficiente contenido de cemento.
- c) Relación agua/cemento mayor que 0.5 Demasiado revenimiento, que provoca sangrado y ascenso de las partículas más suaves y ligeras (el comité ACI 201 recomienda un revenimiento máximo de 7.5cm).
- d) Excesiva manipulación del concreto, sobre todo si es fluido.
- e) Agua de sangrado que es forzada a emerger por la aplicación prematura de la llana de madera y la llana metálica.



- f) Uso de agua adicional para dar el acabado superficial.
- g) Exceso de aire intencionalmente incluido.
- h) Curado deficiente.
- i) Carbonatación del concreto por falta de ventilación, cuando se utilizan calentadores para los colados en frío.
- j) Deterioro de la resistencia potencial del concreto, por congelación a edad temprana.
- k) Apertura al tráfico demasiado pronto, antes de que el concreto desarrolle suficiente resistencia a la abrasión.

En particular, se debe de poner especial atención en el inciso i de la lista citada, por lo tanto es importante el proporcionar un curado adecuado al concreto, ya que este es un factor determinante en el desarrollo de la resistencia a la abrasión, de manera que un curado deficiente conduce a una disminución de la resistencia a la abrasión<sup>(6,7,8)</sup>. En forma complementaria hay que tener cuidado en el curado correcto del concreto, este no debe descuidarse por ningún motivo, ya que como se menciona en párrafos anteriores influye de manera muy significativa en el mejoramiento de las propiedades del concreto en general y por lo tanto en su desempeño en el futuro

Existen otros factores que afectan a la resistencia la abrasión del concreto, en un estudio previo se comprobó que los concretos con mayor resistencia a la abrasión son aquellos con cementos 100% tipo portland, y los que muestran una menor resistencia a la abrasión son aquellos en que se utilizó Silica Fume. Esto es probablemente por las microfisuras debidas a la tendencia a la auto - desecación del concreto con Silica Fume<sup>(1)</sup>.

Con lo anterior se hace notar que otro factor que afecta a la resistencia a la abrasión del concreto son los adicionantes del mismo, en el caso de la Silica Fume dado que este material requiere de una mayor cantidad de agua para que el concreto tenga una buena trabajabilidad, aumenta la relación agua/cemento y de acuerdo a la teoría a una mayor relación a/c se obtiene una menor RA. De un sencillo análisis resulta que los aditivos superplastificantes al permitir una substancial reducción en la relación agua/cemento son los responsables de que los concretos incrementen de manera significativa la resistencia a la abrasión<sup>(1)</sup>.

Asimismo, los adicionantes del concreto influyen de maneras muy diversas en la resistencia a la abrasión, en un estudio llevado a cabo en la Universidad Autónoma de Nuevo León<sup>(9)</sup> se comprobó que, para el concreto fluido el uso de aditivos densificadores elimina la formación de hidróxidos (polvo) sobre la superficie, y combinado con superplastificantes; produce un concreto trabajable con valores de relación agua/cemento bajos, obteniendo una alta resistencia a la abrasión. También, se ha visto que los concretos con adicionantes de látex ven incrementados de manera significativa su resistencia a la abrasión<sup>(10)</sup>.

Usualmente se suele considerar que la resistencia a la abrasión del concreto guarda una relación directamente proporcional con la resistencia a la compresión del mismo, lo cual es razonable y lógico dado que a menor relación agua/cemento mayor es la  $f'c$  obtenida. Esta aseveración de la relación lineal ha surgido debido a la experiencia de los investigadores que en algún determinado momento han tocado la resistencia a la abrasión del concreto. La



abrasión parece implicar esfuerzo de alta intensidad aplicado localmente de manera que la resistencia y dureza de la zona superficial del concreto influyan fuertemente en la resistencia a la abrasión. En consecuencia, la resistencia a la compresión del concreto es el factor principal que controla la resistencia a la abrasión<sup>(11)</sup>.

Dado que la abrasión ocurre en la superficie del concreto, es muy importante que la resistencia superficial del concreto sea maximizada. La resistencia a la compresión en la superficie se puede mejorar implementando las siguientes acciones:

- a) Evitando la segregación.
- b) Eliminando el sangrado.
- c) Tiempo de terminado apropiado.
- d) Minimizando la proporción agua /cemento en la superficie, olvidándose de agregarle agua a la superficie para ayudar al terminado.
- e) Evitando el frotado vigoroso en la superficie.
- f) Procedimientos apropiados de curado.

Asimismo, se puede mejorar la resistencia a la abrasión empleando diversos tratamientos superficiales, sobre todo aquellos que contiene agregados de tipo metálico, de hecho estos tratamientos pueden influir a tal grado que reducen la influencia del diseño de la mezcla en la resistencia a la abrasión<sup>12</sup>.

Otro factor muy importante que hay que cuidar para que un concreto tenga una buena resistencia a la abrasión son los acabados del concreto, ya que pueden modificar la relación agua/cemento, provocar la segregación de los agregados e influenciar directamente en la compactación del concreto. Lo deseable en una operación de acabado del concreto es que esta proporcione una pasta sumamente densa, con lo cual se mejoran las propiedades de la zona superficial del concreto.

Hasta la fecha han clasificado<sup>(5)</sup> tres niveles de abrasión de acuerdo a su intensidad de deterioro potencial, los cuales son:

1. Ligero y mediano. Se presenta en pisos y pavimentos de concreto expuestos al tránsito de personas, vehículos de todo tipo provistos con ruedas de hule (neumáticas o sólidas) y vehículos ligeros provistos con ruedas metálicas; utilización de la superficie como área de maniobras ligeras, en el interior de fábricas y plantas industriales.
2. Energico. Se presenta en pisos y pavimentos expuestos al tránsito de vehículos pesados, frecuentemente equipados con cadenas antiderrapantes; plataformas destinadas en el manejo de carga pesada(en los muelles por ejemplo).
3. Muy Energico Este Ocurre en pavimentos de áreas destinadas a maniobras muy pesadas, en donde se requiere del uso de vehiculos y equipos provistos con bandas metálicas articuladas tipo orugas, y/o en superficies acondicionadas para manejo por medio de arrastre de cuerpos pesados, como por ejemplo los patios de maniobras de los aserraderos.



Los ensayos para conocer la resistencia a la abrasión del concreto, se han venido realizando desde hace poco más de un siglo. Esto es un problema difícil dado que existen varias formas diferentes de abrasión y no existe un único ensayo que se haya desarrollado para que cubra todos los tipos de abrasión que se puedan presentar, se han determinado<sup>(4,13)</sup> 4 áreas generales principalmente para que sean consideradas en el análisis.

1. Pisos y losas de construcción (Tabla 1).
2. Deterioro en superficies de rodamiento de concreto debido a camiones pesados y automóviles usando llantas con cadenas o clavos.
3. Erosión en estructuras hidráulicas.
4. Acción de la cavitación en estructuras conductoras de agua de concreto.



	Clase	Trafico usual	Uso	Consideraciones especiales	Técnica de terminado final del concreto.
Curso sencillo	1	Personas a pie, ligero	Residencial o bajo techo.	Grado de drenaje: hacerlo plano para baldosas	Llana de acero mediana.
	2	Personas a pie.	Oficinas, Iglesias, Escuelas, Hospitales.	Agregado sin desprendimiento, mezcla en la superficie.	Llana de acero; terminado especial para que no exista desprendimiento.
			Residencias.	Mezcla de color especial.	Llana de acero, color, agregado expuesto; lavar si el agregado va a estar expuesto.
	3	Ligero de personas a pie y ruedas neumáticas	Calles, pisos de cocheras y banquetas para residencias.	El centro de la calzada; brea; juntas, inclusión de aire.	Flotar, llana y rastrillo.
	4	A pie y ruedas neumáticas*	Industria comercial ligera.	Curado cauteloso.	Llana de acero pesado y cepillado para evitar el desprendimiento.
5	Personas a pie y vehiculos con llantas de desgaste*	Industria de un solo curso, cubierta integral.	Curado Cauteloso	Metal especial o agregado mineral, flotar y llana.	
Curso doble	6	Personas a pie y vehiculos pesados con llantas de abrasión severa.	Industria pesada vinculada a dos cursos.	Base: Superficie texturizada y unida.	Superficie nivelada por enrollamiento.
				Cubierta: Agregado especial y/o mineral o tratamiento metálico a la superficie.	Flotado de poder especial con repetidas llanas metálicas.
7	Clases 3,4,5,6	Cubiertas sin vinculación.	Refuerzo de malla; breaker unido en la superficie del concreto viejo; espesor mínimo 2½" (64mm)		

\*Bajo condiciones abrasivas severas en la superficie del piso: la exposición será mucho más severa y para pisos de la clase 4 y 5 se requerirá una superficie de gran calidad. Bajo estas condiciones para el piso de la clase 6 de curso doble se recomienda un tratamiento mineral o metálico de agregado monolítico.

Tabla 3.1. Clasificación de pisos y losas de construcción.

Los métodos usados para medir la resistencia a la abrasión usados y normados por la ASTM<sup>(14)</sup> son el C 418, C 779 y C 944 para abrasión mecánica, y el C 1138 para abrasión hidráulica, el cual utiliza la agitación de esferas de acero bajo el agua. La presente tesis no aborda los casos de abrasión hidráulica, y en cuanto a abrasión mecánica se especializará en el método ASTM C 944.



Hay que tener en mente de que todas estos ensayos no marcan límites de aceptación o rechazo de los resultados que generan, dichos resultados relativos a otro concreto ensayado y por lo tanto la aceptación o rechazo de un concreto por resistencia a la abrasión depende en gran medida en el análisis de dichos resultados por parte del usuario de los mismos basándose en su experiencia en este campo.

### 3.2 Métodos de prueba.

Existen tres métodos normados por la ASTM<sup>(14)</sup> para evaluar la resistencia a la abrasión del concreto, en los cuales se simula de alguna manera las acciones que provocan el desgaste de los concretos. Dichos métodos son:

- ♣ C418 Método de prueba para resistencia a la abrasión del concreto por chorro de arena.
- ♣ C779 Método de prueba para resistencia a la abrasión en superficies horizontales de concreto. En este método se contemplan tres alternativas, el uso de discos giratorios, rodetes desbastadores o balines de rodamiento.
- ♣ C944 Método de prueba para la resistencia a la abrasión del concreto por cortador giratorio.

#### 3.2.1 C418 Método de prueba para resistencia a la abrasión del concreto por chorro de arena.

Este método determina la resistencia a la abrasión del concreto exponiéndolo a la acción de desgaste de un chorro de arena de sílice lanzado a presión sobre la superficie del concreto. El procedimiento simula la acción de abrasivos a base de agua y la abrasión por tráfico en superficies de concreto. Desempeña una acción de tipo corte que tiende a desgastar con más severidad los componentes menos resistentes del concreto.

Figura No. 3.1  
 Máquina de abrasión del concreto  
 por el método del chorro de arena,  
 ASTM C418.



La evaluación de la pérdida por abrasión del concreto se lleva a cabo con la aplicación de arcilla para modelar en las concavidades provocadas por el desgaste, presionándolo dentro de las mismas con una fuerza moderada, enrasando al borde para eliminar la arcilla sobrante y determinando la masa de la arcilla antes y después de que las cavidades sean rellenas, en lugar de retirar la arcilla de las cavidades. La pérdida por abrasión se calcula como una pérdida en volumen.

### ***3.2.2 C779 Método de prueba para resistencia a la abrasión en superficies horizontales de concreto***

Este método cubre tres procedimientos para determinar la resistencia a la abrasión de superficies horizontales de concreto. Los procesos difieren en el tipo y grado de fuerza abrasiva que imparten y están enfocados en determinar variaciones en las propiedades de la superficie de concreto afectadas por variaciones en la mezcla, terminado y tratamientos superficiales. Hay que hacer notar que no están destinados a realizar una determinación cuantitativa de la durabilidad del concreto.

Cada uno de los procedimientos determina la pérdida por abrasión midiendo con micrómetros la profundidad de la superficie desgastada, además, se establecen tiempos de ensaye de 30 a 60 minutos.

#### ***3.2.2.1 Procedimiento A. Discos giratorios.***

En este procedimiento, se somete el concreto a la acción de tres discos abrasivos rotatorios, el concreto es sometido a la acción de los discos durante cinco minutos antes de empezar a tomar lectoras, con el fin de eliminar irregularidades en la superficie del mismo, el método se hace por triplicado para asegurar que la prueba sea representativa.

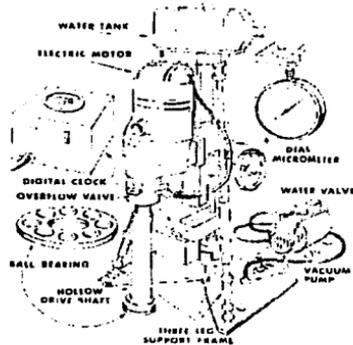




3.2.2.3. *Procedimiento C. Balines de rodamiento.*

En este procedimiento el proceso de desgaste es ejercido por la rotación rápida de los balines bajo una carga en una superficie húmeda de concreto. Se utiliza una corriente de agua constante para mantener libre de partículas la superficie de ensaye, provocando además, que, al hacer contacto los balines con las partículas desprendidas por el desgaste salten, adicionando la acción de impacto a la del desgaste.

Figura No. 3.4  
 Máquina de ensaye para resistencia a la abrasión por el procedimiento de balines de rodamiento.  
 ASTM C779-C.



3.2.3 *C944 Método de prueba para la resistencia a la abrasión del concreto por cortador giratorio.*

Este método determina no solamente la resistencia a la abrasión del concreto, sino también se puede aplicar para los morteros, es similar al procedimiento B del método ASTM C779, se utiliza un juego de rodets o cortadores abrasivos bajo una carga específica que simula una condición de tráfico severo en la superficie del concreto, determinándose la pérdida por abrasión como una pérdida en peso.

Figura No. 3.5  
 Detalle de ensaye para resistencia a la abrasión por el procedimiento de cortadores giratorios.  
 ASTM C944.





## CAPITULO 4. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

El presente documento se enfocara en el método C944, el cual se considero ser el adecuado para determinar la resistencia a la abrasión del concreto en la superficie y a diferentes niveles, aparte de ser el que determina con mayor precisión la pérdida.

### 4.1 Método a aplicar.

La metodología que se llevó en este caso fue la de elaborar los concretos, previamente evaluando las características de sus agregados, mantenerlos todos en un mismo revenimiento y realizar moldes de 15x30 y 10x20 para sus ensayos a resistencia a la abrasión y a la compresión respectivamente.

El procedimiento usado para el ensayo de resistencia a la abrasión es:

ASTM C 944 Standard Test Method Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating – Cutter Method.

En el cual, y para obtener valores estadísticos, se procedió a cortar el cilindro de 15x30 en cuatro rodajas, y se ensayo en la cara superior, la cara inferior, en el corte medio superior y en el corte medio inferior. El método elegido es el que simula mejor las acciones de desgaste que se producen por procedimientos mecánicos, aparte de ser el que mide con más exactitud la pérdida y es una prueba que arroja resultados en un tiempo relativamente corto, en la tabla 4.1 se explican las principales diferencias que existen entre los diversos métodos existentes normados por la ASTM y el tipo de lecturas que se emplean en cada método.



Método.	Mecanismo de Desgaste.	Tipo de Lectura.
C418 Método de prueba para resistencia a la abrasión del concreto por chorro de arena	Lanzamiento a presión de arena de sílice.	Modelación a base de arcilla de las concavidades provocadas por el desgaste debido al lanzamiento de la arena de sílice en la superficie del concreto y posteriormente la determinación de la masa de la arcilla modelada. La pérdida por abrasión se calcula como una pérdida en volumen.
C779 Método de prueba para resistencia a la abrasión en superficies horizontales de concreto.	Desgaste mecánico por balines, rodetes o discos giratorios. en el caso de usarse rodetes el ensayo será en condiciones húmedas.	Medición de la profundidad de desgaste producida por los mecanismos de desgaste por medio de micrómetros. La pérdida por abrasión se establece como una pérdida en longitud.
C944 Método de prueba para la resistencia a la abrasión del concreto por cortador giratorio.	Desgaste provocado por un juego de rodetes desbastadores bajo una fuerza controlada de presión sobre la superficie del concreto.	Medición de los pesos del espécimen ensayado antes y después de la prueba. La pérdida por abrasión se mide como una pérdida en peso.

Tabla No. 4.1 Comparativa de los diversos métodos normados por la ASTM.

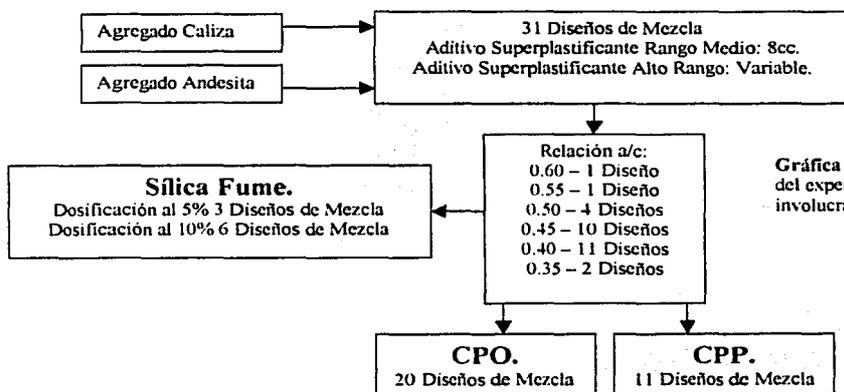
De la tabla anterior se observa que el tipo de lectura que nos ofrece la mejor precisión es el correspondiente al método C944, aparte de ser el que más control nos otorga durante la prueba, por lo cual fue el elegido a utilizarse en la presente investigación. Asimismo, el procedimiento usado para realizar los ensayos de los cilindros a compresión fue:

ASTM C 39 Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.



#### 4.1.1 Procedimiento.

Se elaboraron 31 mezclas de concreto por duplicado, una con agregado caliza, y la otra con andesita, asimismo, en las mezclas en que se utilizó CPP, se realizó su equivalente usando CPO, con lo que al final se obtuvieron un total de 62 mezclas, tal y como se explica en la gráfica 4.1. Asimismo se elaboró un espécimen de 15 x 30cm para su ensaye a la abrasión a los 28 días de cada una de las mezclas, así como cilindros de 10 x 20 para su ensaye a la compresión a los 3, 28 y 56 días.

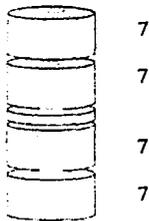


Gráfica 4.1 Esquema de diseño del experimento, variables involucradas.

Los especímenes se procedieron a curar en una cámara de curado controlado a  $23 \pm 2^\circ \text{C}$  durante 24 h, y se fue disponiendo de ellos según la edad en que se le iban a aplicar las pruebas establecidas, así, se obtuvieron registros de resistencias a la compresión a las edades antes mencionadas.



A los 28 días se dispuso de los cilindros de 15 x 30cm, a los que se procedió a cortar en cuatro rodajas de 7cm de alto por 15cm de diámetro para su ensaye de resistencia a la abrasión (como se ilustra en la figura no. 1), las rodajas una vez cortadas se metieron al horno a  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  durante  $24 \pm 2$  h para eliminar la humedad de la pieza, al cabo de este plazo se sacaron del horno y se procedió a ponerlos en el medio ambiente para que obtuvieran la temperatura ambiental, se pesaron los especímenes hasta que se obtuvo un peso constante, es en ese momento cuando se procedió a someter los especímenes a su ensaye a la abrasión mediante el método seleccionado <sup>(1)</sup> tal y como se explica a continuación:



15 Cotas: cm.

**Figura No. 4.1**

Diagrama esquemático de cortes del espécimen de 15 x 30 cm para elaborar rodajas a ensayar en la prueba de abrasión por el método ASTM C-944.

La rodaja sobrante de la parte media es desechada.

#### 4.1.1.1 Procedimiento de prueba de resistencia a la abrasión por el método del cortador giratorio. ASTM C944<sup>(1)</sup>.

##### Equipo de abrasión:

- Taladro de prensa con torno capaz de sostener y girar el cortador abrasivo a una velocidad de 200 r.p.m. y ejercer una fuerza de  $98 \pm 1\text{N}$  ( $22 \pm .21\text{lb}(20\text{kg})$ ) en la superficie del espécimen de prueba.
- Rodetes; que deberán ser de un diámetro inferior que el de las Rondanas antes y después de la prueba. El diámetro del área de abrasión es de 82.5mm.
- Un juego de Rondanas, que deberán cambiarse después de 90 minutos de uso.



**Figura No. 4.2**  
Máquina de abrasión del concreto por el método del cortador giratorio, ASTM C944.

**Notas:**

La capacidad de balance será de al menos 4 Kg con una aproximación de al menos .1gr. Se podrán ensayar especímenes de cualquier tamaño y tipo que puedan ser acomodados en la máquina de abrasión y que se puedan balancear.

**Procedimiento:**

- Determinar la masa del espécimen con una aproximación de 0.1gr.
- Asegurar el espécimen en la máquina de abrasión de tal manera que la superficie a ensayar quede normal al eje de la máquina.
- Montar el cortador abrasivo en la máquina.
- Encender el motor y bajar el cortador hasta que haga contacto con al superficie del espécimen.
- Iniciar la abrasión en el espécimen hasta completar 2 minutos, remover el mismo y limpiar la superficie con una brocha o aire. Determinar la masa y repetir el procedimiento hasta completar 3 ciclos de 2 minutos cada uno.

Es importante garantizar el grado de humedad del concreto, ya que como han indicado anteriores investigaciones la resistencia a la abrasión disminuye cuando la humedad de la pieza aumenta<sup>(2,3,4)</sup>.



## 4.2 Variables de diseño.

Para fines de la presente investigación se delimitaron las siguientes variables a considerar para validar el efecto que estas tienen sobre la resistencia a la abrasión del concreto.

- 1) Tipo de agregado grueso; caliza vs. andesita.
- 2) Tipo de cemento; CPO vs. CPP.
- 3) Influencia de la relación agua/cemento y la  $f'c$ .
- 4) Influencia de los aditivos reductores de agua de alto rango.
- 5) Influencia de los adicionantes minerales (Silica Fume).

## 4.3 Líneas de Investigación.

Las líneas de investigación discutidas fueron:

- a) Resistencia a la abrasión vs. relación agua/cemento o  $f'c$ .
- b) Resistencia a la abrasión vs. tipo de agregado.
- c) Resistencia a la abrasión vs. tipo de cemento.
- d) Desempeño de los aditivos reductores de agua de alto rango (superplastificantes).
- e) Resistencia a la abrasión vs. Silica Fume.





## CAPITULO 5. RESULTADOS.

Como se explico con anterioridad, se ensayaron los especimenes a compresi3n a 3, 28 y 56 dias, considerando que la resistencia a 28 dias es la de referencia se eligi3 esta para realizar el an3lisis de los resultados obtenidos, adem3s, a los 28 dias de edad se dispuso de los cilindros elaborados para evaluar la resistencia a la abrasi3n, realiz3ndose un ensaye por cuadruplicado, tal y como se explico en el capitulo anterior, a continuaci3n se presentan los resultados de los ensayes.

Se debe de hacer la aclaraci3n que los resultados presentados de p3rdida por abrasi3n es el promedio obtenido de los cuatro ensayes en diferentes estratos a los que fue sometida cada una de las mezclas.

Las mezclas fueron elaboradas bajo diferentes relaciones agua/cemento (a/c), cemento CPO y CPP, Silica Fume al 5 y al 10%, agregados de caliza y de andesita, tal y como se explica en la siguiente tabla.

Relaci3n a/c	Mezcla	Agregado	Cemento	Silica Fume
0.6	M1	Caliza.	CPO	---
	M32	Andesita.	CPO	---
0.55	M2	Caliza.	CPO	---
	M33	Andesita.	CPO	---
0.5	M3	Caliza.	CPO	---
	M4		CPO	---
	M5		CPP	---
	M6	CPO	---	
	M34	Andesita.	CPO	---
	M35		CPO	---
	M36		CPP	---
	M37		CPO	---
M7	CPP		---	
0.45	M8	Caliza.	CPO	---
	M9		CPO	---
	M10		CPO	---
	M11		CPP	---
	M12		CPO	---
	M13		CPO	---
	M14		CPO	Dosificaci3n Baja
	M15	CPP	---	
	M16	CPO	---	
	M38	Andesita.	CPP	---
	M39		CPO	---
	M40		CPO	---
	M41		CPO	---
	M42		CPP	---
	M43		CPO	---
	M44		CPO	---
	M45		CPO	Dosificaci3n Baja
M46	CPP		---	
M47	CPO		---	



Relación a/c	Mezcla	Agregado	Cemento	Silica Fume
0.4	M17	Caliza.	CPP	---
	M18		CPO	---
	M19		CPO	---
	M20		CPP	---
	M21		CPO	---
	M22		CPP	Dosificación Alta
	M23		CPO	Dosificación Alta
	M24		CPP	Dosificación Baja
	M25		CPO	Dosificación Baja
	M26		CPP	---
	M27		CPO	---
	M28		CPP	Dosificación Alta
	M29	CPO	Dosificación Alta	
	M48	Andesita.	CPP	---
	M49		CPO	---
	M50		CPO	---
	M51		CPP	---
	M52		CPO	---
	M53		CPP	Dosificación Alta
	M54		CPO	Dosificación Alta
	M55		CPP	Dosificación Baja
	M56		CPO	Dosificación Baja
	M57		CPP	---
	M58		CPO	---
M59	CPP		Dosificación Alta	
M60	CPO	Dosificación Alta		
0.35	M30	Caliza.	CPP	Dosificación Alta
	M31		CPO	Dosificación Alta
	M61	Andesita.	CPP	Dosificación Alta
	M62		CPO	Dosificación Alta

Tabla 5.1 Variables involucradas en las mezclas.

En la tabla anterior, se observa que las variables más influyentes en los diseños de mezcla son la relación agua/cemento y el tipo de agregado, inmediatamente después viene el tipo de cemento y por último la adición de Silica Fume. Se hace la observación de que las mezclas con andesita son equivalentes a las mezclas con caliza, de esta manera, por ejemplo, la mezcla 1 es idéntica a la mezcla 32, la única variante sería el tipo de agregado, y de ahí en forma sucesiva la mezcla 2 es equivalente a la mezcla 33, etc.

Además, como complemento de la investigación, se realizó la caracterización de los materiales más comunes empleados en las mismas (Agregados, Cementos y Agua) los cuales son los materiales más comunes en cualquier mezcla de concreto y que de manera ordinaria rigen el diseño de la mezcla.



**Agregado Andesita**

En la gráfica 5.1 se presenta la curva granulométrica de la arena y en la tabla 5.2 se presenta la caracterización litológica del agregado, se observa que este cumple con los requerimientos de la curva granulométrica<sup>(1)</sup> y se considera de buena calidad física y química. De igual manera en la gráfica 5.2 se presenta la curva granulométrica de la grava, la cual se encuentra dentro de los límites establecidos y en la tabla 5.3 se observa la descripción petrográfica del agregado grueso, de esta caracterización básica se considera que el agregado es apto para utilizarse como agregado para concreto

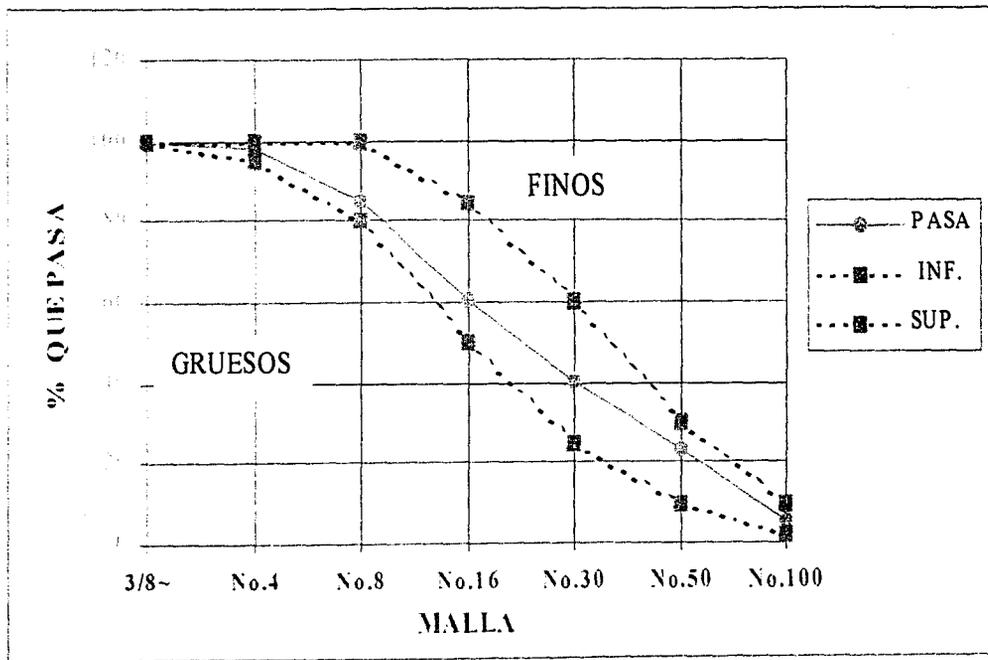
Tipo litológico	%	Calidad Física	Calidad Química
Andesita	62	Bueno	Inocuo
Plagioclasa	34	Bueno	Inocuo
Minerales máficos	4	Bueno	Inocuo

Tabla 5.2 Caracterización petrográfica de la Arena Andesita.

Característica	
Litología	Andesita 100%
Color	Gris
Dureza	4
Forma	Equidimensional, Prismática y Tabular
Redondez	Subredondeada
Textura Superficial	Áspera
Sanidad	Regular
Adherencias	No
Calidad Física	Buena
Calidad Química	Inocuo
Modo de Fragmentación	Triturado

Tabla 5.3 Caracterización petrográfica de la Grava Andesita.

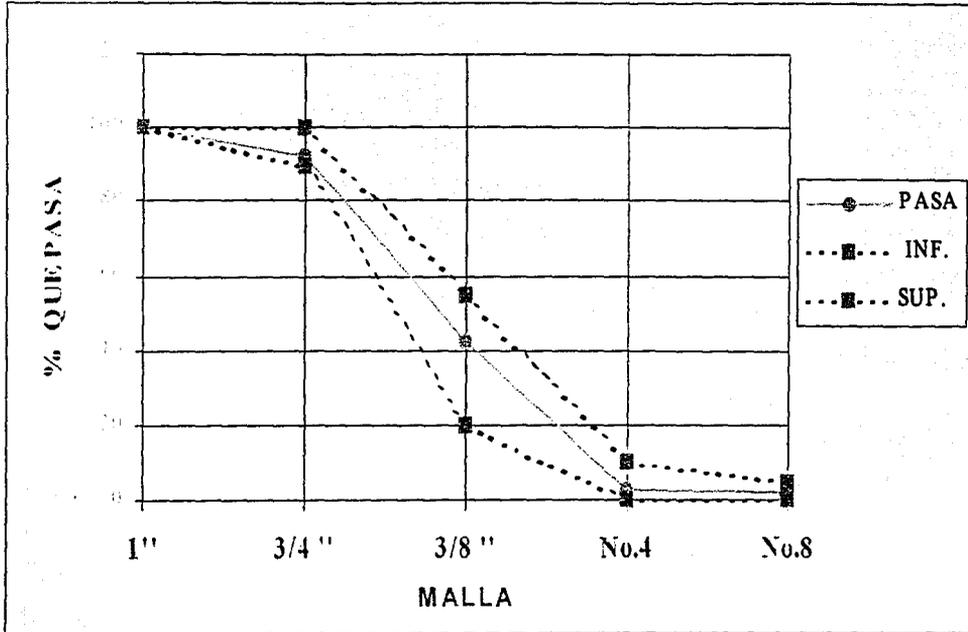




Gráfica 5.1 Curva Granulométrica de la Arena Andesita.



### La Resistencia a la Abrasión como Índice de Durabilidad del Concreto y Factores que la Influyen.



Gráfica 5.2 Curva Granulométrica de la Grava Andesita.

Facultad de Ingeniería.  
Universidad Nacional Autónoma de México.



### Agregado Caliza.

En la Gráfica 5.3 se presenta la curva granulométrica de la grava caliza utilizada para esta investigación y en la tabla 5.4 se presenta la caracterización petrográfica del mismo, cumpliendo con los requisitos de curva granulométrica y considerándose un agregado de buena calidad física y química, apto para utilizarse como agregado para elaborar concreto.

Característica	
Litología	Caliza 100%
Color	Rojizo
Dureza	4 - 5
-Forma	Equidimensional, Prismática y Tabular
Redondez	Subangulosa
Textura Superficial	Lisa
Sanidad	Buena
Adherencias	No
Calidad Física	Buena
Calidad Química	Inocuo
Modo de Fragmentación	Triturado

Tabla 5.4 Caracterización petrográfica de la Grava Caliza.

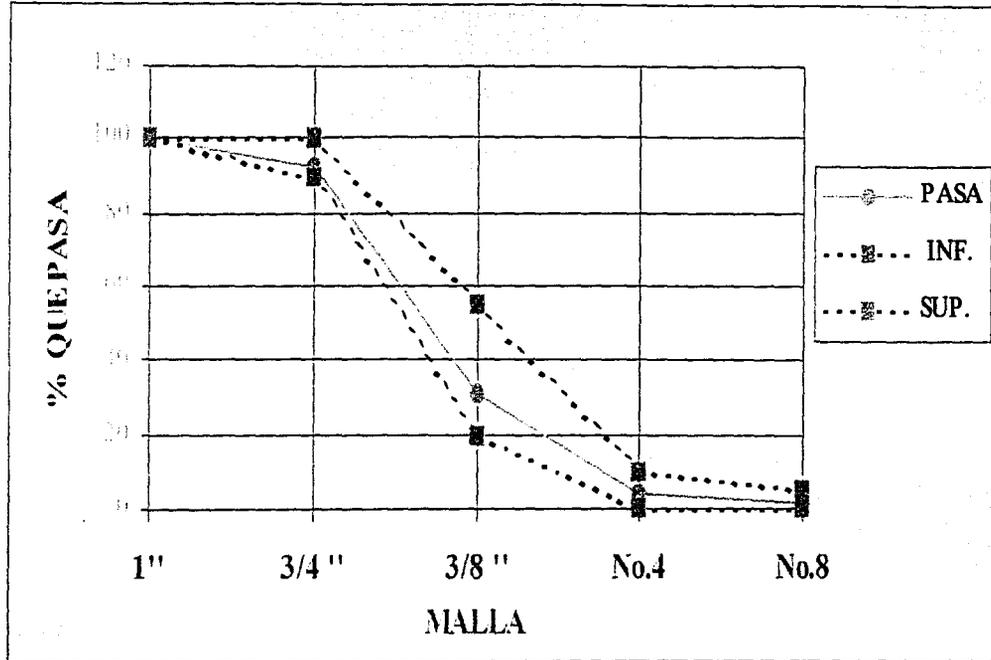
### Cementos.

Con la finalidad de conocer la composición de los cementos utilizados en la presente investigación en la tabla 5.5 se presenta el análisis químico de los mismos.

Componente		Contenido [%]	
		CPO	CPP
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de Silicio	20.6	26.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxido de Aluminio	5.0	6.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxido de Hierro	3.3	2.9
CaO	Oxido de Calcio	64.3	56.6
MgO	Oxido de Magnesio	1.2	1.1
SO <sub>3</sub>	Anhidrido sulfúrico	2.93	2.87
Na <sub>2</sub> O	Oxido de Sodio	0.37	0.85
K <sub>2</sub> O	Oxido de Potasio	0.60	1.11
TiO <sub>2</sub>	Oxido de Titanio	0.22	0.22
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentóxido de Fósforo	0.09	0.06
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxido de Manganeso	0.04	0.03
CaF <sub>2</sub>	Fluoruro de Calcio		
Cl	Cloro		
NH <sub>3</sub>	Amonio		

Tabla 5.5 Analisis Químico de los Cementos.





Gráfica 5.3 Curva Granulométrica de la Grava Caliza.





### Agua.

Se realizó un análisis químico del agua, cuyos resultados se muestran en la tabla 5.6, concluyéndose que el agua cumple con los requisitos para utilizarse en la elaboración de concretos.

Análisis Químico	Contenido [ppm]	Límites [ppm]	
		1	2
Cloruros	80	400*	600*
Sulfatos	66	3000	3500
Magnesio como Mg <sup>++</sup>	16	100	150
Carbonatos CO <sub>3</sub>	0	600	600
Alcalis Totales (Na <sub>2</sub> O)	62	300	450
DQO <sup>3</sup>	5	150	150
STD <sup>4</sup>	580	3500	4000
pH	7.0	>6	>6.5

#### Notas:

1. Cementos Ricos en Calcio.
  2. Cementos Sulfato Resistentes.
  3. Demanda Química de Oxígeno (Materia Orgánica).
  4. Sólidos Totales Disueltos.
- \*. Para Concreto con Acero de Preefuerzo y Piezas de Puentes.

Tabla 5.6 Análisis Químico del Agua.



### 5.1 Resistencia a la abrasión.

En las gráficas 5.4 y 5.5 se muestran las pérdidas por abrasión de las mezclas separando aquellas que se realizaron con agregado caliza de las realizadas con agregado andesita, se observa claramente la influencia de la relación agua/cemento, en donde se observa la tendencia de que a mayor relación a/c mayor es la pérdida por abrasión, se debe de hacer notar que las mezclas con agregado andesita a relaciones más altas de a/c presentan mayor pérdida que sus contrapartes de agregado caliza, pero a medida que la relación a/c decrece, la influencia del agregado se minimiza y presentan pérdidas menores que las de agregado caliza, más adelante se verá que esto es debido a que las mezclas con agregado andesita requirieron de una mayor cantidad de aditivos superplastificantes de alto rango (gráfica 5.10).

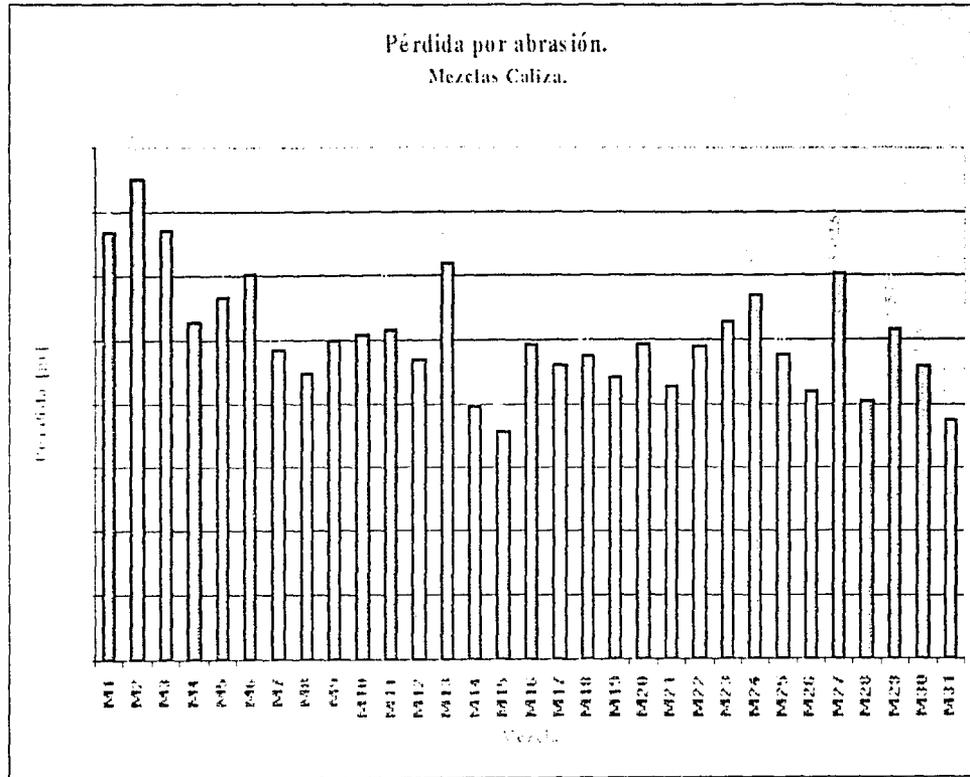
En la gráfica 5.6 se han agrupado las pérdidas por abrasión en las diversas familias de relación a/c, en esta gráfica se observa claramente la relación directamente proporcional que guarda la RA con la relación a/c, a medida que la segunda disminuye, la influencia del agregado se minimiza y es la pasta más densa la que trabaja para resistir el desgaste.

### 5.2 Resistencia a la abrasión vs. Resistencia a Compresión.

Se ha hablado mucho de la relación directamente proporcional que existe entre la resistencia a compresión del concreto con la resistencia a la abrasión del mismo, en las gráficas 5.7 y 5.8 se observa el comportamiento de la pérdida por abrasión relacionada con la resistencia a compresión.

De las graficas anteriores se puede observar que sin importar que tipo de agregado se esté utilizando, al momento que la resistencia a compresión aumenta, la pérdida por abrasión disminuye o dicho en otras palabras, la RA aumenta a medida que aumenta la f'c. De esta manera, si se procede a agrupar por familias los resultados de la f'c y la pérdida por abrasión se observará de manera muy clara la tendencia anteriormente mencionada, tal y como se muestra en la gráfica 5.9

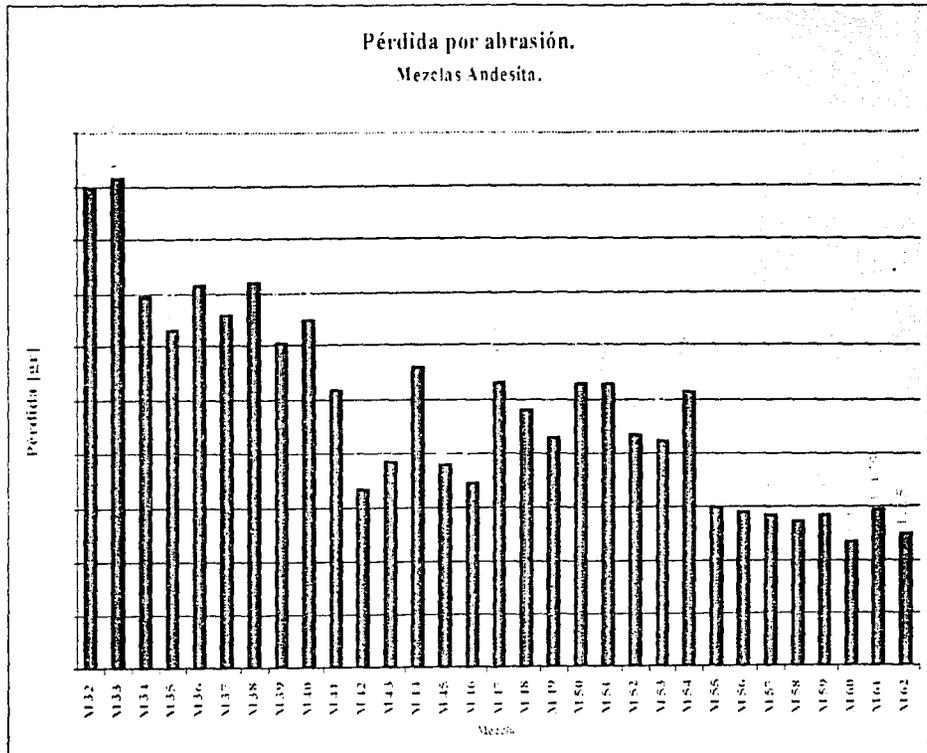




Gráfica 5.4 Pérdida por abrasión de las mezclas agregado Caliza.

Facultad de Ingeniería.  
Universidad Nacional Autónoma de México.



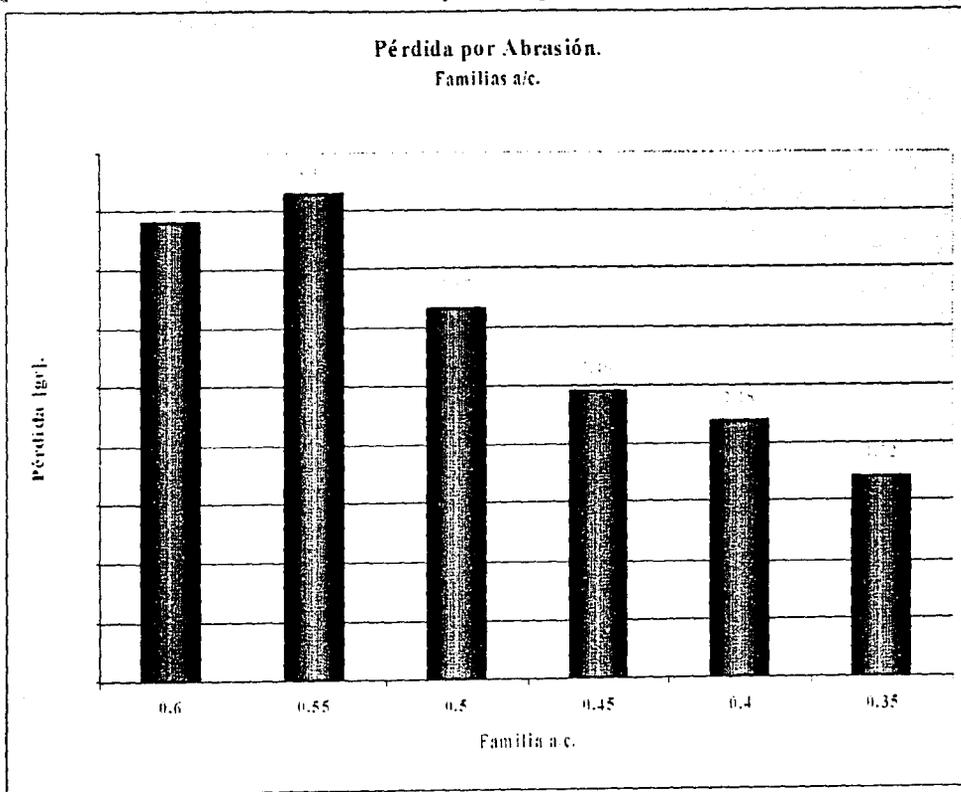


Gráfica 5.5 Pérdida por abrasión de las mezclas agregado Andesita.

Facultad de Ingeniería.  
Universidad Nacional Autónoma de México.



# La Resistencia a la Abrasión como Índice de Durabilidad del Concreto y Factores que la Influyen.



Gráfica 5.6 Pérdida por abrasión por familias de relación a/c.

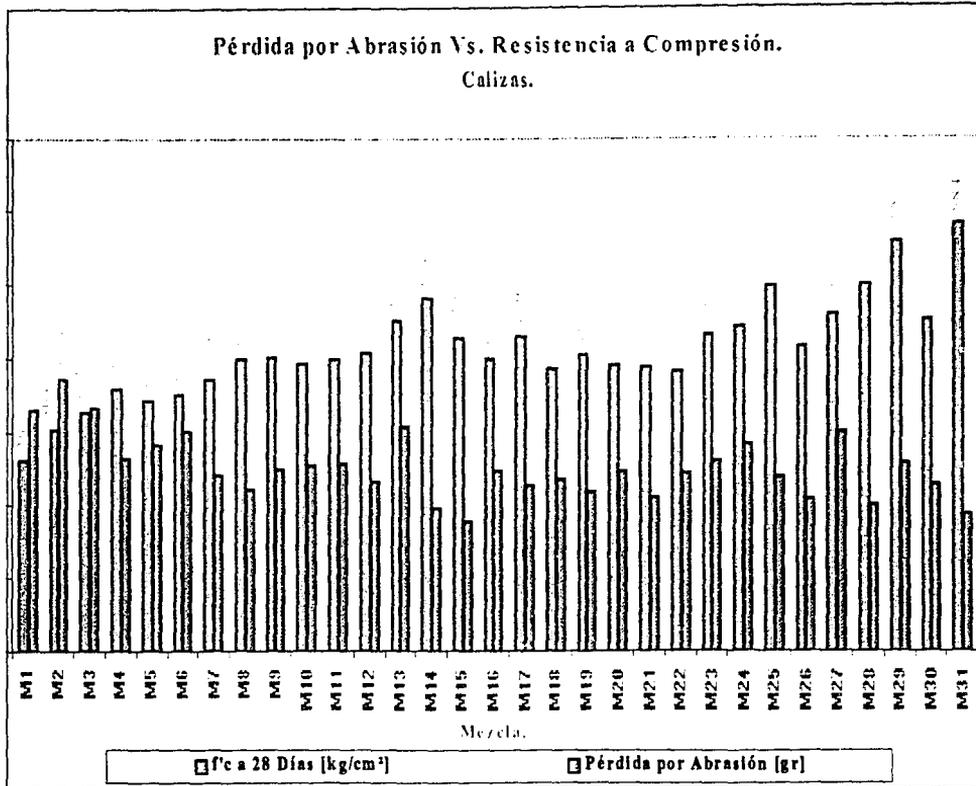
Facultad de Ingeniería.  
Universidad Nacional Autónoma de México.





Tesis Profesional.

## La Resistencia a la Abrasión como Índice de Durabilidad del Concreto y Factores que la Influyen.

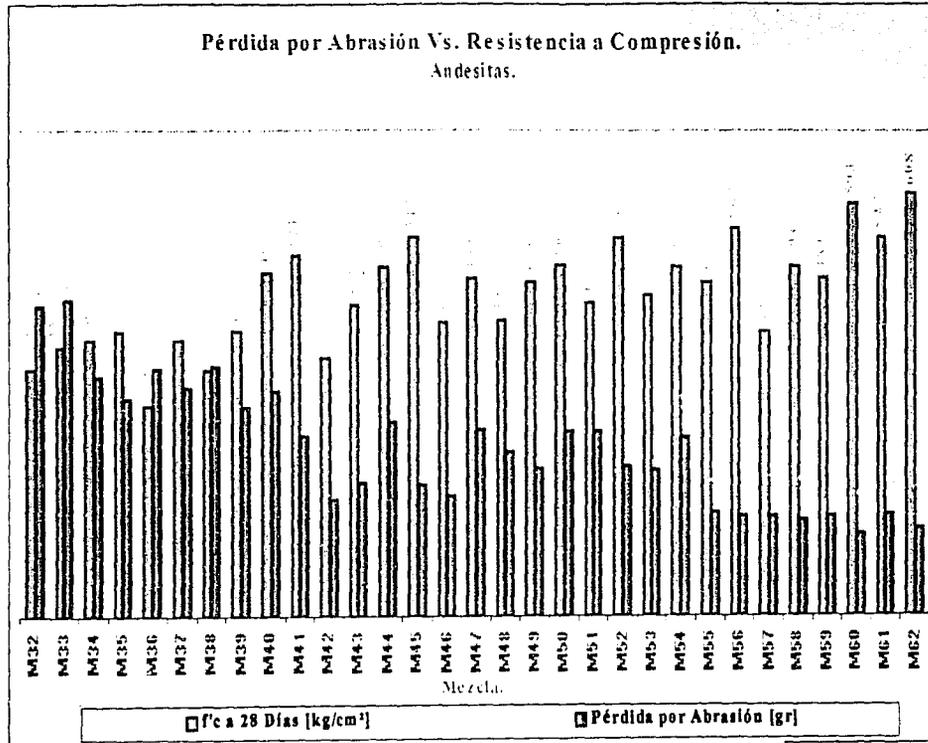


Gráfica 5.7 Perdida por Abrasión versus Resistencia a Compresión. Calizas.





# La Resistencia a la Abrasión como Índice de Durabilidad del Concreto y Factores que la Influyen.



Gráfica 5.8 Perdida por Abrasión versus Resistencia a Compresión. Andesitas.

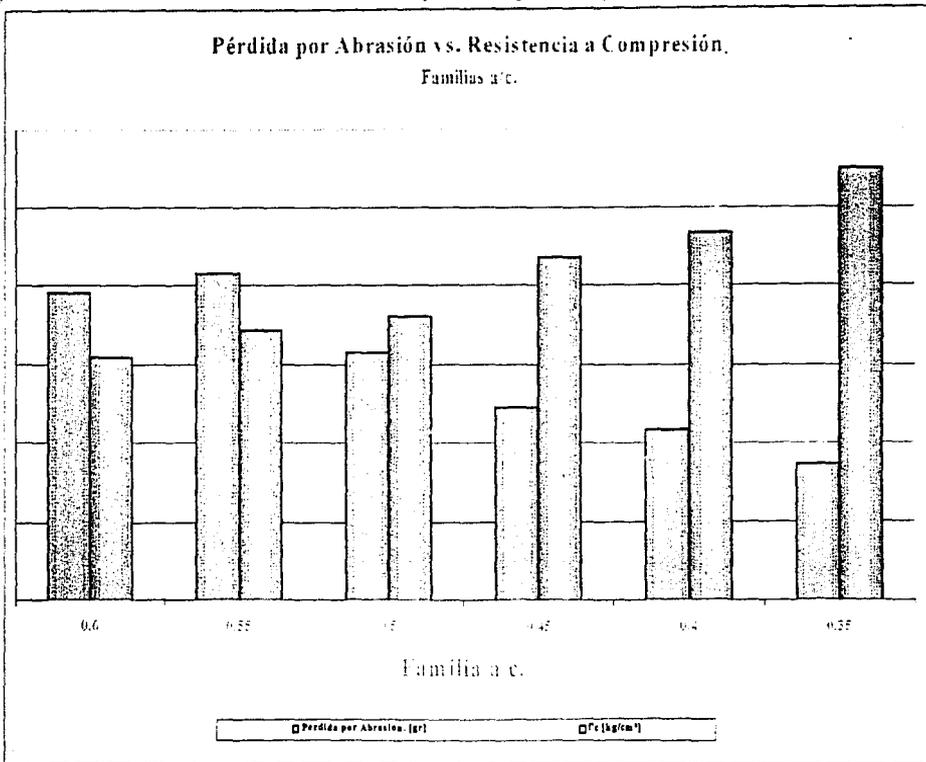




Tesis Profesional.

La Resistencia a la Abrasión como Índice de Durabilidad del Concreto  
y Factores que la Influyen.

Pérdida por Abrasión vs. Resistencia a Compresión.  
Familias a/c.



Gráfica 59 Pérdida por abrasión vs. Resistencia a Compresión por familias a/c.

Facultad de Ingeniería.  
Universidad Nacional Autónoma de México.





### 5.3 Efecto de variables de diseño.

Con el fin de analizar la influencia que ejercen sobre la RA del concreto se decidió estudiar las siguientes variables de diseño:

- ✓ Tipo de agregado.
- ✓ Tipo de cemento.
- ✓ Aditivos superplastificantes.
- ✓ Uso de Silica Fume (SF).

#### 5.3.1 Efecto del tipo de agregado.

El agregado es uno de los componentes principales del concreto, y a diferencia de cierta escuela de pensamiento este si es un componente activo y le otorga al concreto gran parte de sus propiedades, ya sea en estado fresco o endurecido, en el caso específico de la RA, el usar agregados más densos y resistentes al desgaste, le proporciona al concreto un mejor desempeño para resistir el desgaste al que se vea sujeto. Para la presente tesis se eligió el utilizar dos tipos diferentes de agregado muy comunes en la república, la caliza y la andesita, el primer agregado caracterizado por ser un agregado más denso y con un mejor desempeño para resistir el desgaste, tal y como se muestra en la tabla 5.10 en donde se evalúa el desempeño de los dos materiales en la prueba de abrasión de los ángeles<sup>1</sup>.

Agregado	Porcentaje de Pérdida en la Prueba.
Andesita del Banco San Vicente Chicoloapan.	41%
Caliza del Banco La Palma.	27%

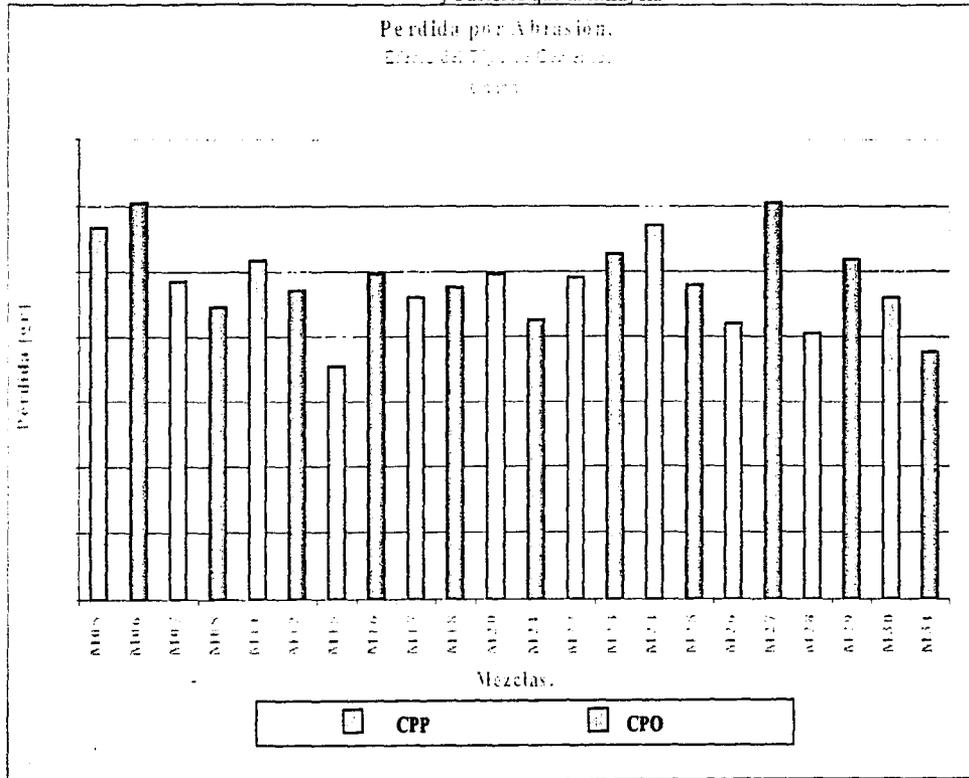
Tabla 5.7 Pérdida por Abrasión de los Ángeles de los agregados usados en la investigación.

#### 5.3.2 Efecto del tipo de cemento.

En la actualidad dos de los cementos más comunes en la industria de la construcción son el CPO y el CPP, los cuales se utilizan dependiendo de las necesidades de los proyectos, estos cementos tienen diferentes componentes y por lo tanto diferentes comportamientos, en el caso del CPP, al tener en su composición puzolanas, tiene más altas demandas de agua lo que de una manera lógica implicaría que las relaciones a/c de los concretos con CPP serían más altas que sus contrapartes con CPO, lo que en teoría conduciría a que al aumentar la relación a/c, la RA disminuiría, en las gráficas 5.10 y 5.11 se observa el comportamiento de los dos tipos de cementos al ser sometidos al desgaste.



La Resistencia a la Abrasión como Índice de Durabilidad del Concreto  
y Factores que la Influyen.

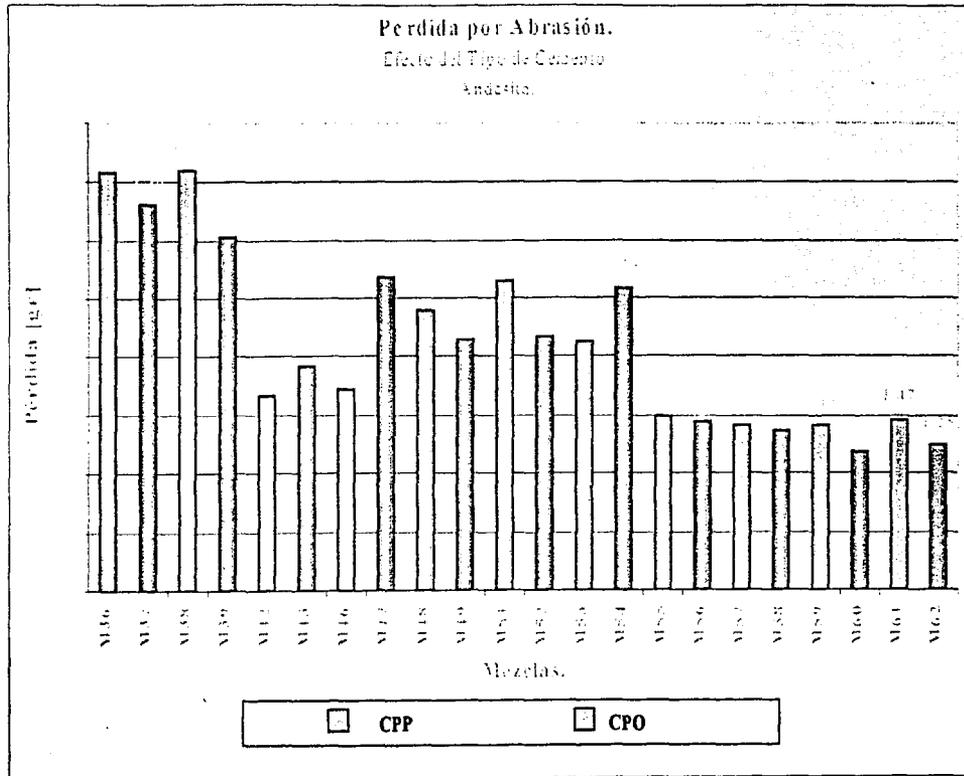


Gráfica 5.10 Pérdida por abrasión, efecto del tipo de cemento. Caliza.





# La Resistencia a la Abrasión como Índice de Durabilidad del Concreto y Factores que la Influyen.



Gráfica 5.11 Pérdida por abrasión, efecto del tipo de cemento Andesita.

Facultad de Ingeniería.  
Universidad Nacional Autónoma de México.



En las anteriores gráficas se puede observar que no existe una diferencia significativa en la pérdida por abrasión de los concretos elaborados con CPO y los elaborados con CPP, aunque aquellos elaborados con CPP demandaron más agua, se puede decir que esta demanda fue contrarrestada con el uso de aditivos superplastificantes, lo que contribuyó a que esta característica del CPP no influenciara en su desempeño, lo que se ve reflejado en el hecho de que no se observe ninguna tendencia por el uso de diferentes tipos de cemento en la RA.

### 5.3.3 Aditivos superplastificantes.

En los últimos años el empleo de los aditivos superplastificantes se ha incrementado considerablemente, debido a los considerables beneficios que acarrea su uso, se pueden elaborar concretos con cada vez más bajas relaciones  $a/c$ , obteniendo una excelente trabajabilidad y permitiendo la disminución de la relación  $a/c$ <sup>(2)</sup>.

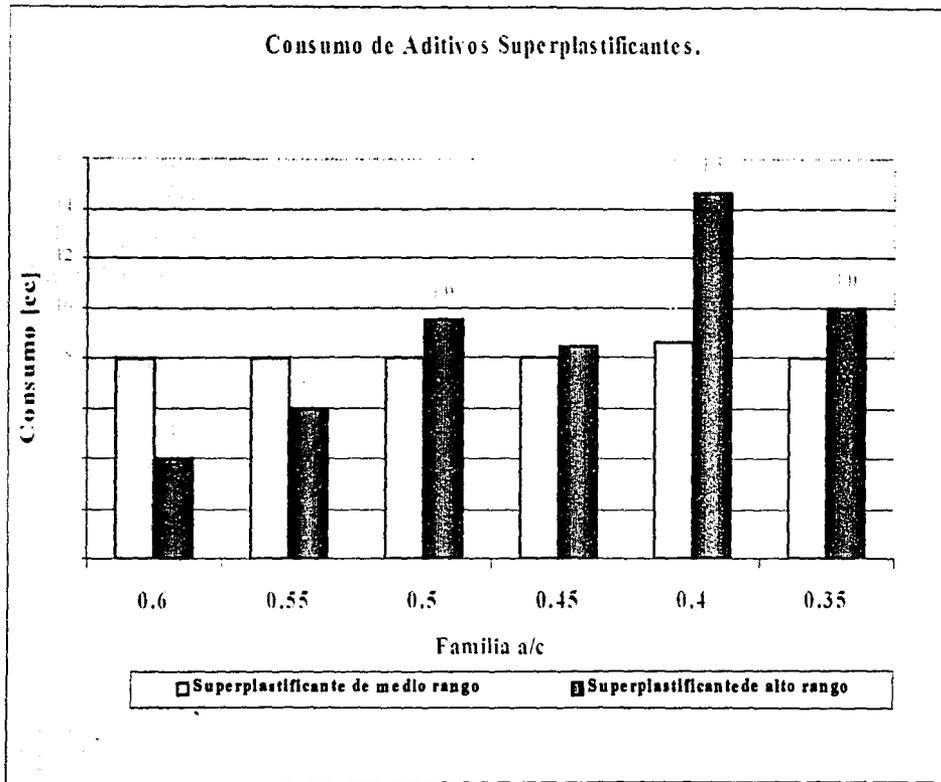
Durante la elaboración de los concretos de esta investigación se utilizaron dos aditivos superplastificantes, uno de medio rango y otro de alto rango, según las dosificaciones mostradas en la gráfica 5.12. El efecto que tiene este tipo de aditivos en la RA es discutido según los resultados que se obtuvieron en la investigación.

De la anterior gráfica se desprende el hecho de que el consumo de superplastificantes de medio rango se mantuvo constante, obteniéndose tan solo una ligera variación en la familia  $a/c = 0.4$ , por el contrario, se observa una gran variación en el consumo de superplastificante de alto rango, incrementándose a medida que la relación  $a/c$  disminuye, alcanzando su cenit en las mezclas con una relación de 0.4. Lo anterior induce a pensar en que las condiciones que se presentan en este grupo de concretos provocan una mayor demanda en el consumo de agua, lo cual es válido para ambos agregados, ya que como se observa en la gráfica 5.13 a pesar de que existe una clara tendencia de la andesita a consumir mayor cantidad de superplastificantes, en ambos casos, el mayor consumo se dio en el grupo de concretos antes mencionados.



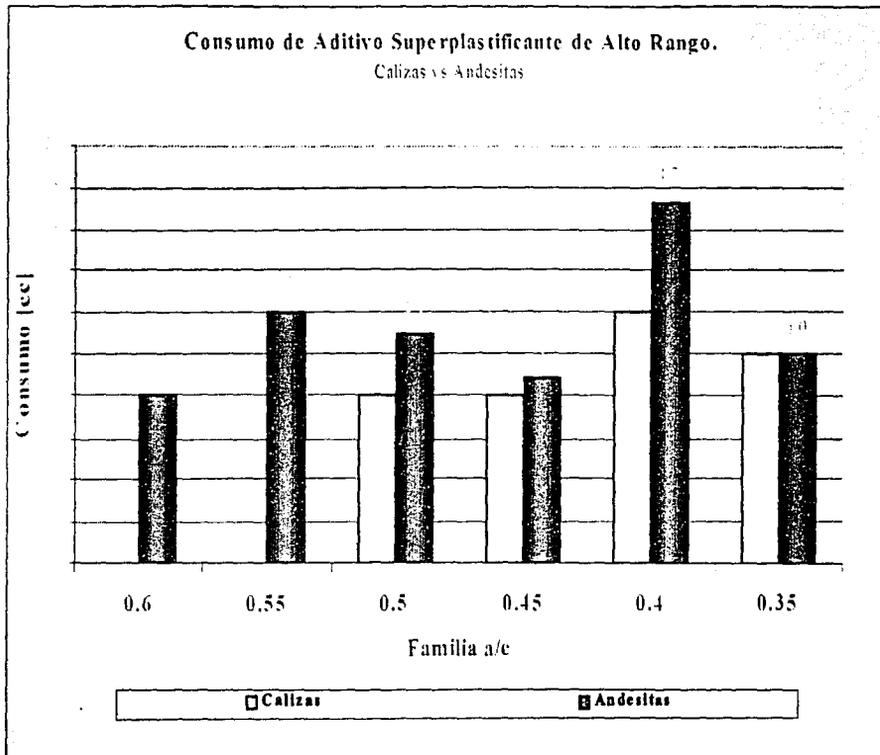


### La Resistencia a la Abrasión como Índice de Durabilidad del Concreto y Factores que la Influyen.



Gráfica 5.12 Consumo de Aditivos Superplastificantes.





Gráfica 5.13 Consumo de Aditivo Superplastificante de Alto Rango. Calizas vs Andesitas.

#### **5.3.4 Uso de Silica Fume.**

La Silica Fume (SF) es uno de los adicionantes minerales que se utilizan de manera rutinaria en la industria de la construcción, la principal justificación de utilizarla es la de alcanzar grandes resistencias a compresión, generar un concreto con mayor densificación reduciendo la permeabilidad y mejorar la resistencia al ataque de los sulfatos<sup>2</sup>. Pero en realidad se ha tenido muy poco interés en analizar el efecto que este producto tiene sobre la resistencia a la abrasión, asumiéndose que si se aumenta la resistencia a compresión, la pérdida por abrasión tenderá a disminuir, aunque es un fenómeno bien conocido que el empleo de la SF aumenta los requerimientos de agua de la mezcla, y por lo tanto sería lógico el pensar que si se aumenta la cantidad de agua en la mezcla, la RA tendría que disminuir.

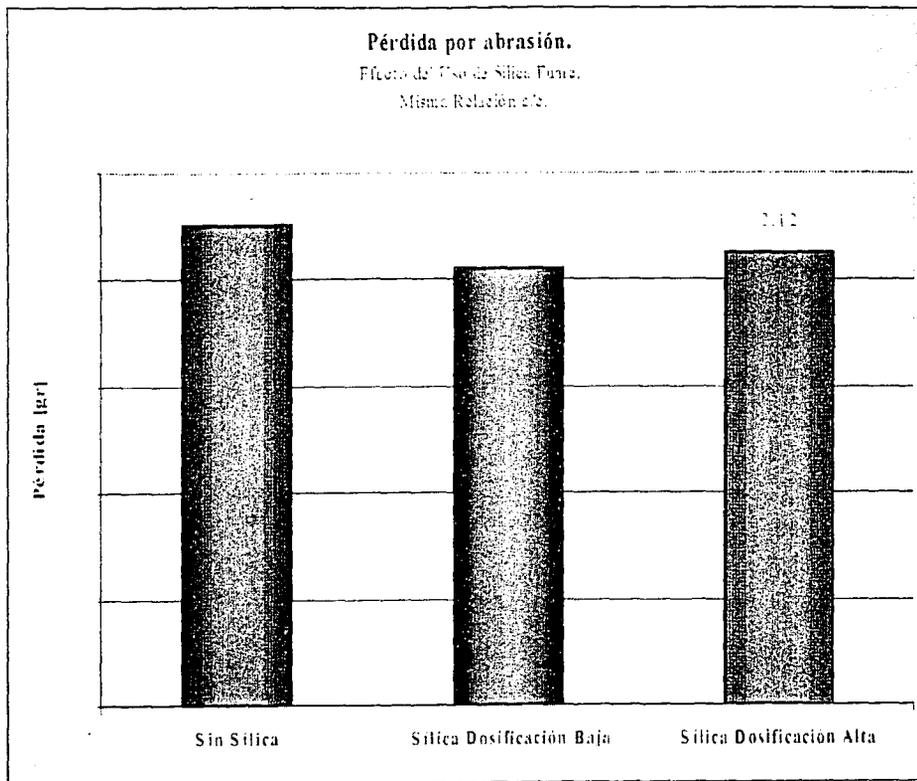
En la presente investigación se emplearon dos diferentes dosificaciones de Silica Fume (dosificación baja y alta) en diferentes concretos, con lo cual se evaluó el desempeño de los mismos bajo el desgaste provocado por acciones mecánicas, analizando la influencia que este adicionante tiene en el desarrollo de la RA.

En la gráfica 5.14 se presentan los resultados obtenidos con las diferentes dosificaciones de SF en los concretos, con lo que se observa que no existe ninguna tendencia definida en la influencia de este adicionante en la RA.





# La Resistencia a la Abrasión como Índice de Durabilidad del Concreto y Factores que la Influyen.



Gráfica 5.14 Efecto de la Silica Fume en la RA.

Facultad de Ingeniería.  
Universidad Nacional Autónoma de México.





## **CAPITULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

De acuerdo a los resultados presentados, resulta claro que la RA del concreto no es una propiedad que se pueda controlar por medio de una sola variable, sino que esta es una propiedad en la cual influyen diversas variables, por lo que, para poder entender claramente este fenómeno, se debe de analizar la influencia de cada una de las variables involucradas en el mismo.

### **6.1 La resistencia a la Abrasión como Índice de Durabilidad.**

A lo largo de la presente tesis, se ha hablado mucho de la importancia que tiene la RA dentro de la durabilidad de los concretos, de cómo se ve influenciada por diversas variables y el hecho de que ha sido relegada a un segundo plano de importancia. Es menester de esta tesis el realzar la importancia que tiene la RA del concreto así como también el utilizarla como un índice del grado de durabilidad de un concreto, ya que esta es una propiedad que es fácilmente identificable y proporciona un muy buen grado de análisis de la durabilidad que presenta un concreto.

El proceso de desgaste de un concreto se puede resumir de la siguiente manera. Primero, al someterse una estructura a la abrasión la superficie de ésta es la que empieza a resistir el desgaste, después y a medida que la acción abrasiva avanza, rompe la tensión superficial del concreto y empieza a actuar sobre la pasta del mismo, después y mediante la acción abrasiva constante la pasta del concreto se pierde dejando a los agregados expuestos, con lo cual los agregados son los que empiezan a resistir la abrasión, al final los agregados se debilitan y se rompe la cohesión de estos con la pasta, lo que provoca que los mismos salgan despedidos de la pasta, dejando una capa de pasta débil expuesta la cual no es capaz de resistir los efectos del desgaste, en este punto el concreto ha llegado al final de su vida útil y es necesario el reemplazo total del elemento. Cabe mencionar, que una vez que ha roto la tensión superficial del concreto, el proceso para que se llegue al agregado es muy rápido, el tiempo en que el agregado puede resistir el desgaste se encuentra en función de la RA del mismo agregado, con lo que un agregado "suave" (p.e. la andesita) resistirá un periodo relativamente corto comparado con un agregado "duro" (p.e. el basalto).

### **6.2 Efectos por variable.**

Basándose en los resultados expuestos en el capítulo anterior a continuación se procederá a realizar un análisis de los mismos con el fin de determinar los efectos de cada una de las diferentes variables de diseño utilizadas en el experimento.



### 6.2.1 Efecto del tipo de agregado.

El agregado siempre ha sido una de las principales variables a considerar cuando se piensa en la RA, dado el esquema que se presento en párrafos anteriores, en teoría, a mayor resistencia a la abrasión de un agregado, mayor vida útil del concreto, en esta investigación se utilizaron dos tipos diferentes de agregados, los cuales presentan diferentes índices de resistencia a la abrasión de los ángeles tal como se muestran en la tabla 5.2, según los datos mostrados, la andesita utilizada presenta el doble de pérdida que la caliza utilizada, con lo cual se espera que los concretos elaborados con agregado de andesita presenten una mayor pérdida por abrasión, comparados con los concretos elaborados con caliza. En la gráfica 6.1 se muestran los resultados de pérdida de los concretos elaborados con caliza y con andesita.

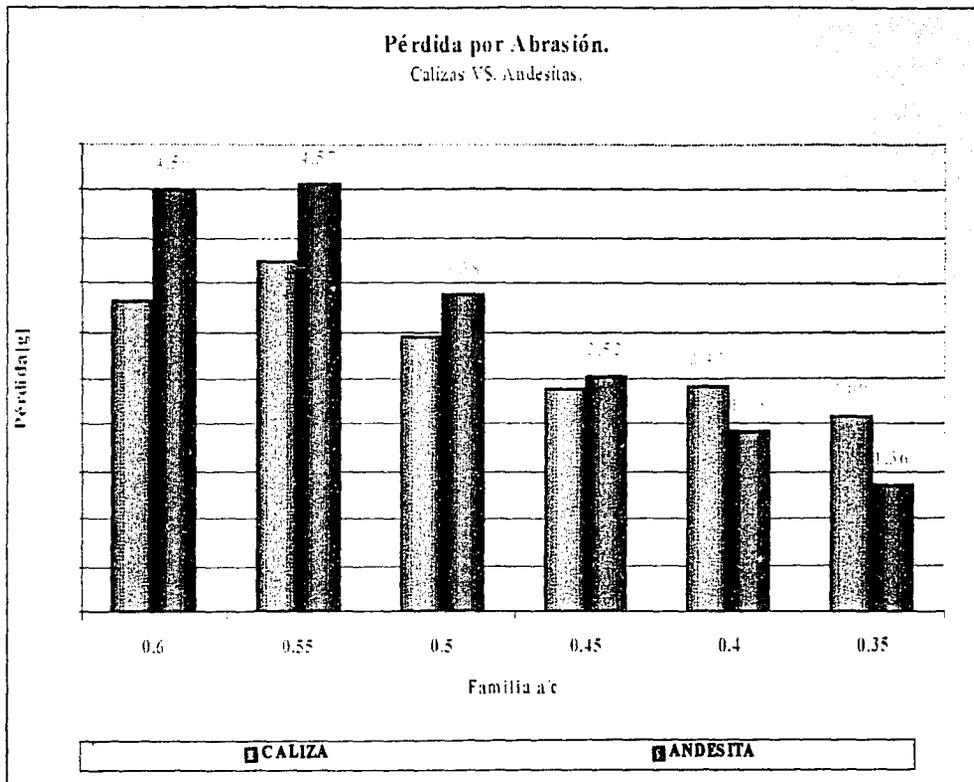
En la gráfica se observa que efectivamente, la pérdida presentada en los concretos elaborados con andesita es superior a los elaborados con caliza, pero a medida que la relación a/c disminuye, esta diferencia en la pérdida se ve reducida, hasta que en la relación  $a/c = 0.5$  esta pérdida deja de ser significativa, hasta que el agregado pierde influencia en las relaciones agua / cemento más bajas.

A medida que la relación a/c disminuye, la pasta del concreto se densifica cada vez más, con lo que al aumentar la densificación produce una mayor tensión superficial con lo que de manera indirecta aumenta la resistencia a la abrasión del concreto, por lo cual, y atendiendo a lo descrito en párrafos anteriores, dado que la tensión superficial es mayor, se requiere de un mayor tiempo o mayor carga de exposición para romper esta tensión y dejar expuesto al agregado.

### 6.2.2 Efecto del tipo de cemento.

Según lo expuesto en el punto 5.3.2, para la presente investigación se utilizaron dos tipos de cemento comunes en la industria de la construcción: el CPO y el CPP. Cabe resaltar que el CPP al tener puzolanas incluidas en su composición tiene una demanda de agua más alta que el CPO, por lo que se esperaría que los concretos elaborados con CPP presentaran una mayor pérdida por abrasión. En la gráfica 6.2 se muestra el comportamiento de los concretos elaborados con ambos tipos de cementos.



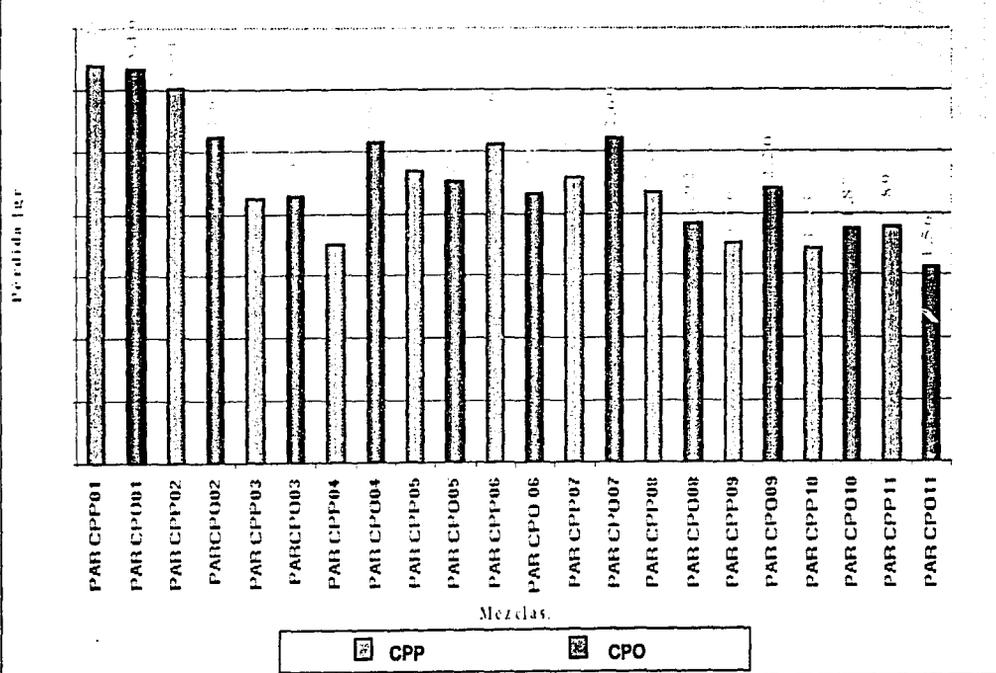


Gráfica 6.1 Pérdida por abrasión por familias de relación a/c Calizas VS. Andesitas.



La Resistencia a la Abrasión como Índice de Durabilidad del Concreto  
y Factores que la Influyen.

Perdida por Abrasión.  
Efecto del Tipo de Cemento.



Gráfica 6.2 Pérdida por abrasión efecto del Tipo de Cemento.



Se observa claramente en la anterior grafica que no existe ninguna tendencia concerniente al tipo de cemento, por lo tanto se puede aseverar que el cemento no es una variable critica de la RA del concreto, a pesar de que se esperaban mayores pérdidas utilizando CPP, a pesar del incremento en la demanda de agua por parte de los concretos con CPP, esta demanda se vio contrarrestada por el consumo de los aditivos superplastificantes de alto rango que se utilizaron en el proyecto.

### 6.2.3 Aditivos superplastificantes.

Muy ligado al anterior punto, el consumo de los aditivos superplastificantes en los concretos permiten cada vez relaciones más bajas de a/c con una trabajabilidad comparable a las de las de los concretos con relaciones a/c altas (el consumo de estos aditivos se muestra en la gráfica 6.3), por lo cual se ha visto aumentada de manera directa la resistencia a compresión de los mismos, así, que gracias a que se obtienen concretos con relaciones a/c cada vez más bajas y con una mayor densificación de la pasta, lo que incrementa la tensión superficial de los concretos, incrementando la RA de los mismos.

Ahora bien, el consumo de aditivos superplastificantes de alto rango es mayor en las relaciones a/c más bajas, lo que indirectamente produce que el efecto del tipo de agregado se vea minimizado hasta que ser despreciable. Por otro lado, y tal como se comento en el punto anterior, la alta demanda de agua exigida por el CPP se vio contrarrestada por el empleo de los aditivos superplastificantes de alto rango, lo que conlleva a concluir que a pesar de que en general las puzolanas demanden más agua en la mezcla de concreto, esta demanda se puede ver substancialmente contrarrestada con el empleo de este tipo de aditivos, lo que coloca a estos como una de las variables más importantes que controlan a la RA del concreto.

### 6.2.3 Empleo de Silica Fume.

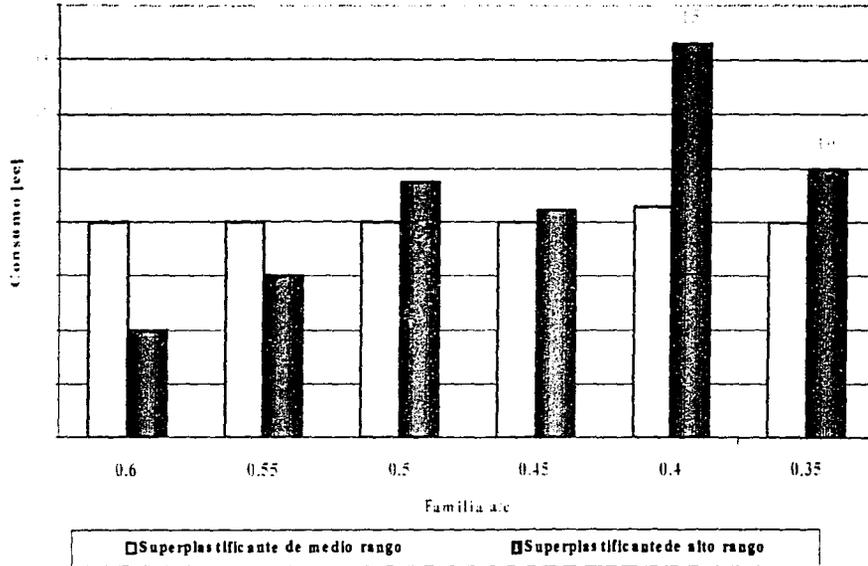
La Silica Fume (SF) es una de las puzolanas más populares en la industria de la construcción, y tal y como ya se ha comentado con anterioridad el empleo de estas incrementan la demanda de agua en la mezcla de concreto, aparte, se ha documentado que un concreto con SF tiene una menor resistencia a la abrasión que uno elaborado con cemento Portland al 100% <sup>(1,2)</sup>. En la gráfica 6.4 se muestran los resultados de pérdida en concretos de una misma relaciona a/c con y sin la inclusión de SF.

Interpretando los resultados mostrados se aprecia que no existe una diferencia significativa entre los concretos dosificados con SF y los que son de 100% cemento Portland, esto se contrapone a lo esperado, pero dado el alto consumo de superplastificantes empleados contribuyó de manera directa a que se eliminara la influencia de la SF en la RA del concreto, ya que de no haberse utilizado superplastificantes, la RA hubiese disminuido <sup>(1)</sup>. Por lo tanto, la SF es una variable que pierde importancia en la regulación de la RA del concreto, siempre y cuando se encuentre involucrado el uso de superplastificantes, de no ser así, esta variable incrementará su importancia al grado de que pueda llegar a ser determinante del comportamiento del concreto bajo acciones de desgaste.



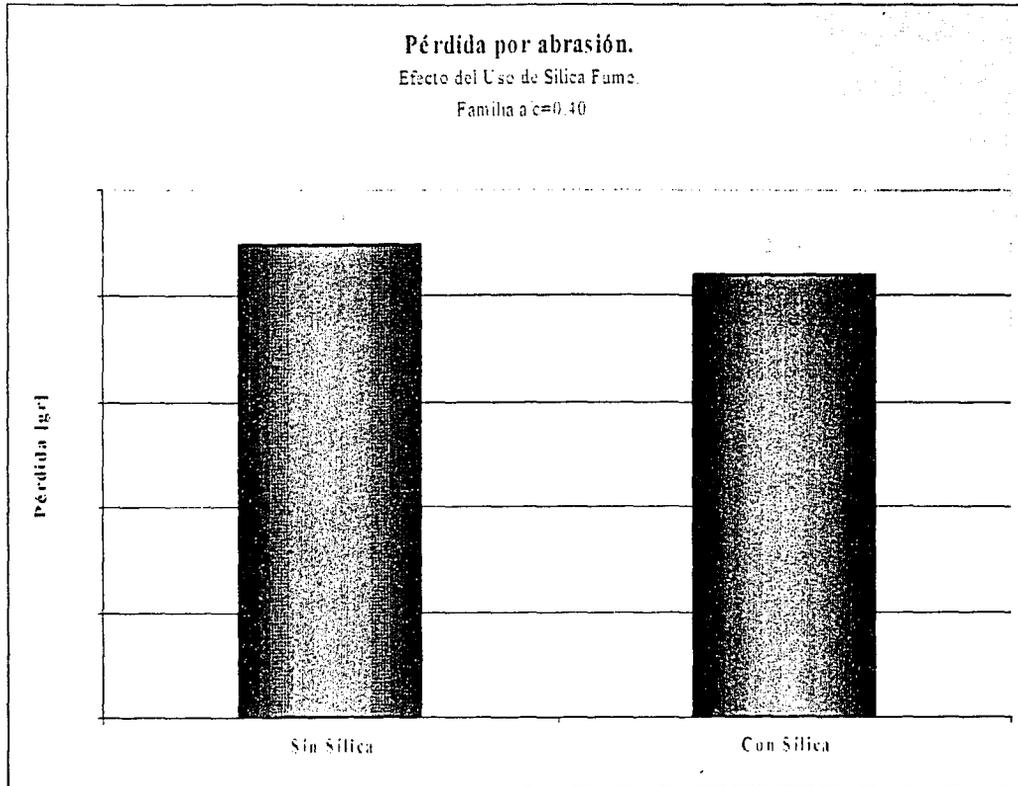


Consumo de aditivos Superplastificantes.



Gráfica 6.3 Consumo de Aditivos Superplastificantes por familias de relación a/c.





Gráfica 6.4 Pérdida por Abrasión, efecto del uso de SF en una misma familia de relación a/c.





## 6.2 Efectos en las propiedades del concreto.

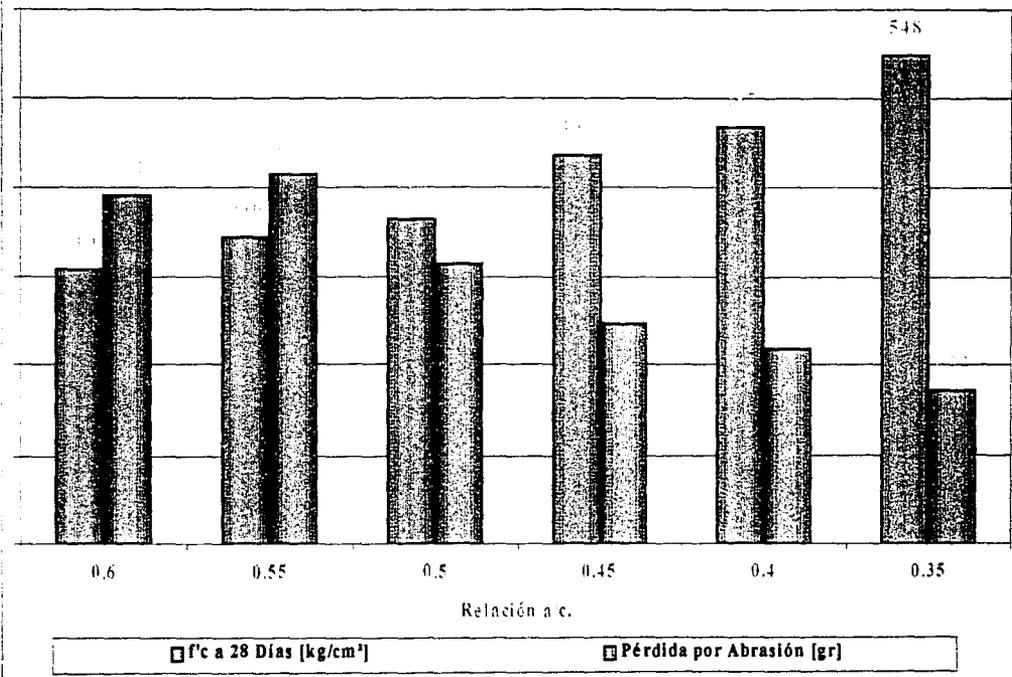
En los anteriores puntos se han analizado la influencia de las variables involucradas en el desarrollo de la RA del concreto, conviene reflexionar ahora sobre la relación que guarda esta propiedad con las otras propiedades del concreto, entre ellas la más importante que es la Resistencia a Compresión. Se ha mencionado con anterioridad que la resistencia a la abrasión varía inversamente con la relación  $a/c$ <sup>(1,3,5,6, 7)</sup> y que por lo tanto es directamente proporcional con la  $f'c$ <sup>(1,4,5,7,8)</sup>. Dicho en otras palabras la pérdida por abrasión es directamente proporcional con la relación  $a/c$  e inversamente proporcional con la  $f'c$ .

La presente tesis pudo corroborar estas aseveraciones, tal y como se muestran en la gráfica 6.5. Por otro lado, se ha mencionado que la tensión superficial del concreto es muy importante en la RA, dado que esta depende en gran medida del tipo de acabado que tenga el concreto, se deduce que la pérdida por abrasión del concreto será distinta en diferentes superficies del concreto, en la gráfica 6.6 se muestran los resultados de la pérdida en la capa superficial del concreto, en las capas intermedias y se comparan contra la pérdida promedio. De esta gráfica se desprende que la superficie tiene una gran influencia en la RA, ya que esta es menor en la cara superficial en donde el trabajo de enrasado siempre provoca un ligero sangrado, comparado con las capas intermedias en donde se puede considerar que el terminado es ideal ya que no existe ningún tipo de sangrado y la tensión superficial es mayor. Por ello se puede concluir que el tipo de acabado es un factor decisivo que influye en la RA de los concretos expuestos a acciones de desgaste.



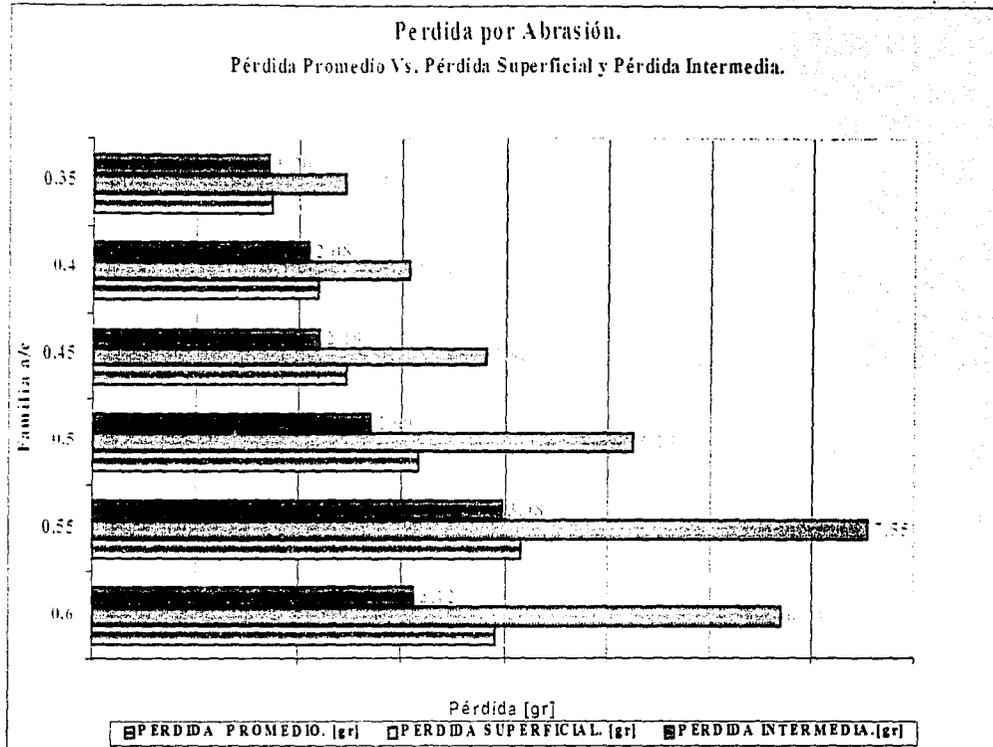


Pérdida por Abrasión Vs. Resistencia a Compresión.



Gráfica 6.5 Perdida por Abrasión versus Resistencia a Compresión en función de la relación a/c.





Gráfica 6.6 Perdida por Abrasión Efecto del Tipo de Superficie.





## CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El concreto es actualmente uno de los materiales de construcción más importantes que existen, es innegable la influencia del concreto en las obras civiles y de su buen funcionamiento y durabilidad dependen muchas de las necesidades de la era moderna (energía eléctrica, sistemas de comunicación, etc.), por lo que es muy necesario el conocer perfectamente sus propiedades intrínsecas y el tener herramientas suficientes para determinar el funcionamiento de los mismos.

En la presente tesis se propone utilizar la Resistencia a la Abrasión de concreto para evaluar la durabilidad del mismo, de esta manera se tiene un buen parámetro de determinación de la durabilidad de un concreto debido a los mecanismos de la RA, aparte se analizaron las diferentes variables que influyen en el desarrollo de la RA, por lo que se obtiene una muy buena idea de cómo funcionan los anteriormente mencionados mecanismos y por lo tanto se ofrece información para mejorar el desempeño de los concretos frente a las acciones de desgaste y así obtener concretos cada vez más durables, acordes con las exigencias de nuestra sociedad.

### 7.1 Conclusiones.

Acorde con los análisis presentados de la actual investigación, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- A partir de relaciones  $a/c$  menores a 0.5 se observa un beneficio en el desempeño de la resistencia a la abrasión.
- No se observa influencia del tipo de cemento en la resistencia a la abrasión del concreto.
- En relaciones  $a/c$  inferiores a 0.5, debido a la densificación de la pasta, el agregado pierde su influencia en la resistencia a la abrasión y la pasta es la que resiste el desgaste.
- El uso de Sílica Fume no influye en la resistencia a la Abrasión.
- El uso de aditivos superplastificantes al permitir una reducción significativa de los requerimientos de agua y darle al concreto una alta trabajabilidad, al aumentar la densificación de la pasta y reducir la influencia de los agregados y puzolanas, influyen directamente en el desarrollo de la RA.
- Se observa que el tipo de acabado influye en la resistencia a la abrasión.





- La pérdida por abrasión guarda una relación directamente proporcional con la relación a/c, e inversamente proporcional con la resistencia a la compresión.
  
- Las relaciones a/c inferiores a 0.5 y el uso de agregados de buena calidad son factores que mejoran la resistencia a la abrasión del concreto, mientras que el tipo de acabado es un factor que reduce la resistencia a la abrasión.

Con las anteriores conclusiones resulta claro que la RA del concreto no es una propiedad sencilla, sino que las variables que influyen en su desarrollo la convierten en una propiedad sumamente compleja, quedando claro que las variables que más influyen en el mismo son, en orden de importancia:

1. La relación a/c.
2. Los Aditivos Superplastificantes.
3. El tipo de agregado.
4. El Tipo de Acabado Superficial.

El análisis presentado en esta tesis pretende dar las herramientas necesarias para tomar decisiones con el fin de obtener concretos durables que cumplan con las necesidades de servicio que exige la sociedad moderna, aparte, se ha comprobado que la RA del concreto es un claro índice de la durabilidad del mismo, pudiendo ser utilizado para evaluar un concreto, tomar las decisiones necesarias para su mantenimiento o reposición total de ser necesario.



## CAPITULO 8. REFERENCIAS.

### Referencias.

#### C1

1. J. Komonen & V. Pentalla. "Concrete Under Severe Conditions 2. Environments & Loading Vol. One. Abrasion Resistance of Concrete Block Pavement and Asphalt Concrete." E & FN SPON. Great Britain 1998.
2. ACI Committee 116. Report 116R. "Cement and Concrete Terminology." ACI, USA 1998.
3. Massud Sadegzadeh and Roger J. Kettle. "Abrasion Resistance of Surface - Treated Concrete. ASTM Cement, Concrete and Aggregates; Volume 10, Number 1." ASTM. Philadelphia, Pennsylvania; USA 1988.
4. I.R. de Almeida V.M. "Durability of Concrete. Third International Conference. Abrasion Resistance of High Strength Concrete with Chemical & Mineral Admixtures." Malhorta Editor. ACI Editions. USA 1994
5. Varios. "Manual de Tecnología del Concreto." CFE - Instituto de Ingeniería UNAM. Ed. Limusa. México 1994.
6. Adam M. Neville. "Tecnología del Concreto." IMCYC. 1ª Edición, México 1999.

#### C2

1. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. NORMA MEXICANA NMX-C-403-ONNCCE-1999 "INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CONCRETO HIDRÁULICO PARA USO ESTRUCTURAL" México 1999.



**C3**

1. I.R. de Almeida V.M. "Durability of Concrete. Third International Conference. Abrasion Resistance of High Strength Concrete with Chemical & mineral Admixtures." Malhorta Editor. ACI Editions. USA 1994
2. Ivan Ramalho, Arlindo Freitas & Manuel Viera. "The role of admixtures in high performance concrete. Influence of Carboxylic Ether Superplasticizers on the Abrasion Resistance of High Strength Concrete." RILEM Publications S.A.R.L. Francia 1999.
3. J. Komonen & V. Pentalla. "Concrete Under Severe Conditions 2. Environments & Loading Vol. One. Abrasion Resistance of Concrete Block Pavement and Asphalt Concrete." E & FN SPON. Great Britain 1998.
4. American Concrete Institute. "ACI Manual of Concrete Practice. Part 1- 1993" ACI, Detroit, Michigan 1993.
5. Varios. "Manual de Tecnologia del Concreto." CFE - Instituto de Ingenieria UNAM. Ed. Limusa. México 1994.
6. Ephraim Senbetta and Charles F. Sholer. "A New. Approach for Testing Concrete Curing Efficiency." Journal of the American Concrete Institute; Volume 81. ACI Editions. Detroit, Michigan; USA 1984.
7. Antonio Nanni "Abrasion Resistance of Roller Compacted Concrete." ACI Materials Journal; Volume 86, No. 6. ACI Editions. Detroit, Michigan; USA 1989.
8. M. Sadegzadeh and R. J. Kettle. "Abrasion Resistance of Polymer Impregnated Concrete." Concrete - Journal of the Concrete Society; Volume 21, No. 5. Concrete Society. USA 1987.
9. R. Rivera -Villareal, R. González & R. Saenz-Michel. "The role of admixtures in high performance concrete. Abrasion Resistance of Concrete With Admixtures." RILEM Publications S.A.R.L. Francia 1999.
10. V. Ramakrishnan. "Advances in concrete Technology. Properties & Applications of Latex-Modified Concrete." V M Malhotra Editor / CANMET. Second Edition, Canada 1994.





11. Adam M. Neville. "Tecnología del Concreto." IMCYC. 1ª Edición, México 1999.
12. Massud Sadegzadeh and Roger J. Kettle. "Abrasion Resistance of Surface - Treated Concrete." ASTM Cement, Concrete and Aggregates; Volume 10, Number 1. ASTM. Philadelphia, Pennsylvania; USA 1988.
13. ACI Committee 201. Report 201-2R. "Guide to Durable Concrete." ACI, USA 1998.
14. Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.02 ASTM 1993.

#### C4

1. Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.02 ASTM 1993.
2. R. Rivera -Villareal, R. González & R. Saenz-Michel. "The role of admixtures in high performance concrete. Abrasion Resistance of Concrete With Admixtures." RILEM Publications S.A.R.L. Francia 1999.
3. Tien F. Fwa & Eng W. Long. "Laboratory Evaluation of Wet and Dry Abrasion Resistance of Cement Mortar." ASTM Cement, Concrete and Aggregates; Volume 12, Number 2. ASTM. Philadelphia, Pennsylvania; USA 1990.
4. Odd E. Gjorv, Torger Baerland & Heinrich R. Ronning. "Abrasion Resistance of High - Strength Concrete Pavements." Concrete International; Volume 12, No. 1. ACI Editions. Detroit, Michigan; USA 1990.

#### C5

1. Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.02. ASTM 1993.
2. Steven H. Kosmaka & William C. Panarese. "Diseño y control de Mezclas de Concreto." IMCYC, Primera Edición. México 1992.

#### C6

1. I.R. de Almeida V.M "Durability of Concrete. Third International Conference. Abrasion Resistance of High Strength Concrete with Chemical & mineral Admixtures." Malhorta Editor. ACI Editions. USA 1994



2. Michael G. Sullentrup, James W. Baldwin Jr. "Fly Ash, Silica Fume, Slag & Other Materials By-Products in Concrete Vol. 1. High Lime Fly Ash as a Cementing Agent." ACI Editions. USA 1983.
3. R. Rivera -Villareal, R. González & R. Saenz-Michel. "The role of admixtures in high performance concrete. Abrasion Resistance of Concrete With Admixtures." RILEM Publications S.A.R.L. Francia 1999.
4. Ivan Ramalho, Arlindo Freitas & Manuel Viera. "The role of admixtures in high performance concrete. Influence of Carboxylic Ether Superplasticiers on the Abrasion Resistance of High Strength Concrete." RILEM Publications S.A.R.L. Francia 1999.
5. T. C. Liu & J. E. McDonald. "Abrasion - Erosion Resistance of Fiber - Reinforced Concrete." ASTM Cement, Concrete and Aggregates; Volume 3, Number 2. ASTM. Philadelphia, Pennsylvania; USA 1983
6. Tien F. Fwa & Eng W. Long. "Laboratory Evaluation of Wet and Dry Abrasion Resistance of Cement Mortar." ASTM Cement, Concrete and Aggregates; Volume 12, Number 2. ASTM. Philadelphia, Pennsylvania; USA 1990.
7. Somnuk Tangtermsirikul, Yukio Aoyagi "High performance Concrete / Proceedings ACI International Conference, Singapore 1994. Mix Proportions & Properties of Roller - Compacted Concrete Pavement using Lignite Fly Ash." ACI Editions. USA 1994.
8. Odd E. Gjerv, Torger Baerland & Heinrich R. Ronning. "Abrasion Resistance of High - Strength Concrete Pavements."Concrete International; Volume 12, No. 1. ACI Editions. Detroit, Michigan; USA 1990.

