

Resumen:

Esta investigación consistió en evaluar la resistencia a la abrasión de concretos para pavimentos de carreteras fabricados con agregado calizo, cemento Portland y aditivo Super Reductor de Agua (SRA).

Los concretos fueron fabricados con relaciones agua-cementante de 0.35, 0.40 y 0.45 sin suplementos cementantes ni aditivo para los concretos de referencia y concretos con aditivo *SRA* para una misma consistencia. En el caso de utilizar aditivo para cada relación agua-cementante se redujo el consumo de agua y de cemento para mantener la misma consistencia. La fabricación se realizó en laboratorio a una temperatura de $23 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ y se curaron bajo condiciones estándar a 3 y 28 días. Los concretos fueron ensayados a la abrasión a los 3 y 28 días en el aparato de abrasión (taladro de presión) una serie en condición seca y otra serie en condición húmeda. La determinación del desgaste se hizo mediante la medición de la pérdida de peso sufrida por el espécimen debido a la acción de presión-rotación-fricción del equipo sobre la superficie del concreto.

Los resultados muestran que los concretos fabricados con aditivo *SRA* presentaron mayor resistencia a la abrasión que los concretos de referencia fabricados sin aditivo, ambos con la misma relación agua-cementante y la misma consistencia.

También se encontró que para un mismo concreto ensayado en condición seca presenta una mayor resistencia a la abrasión que ensayado bajo condición húmeda. Además se observó como era de esperarse que los concretos con menor relación agua-cementante mostraron mayor resistencia a la abrasión.

Objetivos:

- Determinar el grado de abrasabilidad y resistencia a la compresión de concretos para pavimentos de carreteras fabricados con Cemento Portland Tipo I, agregado calizo, aditivo SRA y sin aditivo SRA para los concretos de referencia.
- Comparar el grado de abrasabilidad de los concretos sin aditivo respecto a los concretos con aditivo para las diferentes relaciones agua-cementante.

Todos los concretos se fabricaron para relaciones agua-cementante de 0.35, 0.40 y 0.45 curándose a los 3 y 28 días bajo condiciones estándar. Así mismo se determino el grado de abrasabilidad bajo condiciones tanto secas como húmedas a 3 y 28 días de edad.

Introducción

La abrasión se define como el desprendimiento de partículas al raspar, deslizar o recorrer objetos sobre una superficie. Este fenómeno puede observarse en pavimentos, pisos, canales y otras superficies donde la fuerza de fricción aparece debido al desplazamiento o arrastre de objetos en la superficie.(1)

Para poder estudiar la problemática de la abrasión en el concreto es necesario tomar en cuenta una serie de condiciones bajo la cual estará sujeto, como lo son. el tipo de tráfico, frecuencia, carga de las llantas, tipo de rueda, velocidad de escurrimiento (en el caso de canales), etc.(2) Esto sin descartar otros aspectos como el acabado dado a la superficie, procedimiento de curado, propiedades de los materiales utilizados, *el uso de aditivos especiales para concretos entre otros*.(3)

En general, la abrasión sufrida en el concreto es en su mayoría consecuencia de la menor resistencia a esta acción de la pasta endurecida.(4) Para desarrollar concreto con mayor resistencia a la abrasión, es necesario mejorar sus propiedades, esto se podría lograr haciendo uso de aditivos, los cuales permiten lograr una mejor compactación, facilitar el acabado y usar relaciones agua-cementante bajas, con las cuales se ha encontrado que la acción de la abrasión es menor.(5)

Payne y Dransfield reportaron que la resistencia a la abrasión es inversamente proporcional a la relación agua-cemento, y es afectada por los procedimientos de curado. Consecuentemente, ellos concluyeron que *el uso de un aditivo* para reducir la relación agua-cemento incrementa la resistencia a la abrasión substancialmente, de este modo reduciendo la influencia de las condiciones de curado en esta propiedad (6)

Se sabe que la resistencia a la compresión es el factor mas determinante en la resistencia a la abrasión del concreto. Siendo la resistencia a la abrasión del concreto fuertemente influenciada por la resistencia abrasiva de sus componentes, como lo son el agregado grueso y el mortero. Generalmente los concretos fabricados con agregados muy resistentes muestran una resistencia a la abrasión mayor que concretos fabricados con agregados menos resistentes.(4) Así mismo, se debe considerar la adherencia de los agregados con la pasta de cementante, ya que se ha encontrado que concretos fabricados con agregados muy resistentes, pero con escasa adherencia, muestran menor resistencia a la abrasión que concretos fabricados con agregados menos resistentes pero con buena adherencia.(5)

Hay varios tipos de métodos estándar de pruebas de abrasión publicados por la American Society for Testing and Materials (ASTM). Se esta de acuerdo que los métodos de prueba son usados para la evaluación de la calidad relativa y no intentan medir la vida esperada de una superficie.(7)

Justificación de la investigación.

Anterior a la investigación que se describirá, tenemos la investigación realizada por el Ing. Richard González Ríos quien trató el tema de Resistencia del Concreto al Rodamiento Abrasivo Mediante el Uso de Aditivo, fabricando concretos fluidos, que son usados en pisos industriales principalmente.

Partiendo de esto último y de la poca información acerca de la resistencia a la abrasión en concreto mediante el uso de aditivos se inició la investigación sobre RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE CONCRETOS PARA PAVIMENTOS, fabricando concretos plásticos para pavimentos en carreteras.

En México, a diferencia de algunos otros países, el uso de pavimentos de concreto hidráulico inició hace pocos años, ya que durante décadas se han venido construyendo carreteras de pavimentos asfálticos, puesto que México es un país productor de petróleo.

Por esto la empresa privada y asociaciones dedicadas a la investigación, se han dado a la tarea de promover la tecnología para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, sin embargo poco se ha hablado acerca de las características que debe tener la superficie del pavimento para lograr mejores superficies de rodamiento y mayor seguridad.

La resistencia a la abrasión es una de las características principal a considerar en los pavimentos de concreto hidráulico, ya que sufren un desgaste por la fuerza de fricción debido al desplazamiento de vehículos.

Por esto cuando el concreto será expuesto a la acción abrasiva, es común el uso de tratamientos especiales con los cuales se produce una resistencia a la abrasión sobre la capa superficial del concreto, los cuales finalmente se traducen en un mayor costo. En si las carreteras de concreto hidráulico representan un costo adicional, pero que finalmente se compensa con los ahorros derivados de la disminución en los gastos de mantenimiento. Esta investigación busca aumentar la resistencia a la abrasión del concreto sin el uso de esos costosos y arduos tratamientos.

Metodología

- I. Determinar el agua de reacción para las relaciones agua-cementante 0.35, 0.40 y 0.45 de los concretos de referencia, partiendo del valor propuesto en la tabla del ACI-211, para obtener un revenimiento final de 8-10 cm.
- II. Determinar el agua de reacción para las relaciones agua-cementante 0.35, 0.40 y 0.45 de los concretos con aditivo, partiendo del valor propuesto en la tabla del ACI-211 y considerando el aditivo como agua de reacción, para obtener un revenimiento inicial de 3-5 cm y revenimiento final de 8-10 cm.
- III. Determinación del grado de abrasabilidad bajo condición seca de:
 - 1.- Concreto con aditivo SRA ACON SF 1040, para las tres relaciones agua-cementante y las dos edades de curado.
 - 2.- Concreto sin aditivo, para las tres relaciones agua-cementante y las dos edades de curado.
- IV. Determinación del grado de abrasabilidad bajo condición húmeda de:
 - 1.- Concreto con aditivo SRA ACON SF 1040, para las tres relaciones agua-cementante y las dos edades de curado.
 - 2.- Concreto sin aditivo, para las tres relaciones agua-cementante y las dos edades de curado.
- V. Determinación de la resistencia a la compresión de:
 - 1.- Concreto con aditivo SRA ACON SF 1040, para las tres relaciones agua-cementante y las dos edades de curado.
 - 2.- Concreto sin aditivo, para las tres relaciones agua-cementante y las dos edades de curado.

Características afines de los concretos.

Los concretos fueron fabricados con Cemento Monterrey Portland Tipo I, agregado calizo de la región con un tamaño máximo de 20 mm y un Aditivo Super Reductor de Agua ACON SF 1040 en los concretos con aditivo. La granulometría utilizada para los agregados fue la especificada en ASTM C-33, para el agregado grueso se utilizó la media de la No. 67 y para el agregado fino la media indicada en el punto 6.1 de dicha norma, ambas granulometrias fueron preparadas para evitar variación de mezcla a mezcla.

Los agregados se prepararon mediante cribado a través de las diferentes mallas especificadas para obtener la misma granulometría en cada mezcla.

Las mezclas se hicieron en una revolvedora de laboratorio de 30 L de capacidad, la cual se puede apreciar en la fotografía No. 1.

Las condiciones del medio ambiente en el laboratorio donde se fabricaron los concretos fueron de 23 ± 1.5 °C con una humedad relativa mayor del 50 %.

Datos fisicos de los materiales.

Materiales	Densidad (kg/m ³)	PVSS (kg/m ³)	PVVS (kg/m ³)	Abs. %	H.O.	M.F.
Cemento	3100					
Ag. Grueso	2740	1565	1675	0.45	0	
Ag. Fino	2620			1.55	0	2.76
Aditivo	1100					

Granulometría.

Agregado Grueso:

Como ya se mencionó la granulometría utilizada fue la especificada en la norma ASTM C-33, la No. 67, escogiéndose la media de dicha curva granulométrica.

Tamaño No.	1" (25mm)	¾" (19mm)	½" (12.5mm)	3/8" (9.5mm)	No. 4 (4.75mm)	No. 8 (2.36mm)
67	100	90-100	85-67	20-55	0-10	0-5
Media	100	95	76	37.5	5	2.5

Agregado Fino:

Para el agregado fino se utilizó la especificada en el punto 6.1 de la norma ASTM C-33, escogiéndose la media de dicha granulometría.

Malla No.	% que pasa	Media (% que pasa)	Ref. acumulado %	Ret. Individual %
3/8"	100	100	0	0
No. 4	95-100	97.5	2.5	2.5
No. 8	80-100	90	10	7.5
No. 16	50-85	67.5	32.5	22.5
No. 30	25-60	42.5	57.5	25
No. 50	10-30	20	80	22.5
No. 100	2-10	6	94	14
Pasa 100		0	100	6

Módulo de finura.

Malla No.	% finos que pasan	% retenido acumulado
3/8"	100	0
No. 4	97.5	2.5
No. 8	90	10
No. 16	67.5	32.5
No. 30	42.5	57.5
No. 50	20	80
No. 100	6	94
suma		276

Módulo de finura = sumatoria % retenido acumulado / 100

Módulo de finura = 276/100

Módulo de finura = 2.76

Composición química del cemento Portland I

Compuestos potenciales del cemento	Símbolo	Porcentaje
Silicato Tricálcico	C ₃ S	40.2
Silicato Dicálcico	C ₂ S	34.4
Aluminato Tricálcico	C ₃ A	8.9
Aluminato Ferrito Tetracálcico	C ₄ AF	6.5

Composición química del cemento Portland I.

Elemento	Símbolo	Porcentaje
Oxido de Silicio	SiO ₂	22.55
Oxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	4.72
Oxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	2.14
Oxido de Calcio	CaO	62.57
Oxido de Magnesio	MgO	1.49
Trióxido de Azufre	SO ₃	2.95
Oxido de Sodio	Na ₂ O	0.53
Oxido de Potasio	K ₂ O	0.22
Pentóxido de Fósforo	P ₂ O ₅	0.08
Oxido de Titanio	TiO ₂	0.26
Trióxido de Manganeso	Mn ₂ O ₃	0.04
Pérdida por calcinación	P * C	2.33

Proporcionamientos para el concreto de referencia sin aditivo.

Proporcionamiento No. 1

Relación A/C = 0.35

Datos para determinar el proporcionamiento:

- Basándonos en la tabla del ACI-211 el porcentaje de aire atrapado para un revenimiento de 10 cm es de 2%.
- De la misma tabla del ACI-211, tenemos que para un tamaño máximo de agregado de 20 mm y el revenimiento buscado de 10 cm se requieren 205 L de agua por metro cúbico de concreto.
- Según la tabla del ACI-211, el volumen de agregado grueso requerido es de 0.624 para un tamaño máximo de agregado de 20 mm y un módulo de finura 2.76.

Proporcionamiento:

Material	Mat. secos sin incluir agua de Abs. (kg/m ³)	Vol. Abs. m ³ /m ³ de concreto	Humedad de secos a S.S.S (kg/m ³)	Materiales secos incluyendo agua de Abs. (kg/m ³)	Kg/23 L de concreto
Agua Reacc.	205	$205/1000 = 0.205$		205	
Agua total				$205 + 13 = 218$	5.01
Cemento	$205/0.35 = 585.7$	$585.7/3100 = 0.189$		585.7	13.47
Ag. Grueso	$1675 * 0.624 = 1045.2$	$1045.2/2740 = 0.381$	$1045.2 * 0.0045 = 4.7$	1045.2	24.04
Ag Fino	$0.205 * 2620 = 537.1$	0.205	$537.1 * 0.0155 = 8.3$	537.1	12.35
Aire 2%		0.02			
Suma		1.00			
Agua Abs.			13		

Propiedades físicas del concreto fresco

Revenimiento 10 cm

Aire medido 1.3%

Temperatura del concreto 27°C

Proporcionamiento No. 2
Relación A/C = 0.40

Datos para determinar el proporcionamiento:

- Basándonos en la tabla del ACI-211 el porcentaje de aire atrapado para un revenimiento de 10 cm es de 2%.
- De la misma tabla del ACI-211, tenemos que para un tamaño máximo de agregado de 20 mm y el revenimiento buscado de 10 cm se requieren 205 L de agua por metro cúbico de concreto.
- Según la tabla del ACI-211, el volumen de agregado grueso requerido es de 0.624 para un tamaño máximo de agregado de 20 mm y un módulo de finura 2.76.

Proporcionamiento:

Material	Mat. secos sin incluir agua de Abs. (kg/m ³)	Vol. Abs. m ³ /m ³ de concreto	Humedad de secos a S.S.S (kg/m ³)	Materiales secos incluyendo agua de Abs. (kg/m ³)	Kg/23 L de concreto
Agua Reacc.	180	180/1000 = 0.180		180	
Agua total				180 + 15.82 = 195.82	4.5
Cemento	180/0.40 = 450	450/3100 = 0.145		450	10.35
Ag. Grueso	1675 * 0.624 = 1045.2	1045.2/2740 = 0.381	1045.2 * 0.0045 = 4.7	1045.2	24.04
Ag. Fino	0.274 * 2620 = 717.8	0.274	717.8 * 0.0155 = 11.12	717.8	16.51
Aire 2%		0.02			
Suma		1.00			
Agua Abs.			15.82		

Propiedades físicas del concreto fresco

Revenimiento 10 cm

Aire medido 1.6%

Temperatura del concreto 26°C

Proporcionamiento No. 3

Relación A/C = 0.45

Datos para determinar el proporcionamiento:

- Basándonos en la tabla del ACI-211 el porcentaje de aire atrapado para un revenimiento de 10 cm es de 2%.
- De la misma tabla del ACI-211, tenemos que para un tamaño máximo de agregado de 20 mm y el revenimiento buscado de 10 cm se requieren 205 L de agua por metro cubico de concreto.
- Según la tabla del ACI-211, el volumen de agregado grueso requerido es de 0.624 para un tamaño máximo de agregado de 20 mm y un módulo de finura 2 76.

Proporcionamiento:

Material	Mat. secos sin incluir agua de Abs. (kg/m ³)	Vol. Abs. m ³ /m ³ de concreto	Humedad de secos a S.S.S (kg/m ³)	Materiales secos incluyendo agua de Abs. (kg/m ³)	Kg/23 L de concreto
Agua Reacc.	170	$170/1000 = 0.170$		170	
Agua total				$170 + 17.2 = 187.2$	4.3
Cemento	$170/0.45 = 377.7$	$377.7/3100 = 0.122$		377.7	8.6
Ag. Grueso	$1675 * 0.624 = 1045.2$	$1045.2/2740 = 0.381$	$1045.2 * 0.0045 = 4.7$	1045.2	24.04
Ag Fino	$0.307 * 2620 = 804.3$	0.307	$804.3 * 0.0155 = 12.5$	804.3	18.5
Aire 2%		0.02			
Suma		1.00			
Agua Abs.			17.2		

Propiedades físicas del concreto fresco

Revenimiento 10 cm

Aire medido 1.5%

Temperatura del concreto 27°C

Procedimiento de fabricación del Concreto de Referencia.

1. Se colocan los agregados dentro de la revolvedora y se añade el agua de absorción.
2. Se mezcla durante un minuto para homogeneizar los agregados y que estos tomen su correspondiente agua de absorción.
3. Se añade el cemento y el agua de reacción.
4. Se mezcla durante tres minutos.
5. Se deja reposar un periodo de tres minutos tapando la boca de entrada de la revolvedora con una franela, para evitar la evaporación del agua.
6. Se mezcla nuevamente durante dos minutos.
7. Se mide el revenimiento.
8. Se mide el contenido de aire.
9. Y por último se vacía el concreto en los moldes correspondientes para los especímenes de resistencia a la compresión y resistencia a la abrasión.

Proporcionamientos para el concreto utilizando un aditivo superfluidificante.

Proporcionamiento No. 4

Relación A/C = 0.35

Datos para determinar el proporcionamiento:

- Basándonos en la tabla del ACI-211 el porcentaje de aire atrapado para un revenimiento de 5 cm es de 2%.
- De la misma tabla del ACI-211, tenemos que para un tamaño máximo de agregado de 20 mm y el revenimiento buscado de 5 cm se requieren 190L de agua por metro cúbico de concreto.
- Según la tabla del ACI-211, el volumen de agregado grueso requerido es de 0.624 para un tamaño máximo de agregado de 20 mm y un módulo de finura 2.76.

Proporcionamiento:

Material	Mat. secos sin incluir agua de Abs. (kg/m ³)	Vol. Abs. m ³ /m ³ de concreto	Humedad de secos a S.S.S (kg/m ³)	Materiales secos incluyendo agua de Abs. (kg/m ³)	Kg/23 L de concreto
Agua Reacc.	180 - 2.6 = 177.4	177/1000 = 0.177		177.4	
Agua total				177.4 + 15 = 192.4	4.4
Cemento	180/0.35 = 514.3	514.3/3100 = 0.166		514.3	11.8
Ag. Grueso	1675 * 0.624 = 1045.2	1045.2/2740 = 0.381	1045.2 * 0.0045 = 4.7	1045.2	24.04
Ag Fino	0.254 * 2620 = 665.5	0.254	665.5 * 0.0155 = 10.3	665.5	15.3
Aditivo	2.6	2.6/1100 = 0.002		2.6	0.06
Aire 2%		0.02			
Suma		1.00			
Agua Abs.			15.0		

Propiedades físicas del concreto fresco

Revenimiento inicial 3 cm

Revenimiento final 10 cm

Aire medido 2.0%

Temperatura del concreto 23°C

Proporcionamiento No. 5
Relación A/C = 0.40

Datos para determinar el proporcionamiento:

- Basándonos en la tabla del ACI-211 el porcentaje de aire atrapado para un revenimiento de 5 cm es de 2%.
- De la misma tabla del ACI-211, tenemos que para un tamaño máximo de agregado de 20 mm y el revenimiento buscado de 5 cm se requieren 190L de agua por metro cúbico de concreto.
- Según la tabla del ACI-211, el volumen de agregado grueso requerido es de 0.624 para un tamaño máximo de agregado de 20 mm y un módulo de finura 2.76.

Proporcionamiento:

Material	Mat. secos sin incluir agua de Abs. (kg/m ³)	Vol. Abs. m ³ /m ³ de concreto	Humedad de secos a S.S.S (kg/m ³)	Materiales secos incluyendo agua de Abs. (kg/m ³)	Kg/23 L de concreto
Agua Reacc.	170 - 2.1 = 167.9	167.9/1000 = 0.168		167.9	
Agua total				167.9 + 16.6 = 184.5	4.2
Cemento	170/0.40 = 425	425/3100 = 0.137		425	9.8
Ag. Grueso	1675 * 0.624 - 1045.2	1045.2/2740 = 0.381	1045.2 * 0.0045 = 4.7	1045.2	24.04
Ag. Fino	0.292 * 2620 - 765.04	0.292	765 * 0.0155 = 11.9	765	17.6
Aditivo	2.1	2.1/1100 = 0.002		2.1	0.05
Aire 2%		0.02			
Suma		1.00			
Agua Abs.			16.6		

Propiedades físicas del concreto fresco

Revenimiento inicial 3.5 cm

Revenimiento final 10 cm

Aire medido 1.0%

Temperatura del concreto 25°C

Proporcionamiento No. 6

Relación A/C = 0.45

Datos para determinar el proporcionamiento:

- Basándonos en la tabla del ACI-211 el porcentaje de aire atrapado para un revenimiento de 5 cm es de 2%.
- De la misma tabla del ACI-211, tenemos que para un tamaño máximo de agregado de 20 mm y el revenimiento buscado de 5 cm se requieren 190L de agua por metro cubico de concreto.
- Según la tabla del ACI-211, el volumen de agregado grueso requerido es de 0.624 para un tamaño máximo de agregado de 20 mm y un modulo de finura 2 76.

Proporcionamiento:

Material	Mat. secos sin incluir agua de Abs. (kg/m ³)	Vol. Abs. m ³ /m ³ de concreto	Humedad de secos a S.S.S (kg/m ³)	Materiales secos incluyendo agua de Abs. (kg/m ³)	Kg/23 L de concreto
Agua Reacc.	160 - 1.8 = 158.2	158.2/1000 = 0.158		158.2	
Agua total				158.2 + 17.8 - 176	4.0
Cemento	160/0.45 = 355.6	355.6/3100 = 0.115		355.6	8.18
Ag. Grueso	1675 * 0.624 = 1045.2	1045.2/2740 = 0.381	1045.2*0.0045 - 4.7	1045.2	24.04
Ag. Fino	0.324 * 2620 = 850	0.324	850 * 0.0155 - 13.1	850	19.55
Aditivo	1.8	1.8/1100 = 0.0016		1.8	0.04
Aire 2%		0.02			
Suma		1.00			
Agua Abs.			17.8		

Propiedades físicas del concreto fresco

Revenimiento inicial 3 cm

Revenimiento final 9 cm

Aire medido 1.4%

Temperatura del concreto 24°C

Procedimiento de fabricación del concreto con aditivo.

1. Se colocan los agregados dentro de la revolvedora y se añade el agua de absorción.
2. Se mezcla durante un minuto para homogeneizar los agregados y que estos tomen su agua de absorción.
3. Se añade el cemento y el agua de reacción.
4. Se mezcla durante tres minutos.
5. Se deja reposar un período de tres minutos tapando la boca de entrada de la revolvedora con una franela, para evitar la evaporación del agua.
6. Se mezcla nuevamente durante dos minutos.
7. Se mide el revenimiento y se regresa a la revolvedora este concreto.
8. Se añade el aditivo SRA y se remezcla aproximadamente un minuto.
9. Por último se mide el revenimiento final.
10. Y se vacía el concreto en los moldes correspondientes para los especímenes de resistencia a la compresión y resistencia a la abrasión.

Resumen de proporcionamientos

	CONCRETO DE REFERENCIA				CONCRETO CON ADITIVO			
	PROPORCIONAMIENTO (Kg/m ³)							
REACCION *	205.0	180.0	170.0	180.0	170.0	180.0	170.0	160.0
AGUA								
ABSORCIÓN	13.0	15.8	17.2	15.0	16.6	15.0	16.6	17.8
CEMENTO PORTLAND I	585.7	450.0	377.7	514.3	425.0	514.3	425.0	355.6
AGREGADO GRUESO	1045.2	1045.2	1045.2	1045.2	1045.2	1045.2	1045.2	1045.2
AAGREGADO FINO	537.7	717.9	804.3	665.5	765.0	665.5	765.0	850.0
DOSIFICACION (ml/kg)						5.0	5.0	5.0
ADITIVO								
CONSUMO (L/m ³)				2.6	2.1			1.8
PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO FRESCO								
REL A/C EN PESO	0.35	0.40	0.45	0.35	0.40	0.35	0.40	0.45
AIRE (%)	1.3	1.6	1.5	2.0	1.0	2.0	1.0	1.4
TEMP DEL CONCRETO FRESCO (C)	27	26	27	23	25	23	25	24
REVENIMIENTO (cm)	10	10	10	3	3.5	3	3.5	3
INICIA	*	*	*	10	10	10	10	9
FINAL								
PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO								
RESISTENCIA A LA COMPRESION EN (Mpa)								
3 DIAS	34.9	32.8	28.2	35.6	33.7	35.6	33.7	28.2
28 DIAS	49.8	48.0	42.7	50.1	48.8	50.1	48.8	42.3

SEGUN EL ACI 211I, EL CONSUMO DE ADITIVO SE CONSIDERA COMO AGUA DE REACCIÓN *

Procedimiento de fabricación de los especímenes.

- Especímenes para determinar la resistencia a la abrasión.

El concreto fue vaciado en moldes de madera de 43 x 63 x 8 cm de peralte y *vibrado* de acuerdo a la norma ASTM C-192, *el acabado de la superficie fue liso* utilizando una llana. Los prismas fueron desmoldados a las 24 h para ser curados bajo condiciones estándar a 3 y 28 días. Posteriormente días antes de cumplir la edad de curado se extrajeron de los prismas especímenes cilíndricos de 15 cm de diámetro y 8 cm de altura para ser ensayados a la abrasión. Los moldes de madera y el equipo de vibrado pueden apreciarse en la fotografía No. 2.

- Especímenes para determinar la resistencia a la compresión.

Los especímenes para determinar la resistencia a la compresión a los 3 y 28 días se fabricaron en moldes cilíndricos de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, de acuerdo a la norma ASTM C-192. Los moldes y el equipo de fabricación pueden verse en la fotografía No. 3.

Descripción y operación del equipo de abrasión.

Aparatos.

Dispositivo de abrasión.

Es un taladro de presión ó dispositivo similar con una porta broca en la cual embona un cortador rotatorio que gira con una velocidad de 200 rev/min y una fuerza excéntrica de 10 kg sobre la superficie del espécimen. Fotografía No. 4 muestra el taladro de presión. Ver figura No. 1 ilustra los detalles del taladro de presión.

La dificultad de mantener una carga constante de abrasión cortante cuando usamos la palanca, mecanismo y el sistema de giro del taladro de presión a sido eliminado por la colocación de una carga directa sobre el vástago que toma el cortante. La máquina consiste esencialmente en un marco que soporta el motor, la polea y el vástago. Un sujetador esta construido en la base para sostener el espécimen.

La carga sobre el vástago puede ser de 10 kg cuando el ciclo de abrasión es normal ó de 20 kg cuando el ciclo de abrasión es severo, la fotografía 2 muestra el peso sobre el vástago, que proporciona la fuerza excéntrica.

Cortador rotatorio.

Esta formado por ruedas abrasivas montadas. Figura No. 2 muestra los detalles del cortador rotatorio. Las roldanas deben de ser de diámetro menor que las ruedas abrasivas antes y después de la prueba. El diámetro de las roldanas debe mantenerse menor que el diámetro de las ruedas abrasivas durante la prueba. Las ruedas abrasivas deben cambiarse periódicamente, preferentemente después de cada 90 minutos de uso. La fotografía 6 ilustra el Cortador Rotatorio, así como el molde donde es colocado el espécimen.

Ensayes de abrasión en especímenes secos.

a) Preparación de los especímenes.

Al cumplirse la edad de curado se sacaron los especímenes del cuarto de curado y se colocaron en el horno a temperatura constante de 50⁰C durante 24 h. aproximadamente, ya secos los especímenes se aclimataban al medio ambiente para posteriormente ser ensayados.

b) Procedimiento de ensaye de acuerdo a la norma ASTM C 944-90 “Método estándar para determinar la resistencia a la abrasión de concreto o superficies de mortero según el método Rotación – Cortante”.

1. Determinar la masa del espécimen con aproximación de 0.1 gr
2. Se coloca el espécimen perpendicular al aparato de abrasión.
3. Montar el aparato de rotación cortante en el aparato de abrasión.
4. Encender el motor a una velocidad baja hasta que se tenga contacto con la superficie del espécimen.
5. Se continua la abrasión con una carga constante de 20 kg en el espécimen por dos minutos después del contacto entre el cortador y la superficie. Al final de cada dos minutos de periodo de abrasión, remover el espécimen de prueba del aparato de abrasión y limpiar la superficie con una brocha, despues se sopla la superficie con aire.
6. Determinar la masa del espécimen con una aproximación de 0.1 gr.

El método establece que se deben tener tres periodos de prueba en diferentes partes de un concreto o mortero representativo, por lo cual se ensayaron tres especímenes en cada caso de prueba. Ver Fotografía 4 donde se muestran los especímenes del ensaye de abrasión

La abrasión se interpreta como promedio de la pérdida en gramos de los tres especímenes.

Los resultados obtenidos en los ensayes bajo condición seca se encuentran en las siguientes tablas:

Tabla No. 1 Resultados de ensayes de abrasión realizados en el concreto con aditivo bajo la condición seca a los 3 días de curado

Tabla No. 2 Resultados de ensayes de abrasión realizados en el concreto de referencia bajo la condición seca a los 3 días de curado.

Tabla No. 3 Resultados de ensayes de abrasión realizados en el concreto con aditivo bajo la condición seca a los 28 días de curado.

Tabla No. 4 Resultados de ensayes de abrasión realizados en el concreto de referencia bajo la condición seca a los 28 días de curado.

Ensayes de abrasión en especímenes húmedos.

a) Preparación de los especímenes.

Al cumplirse la edad de curado se sacaron los especímenes del cuarto de curado y se dejaron al medio ambiente hasta lograr la condición Saturados Superficialmente Secos.

c) Procedimiento de ensaye de acuerdo a la norma ASTM C 944-90 “Método estándar para determinar la resistencia a la abrasión de concreto o superficies de mortero según el método Rotación – Cortante”.

1. Determinar la masa del espécimen con aproximación de 0.1 gr
2. Se coloca el espécimen perpendicular al aparato de abrasión.
3. Montar el aparato de rotación cortante en el aparato de abrasión.
4. Encender el motor a una velocidad baja hasta que se tenga contacto con la superficie del espécimen.
5. Se continua la abrasión con una carga constante de 20 kg en el espécimen por dos minutos después del contacto entre el cortador y la superficie. Al final de cada dos minutos de periodo de abrasión, remover el espécimen de prueba del aparato de abrasión y limpiar la superficie con una brocha, después se limpia la superficie con aire.
6. Determinar la masa del espécimen con una aproximación de 0.1 gr.

El método establece que se deben tener tres periodos de prueba en diferentes partes de un concreto o mortero representativo, por lo cual se ensayaron tres especímenes en cada caso de prueba.

La abrasión se interpreta como promedio de la pérdida en gramos de los tres especímenes.

Los resultados obtenidos en los ensayos bajo condición húmeda se encuentran en las siguientes tablas:

Tabla No. 5 Resultados de ensayos de abrasión realizados en el concreto con aditivo bajo la condición húmeda a los 3 días de curado.

Tabla No. 6 Resultados de ensayos de abrasión realizados en el concreto de referencia bajo la condición húmeda a los 3 días de curado.

Tabla No. 7 Resultados de ensayos de abrasión realizados en el concreto con aditivo bajo la condición húmeda a los 28 días de curado.

Tabla No. 8 Resultados de ensayos de abrasión realizados en el concreto de referencia bajo la condición húmeda a los 28 días de curado.

Ensayes de compresión.

La resistencia a la compresión se determinó en los concretos de referencia y en los concretos con aditivo para cada relación agua – cementante, para comparar estos resultados con los de la resistencia a la abrasión.

Los ensayes a compresión se realizaron en una máquina universal TINIUS OLSEN en forma manual con una velocidad de aplicación de carga entre 0.14 y 0.34 Mpa/s de acuerdo a lo especificado en la norma ASTM C-39. La máquina universal puede verse en la fotografía No. 8.

Los resultados pueden apreciarse en las siguientes tablas:

Tabla No. 9 Resistencia a la compresión del concreto de referencia a los 3 días de curado.

Tabla No. 10 Resistencia a la compresión del concreto de referencia a los 28 días de curado.

Tabla No. 11 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo a los 3 días de curado.

Tabla No. 12 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo a los 28 días de curado.