

TUES
1501
G283a
1997
Ej. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



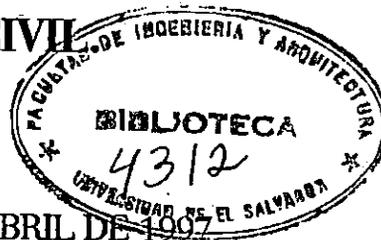
**EFEECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE Y LA TEMPERATURA
EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.**

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:
EDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES
CRISANTO JAVIER PORTILLO BARAHONA

15101927
15101927

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL



CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL DE 1997

Recibido el 6 de mayo / 97

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



RECTOR:

DR. JOSE BENJAMIN LOPEZ GUILLEN

SECRETARIO GENERAL:

LIC. ENNIO ARTURO LUNA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO:

ING. JOSE RICOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:

ING. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION PREVIO A LA OPCION AL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

TITULO:

**EFFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE Y LA TEMPERATURA
EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO**

PRESENTADO POR:

**EDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES
CRISANTO JAVIER PORTILLO BARAHONA**

TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:

COORDINADOR: ING. CIRILO MENDEZ RAYMUNDO

ASESOR: ING. ROLANDO AMAYA DE LEON

SAN SALVADOR, ABRIL DE 1997

TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:

COORDINADOR Y ASESOR:


ING. CIRILO MENDEZ RAYMUNDO

ASESOR:


ING. ROLANDO AMAYA DE LEÓN
FIRMADO POR: ING. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ



RECONOCIMIENTO

A nuestra Alma Máter y máximo Centro de Estudios de nuestro país, la **"UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR"**, por habernos formado durante nuestro tiempo de estudios en profesionales capaces para prestar nuestros servicios a la Comunidad Salvadoreña de manera seria y responsable.

A las personas e instituciones que colaboraron desinteresada e incondicionalmente a la realización de éste Trabajo de Graduación brindándonos su apoyo. Nuestro mayor agradecimiento se hace extensivo a las siguientes instituciones y empresas:

- Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto
- Mixto Listo Protersa, S.A. de C.V.
- Pedrera Protersa
- Aditivos de El Salvador, S.A de C.V.

Quienes con la donación de sus productos e información actualizada, fueron el impulso para la conclusión de esta investigación.

Para los profesores que nos dieron sus enseñanzas, consejos y recomendaciones, así como también Margarita quien fué de mucha ayuda, así como a Susan, Evelio, Emiliano y Jason que forman el equipo de laboratoristas que nos acompañó en nuestro diario trabajo.

A todas y todos..... que nos brindaron su apoyo para continuar adelante y lograr la meta propuesta.

AL ING. CIRILO MENDEZ RAYMUNDO:

Nuestro coordinador y asesor de Trabajo de Graduación, por su colaboración, orientación y comprensión. Gracias por motivarnos a seguir siempre adelante y por estar siempre pendiente en todas las etapas de nuestro proyecto y de todo lo concerniente a nuestro equipo de trabajo.

AL ING. ROLANDO AMAYA DE LEON:

Nuestro asesor, a quien le agradecemos sus valiosos consejos, así como su apoyo incondicional en todo momento en la orientación de nuestro Trabajo, y en especial por su esfuerzo en la conclusión de el proyecto. La firma de éste documento la llevamos en nuestro corazón, que Dios le conceda a Ud. . y su esposa mucha bendición y le dé la salud que tanto necesita y se merece.

DEDIDATORIA

Agradezco:

A Dios, por darme la fuerza necesaria para salir adelante y vencer todos los obstáculos que se presentaron, y enseñarme que Tu Camino es difícil, pero no imposible, y a Nuestra Madre la Virgen María, y a los que han luchado por la construcción de Tu Reino.

A MI PAPA: Juan Antonio Gavidia Mayorga (Q.D.D.G.), quien me dió el empuje necesario para iniciar mis estudios universitarios y que estoy seguro que se siente muy orgulloso por este éxito.

A MI MAMA: Antonia Paredes Peña V. de Gavidia, por ser mi mayor motivo para seguir adelante y por que siempre estuvo a mi lado en los momentos más difíciles. Este triunfo es suyo y de mi papá.

A MIS HERMANOS

Y HERMANA: Jorge, Manuel, Marcos, Carlos, José, Oscar, Cecy, Julio y Mario, así como a mis cuñadas Rosy, Adelita, Sonia, Normita, Ana y Krisscia por haber sido siempre mis **segundos padres y madres**, por brindarme ese apoyo y estímulo. "Lo logramos".

A MI FAMILIA: Tía Tencha y Tía Chenta, y otros, así como a mis Padrinos Rosa y Antonio, Pedro y Linda.

A: **Mis compañeros de la Universidad:** Rudy, la Acosta, Vaquero, la Onga, Omar, el Checo, Choma, Mitzzy, Noé, Gilberto y a Dilber, Feldes, la Sra. Marina de Benítez, Janeth, y todas y todos Gracias.
Mis amigos de la Iglesia de la Colonia Guadalupe: Nelson Francisca, Sepe, Carlos, Mando, Juan Miguel y Juan Luis, Jenny, Julio (Q.E.P.D) y el **Coro de 5**.

A: **Mis grandes amigos del Reparto** Geova, David, Rudy, mi sobrino Walter, Denix, el Viejo, La Niña Imel, Clever y a todos y todas. A Raúl, Jorge Orellana, Jorge Portillo, Edú, Herberth, Luis.

A: Mi compañero de Trabajo de Graduación Crisanto y su novia Marizol.

Edgar Alfredo Gavidia

DEDIDATORIA

Agradezco:

A Dios mi Señor por haber proveído a mis padres de salud y capacidad económica para mantener mis estudios, y también porque me ha guardado de todo peligro y de todo mal.

A MIS PADRES: Pablo García y María Cristina Barahona; por haberme brindado su confianza y ayuda incondicional; porque éste triunfo es resultado de sus esfuerzos.

A MI ABUELITA: Juana Barahona; por sus consejos y apoyo, fortaleciéndome para perseverar, aún en los momentos más difíciles.

A MIS HERMANOS: Joel, Juana, Cristina, Pablo; por su cooperación por siempre.

A MI NOVIA: Reyna Marizol Sánchez, por su amor, comprensión, paciencia y apoyo moral.

A MI TIA: Mirtala Arévalo, porque me guió por buen camino a través de sus consejos.

A MIS AMIGOS: José Rafael, Ricardo César, Heriberta y María Dominga por transmitirme esa visión de superación continua.

A MI COMPAÑERO.

DE TESIS: Edgar Alfredo.

Finalmente a todas las personas que no he mencionado, pero que me han apoyado y colaborado directa o indirectamente. Gracias.

Crisanto.

RESUMEN DEL TRABAJO DE GRADUACION

TITULO: EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE Y LA
TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL
CONCRETO.

PRESENTAN: GAVIDIA PAREDES, E.A.; PORTILLO BARAHONA,
C.J.

ORIGEN: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TIPO DE
DOCUMENTO: INVESTIGACION EXPERIMENTAL

FECHA DE
PUBLICACION: ABRIL, 1997

RESUMEN

Esta investigación ha sido desarrollada con el propósito de dar una solución a los problemas que genera en primer lugar las altas temperaturas en nuestro país cuando se hacen colados de concreto hidráulico elevando la temperatura de éste; y en segundo lugar experimentar con aditivo inclusor de aire que es usado en muchos caso en nuestro país aún para aminorar el efecto que produce la elevada temperatura del concreto que se está colando en las estructuras, principalmente en losas.

Este trabajo ha sido presentado en cuatro capítulos. En el primero se dan los Antecedentes, Planteamiento del Problema, Objetivos, Alcances y limitaciones; así como también la Justificación del Trabajo. En el segundo se dá un bosquejo teórico del tema al cual se ha llamado: **"Efecto del porcentaje de aire y la Temperatura en la Resistencia del Concreto"**, aquí se describe acerca de l descubrimiento del concreto, así como también su origen, enfocándose especialmente los componentes de la mezcla y los aditivos.

En el tercer capítulo se exponen las Pruebas de Laboratorio de los agregados, de los especímenes ensayados a compresión, Tensión y Flexión.

En el cuarto capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos en base a las pruebas realizadas; así como un análisis comparativo de los resultados en base a las pruebas realizadas de Resistencia antes mencionadas a los 28 días , así como también las conclusiones y recomendaciones.

Se realizaron tres ensayos con tres intervalos de temperatura, estos son: de 20 a 25 °C, 25 a 30 °C y de 30 a 35 °C y para cantidades de aire de 4 y 6%, probando para estos tres niveles de resistencia: 210 kg/cm², 280 kg/cm² y 350 kg/cm².

A través de esta investigación se pretende obtener un mayor conocimiento de algunos de los factores que afectan el proceder de **Concretos de Comportamiento Normal (CCN)**, llamado así porque son de uso general en la Industria de la Construcción.

Al aumentar la temperatura del concreto fresco, la resistencia del concreto endurecido baja además de crear dificultades como lo es baja trabajabilidad, alta velocidad de evaporación y la generación de microfisuras.

Actualmente los constructores se ven en problemas por las elevadas temperaturas en nuestro país, teniendo que colocar hielo finamente picado al agua de mezclado.

Sin embargo, con este documento los constructores tendrán una importante guía con la cual sabiendo la temperatura del concreto podrán saber en que porcentaje se verá disminuida la resistencia.

También respecto al uso de Aditivos Incluidores de Aire (en este caso **Sika-Aer**), el constructor será conocedor en que porcentaje disminuye la resistencia del concreto al no corregir la relación agua-cemento.

En cuanto a los agregados empleados, la grava es procedente de la pedrera PROTERSA y la arena procedente del río Astoria ubicado en el departamento de La Paz, a los cuales se les realizaron las pruebas de análisis granulométrico, impurezas orgánicas, gravedad específica y absorción, contenido de humedad, pesos volumétricos y resistencia al desgaste.

El método de diseño utilizado fué el "Método de Pesos por Volúmen Unitario" Peso, conforme al ACI-211.1.81 modificados.

La fabricación de la mezcla se efectuó en una concretera de una bolsa accionada por motor de gasolina. El revenimiento de la mezcla de concreto fué medido por el Cono de Abrams y su consolidación fué realizada haciendo uso de un vibrador accionado por un motor eléctrico.

El análisis de los componentes de CCN se basaron en diferentes pruebas de laboratorio realizados a éstos para el diseño de mezclas, haciéndose un análisis tanto al concreto fresco como al concreto endurecido y finalmente se dan las Conclusiones y Recomendaciones.

INDICE

CONTENIDO	PAG.
CAPITULO I	
INTRODUCCION	
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 ANTECEDENTES	5
1.3 PLANTEAMIENTO Y DELIMITACION DEL PROBLEMA	10
1.4 JUSTIFICACION DEL TRABAJO	11
1.5 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS	12
1.6 ALCANCES DEL TRABAJO	14
1.7 LIMITACIONES DEL TRABAJO	16
CAPITULO II	
EFFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.	
2.1 INTRODUCCION	17
2.2 NOCIONES GENERALES	19
2.3 RESEÑA HISTORICA SOBRE EL DESCUBRIMIENTO DEL CONCRETO.	23
2.3.1 ORIGEN DEL CONCRETO.	24

2.4	PARAMETROS IMPORTANTES DEL EFECTO DE LA INCLUSION DE AIRE Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.	28
2.4.1	RELACION AGUA/CEMENTO (A/C)	28
2.4.2	PROPORCION OPTIMA DE RELACION AGUA-CEMENTO	33
2.4.3	POROSIDAD Y AIRE INCLUIDO	33
2.4.4	TEMPERATURA	36
2.4.5	VELOCIDAD DE EVAPORACION	38
2.5	COMPONENTES DE LA MEZCLA	40
2.5.1	CEMENTO	40
2.5.2	AGREGADOS	43
2.6	ADITIVOS	

55

CAPITULO III

PRUEBAS DE LABORATORIO Y DISEÑO DE MEZCLAS.

3.1	PRUEBAS A LOS COMPONENTES	68
3.1.1	CEMENTO	69
3.1.2	AGREGADO FINO	71
3.1.2.1	ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM C-136)	71
3.1.2.2	PRUEBA DE IMPUREZAS ORGANICAS PARA AGREGADO FINO (ASTM C-40)	85

3.1.2.3 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION (ASTM C-128)	85
3.1.2.4 DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO (ASTM C - 29).	93
3.1.2.5 CONTENIDO DE HUMEDAD DE ARENAS (ASTM C - 566)	98
3.1.2 AGREGADO GRUESO	100
3.1.3.1 ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM C-136)	100
3.1.3.2 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION	108
3.1.3.3 DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO DEL AGREGADO GRUESO	112
3.1.3.4 RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO UTILIZANDO LA MAQUINA DE LOS ANGELES (ASTM C-131)	116
3.1.3.5 ADITIVO INCLUSOR DE AIRE	118
3.2 PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO	119
3.2.1 MEDICION DEL AIRE INCLUIDO (ASTM C-231)	119
3.2.1.1 MANEJO DEL MEDIDOR DE AIRE PRESS-UR-METER CT-129	120
3.2.2 DISEÑO DE MEZCLAS	123
3.3 CONCRETO FRESCO	143
3.3.1 FABRICACION DE ESPECIMENES	145
3.3.3 DISEÑO Y HECHURA DE MEZLAS	148
3.4 CONCRETO ENDURECIDO	154
3.4.1 CURADO DE LOS ESPECIMENES	154

3.4.2 CABECEO DE LOS ESPECIMENES	155
3.4.3 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION	159
3.4.4 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSION INDIRECTA (ASTM C- 496)	167
3.4.5 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXION (ASTM C-78)	176

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 GÉNERALIDADES	185
4.2 COMPONENTES	186
4.2.1 CEMENTO	186
4.2.2 AGREGADOS FINOS	187
4.2.3 AGREGADO GRUESO	190
4.2.4 ADITIVOS	193
4.3 MEZCLAS DE PRUEBA	195
4.3.1 CONCRETO FRESCO	195
4.3.2 MANEJO Y COLOCACION DEL CONCRETO	197
4.3.3 CONTROL	198
4.4 CONCRETO ENDURECIDO	199
4.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION	199

4.4.1.1 ANALISIS DEL RESULTADOS EN PRUEBAS A COMPRESION	206
4.4.2 RESISTENCIA A LA TENSION	212
4.4.2.1 CALCULOS DE LA RELACION QUE EXISTE ENTRE LA TENSION Y LA COMPRESION	219
4.4.2.2 ANALISIS DE RESULTADOS EN PRUEBAS A TENSION	219
4.4.3 RESISTENCIA A LA FLEXION	225
4.4.3.1 CALCULOS DE LA RELACION QUE EXISTE ENTRE LA FLEXION Y LA COMPRESION	232
4.4.3.2 ANALISIS DE RESULTADOS EN PRUEBAS A FLEXION	232
CONCLUSIONES	238
RECOMENDACIONES	242
BIBLIOGRAFIA	246
ANEXOS	250

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES

Siendo El Salvador un país subdesarrollado, conciente de sus limitaciones científicas y tecnológicas, con relación a una deficiente consolidación del concreto y los cambios de temperatura que se generan en diferentes zonas del país, así como una falta de control de temperatura del concreto fresco, hace imprescindible realizar un estudio sobre " **el efecto del porcentaje de aire incluido y del incremento de la temperatura en la resistencia del concreto endurecido** ", ya que en la actualidad, así como en otros tiempos el uso del concreto en las obras civiles es indispensable.

El estudio sobre el efecto que producen éstos dos parámetros es de mucha importancia para nuestro país, pues siendo El Salvador una nación que a lo largo de todo su territorio, específicamente al sur, está formado por un listón marino, es decir es un país con abundantes zonas costeras, por lo mismo se deduce fácilmente que sus temperaturas serán elevadas en la mayor parte del territorio (30 a 33 °C y en algunas ocasiones superior a los 35 °C, especialmente en la zona oriental), lo que implica que en lo que al **concreto** respecta, esté presentará diferentes características a las del concreto con temperaturas normales. El clima cálido puede crear ciertas dificultades, como lo son:

- Una mayor demanda de agua
- Pérdidas aceleradas en el revenimiento
- Velocidades elevadas de fraguado
- Una mayor tendencia al agrietamiento plástico
- Dificultades para controlar el aire incluido
- La necesidad definitiva de un curado inmediato
- Reducción en el tiempo de transporte, colocación y acabado del concreto fresco, etc.

El hecho de agregar más agua al concreto en la obra puede afectar adversamente a las propiedades y a la capacidad de servicio del concreto endurecido, teniéndose como efecto:

- Una reducción en la resistencia
- Una durabilidad e impermeabilidad reducida
- Una apariencia no uniforme en la superficie
- Una tendencia elevada a la contracción por secado¹.

El trabajo se podrá efectuar con tranquilidad solamente sí, anticipándose a las condiciones de los climas cálidos, se toman las precauciones necesarias para atenuar esas dificultades como son:

¹ "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (IMCYC), Traducción directa del Título: "Design and Control of Concrete Mixtures", Portland Cement Association (PCA), 1992, pp 143-144.

- Reducción de la temperatura del agua de mezclado.
- Utilización de cementos de temperatura relativamente baja, es decir no utilizar cementos de reciente fabricación o embodegaje (cemento frío).
- Un curado inmediato siempre será de gran utilidad al momento de ser colocado el concreto, etc.

Por lo tanto resulta de mucha importancia realizar éste tipo de estudios y obtener parámetros que se apeguen a la realidad de nuestro país y no asumir que todas las investigaciones realizadas por otras naciones, son aplicables en El Salvador.

El hecho de incorporar aire al concreto en nuestro país es el de mejorar la trabajabilidad y obtener una relación agua/cemento mínima, su efecto secundario es reducir agua, aunque no substancialmente, la resistencia del concreto; también permite el obtener concretos más impermeables, esto ya que en El Salvador no nos interesa el aspecto del hielo y deshielo en el concreto que es el factor de mayor importancia para los países que sufren de cambios climatológicos bastante drásticos en los cuales puede nevar y haber temperaturas elevadas en un lapso de tiempo bastante corto.

Es de tener claro que el aire incorporado disminuye la resistencia a la compresión del concreto cuando la relación agua-cemento permanece constante; pero esta disminución puede minimizarse reduciendo el contenido de agua y

manteniendo el contenido de cemento constante ó incrementándola levemente ya que el concreto con aire incorporado fluye más fácilmente, se requiere de menos agua de mezcla para conseguir un asentamiento específico.²

² "Guía para los constructores sobre incorporadores de aire y aditivos químicos", W. R. Malish, Boletín ICPC enero-marzo 1993, pp 29-35.

1.2 ANTECEDENTES

El empleo de los cementantes en la construcción se remonta hasta los orígenes mismos de la historia, apareciendo ya en los primeros pueblos sedentarios. Sobre la edad del concreto se discutirá más adelante, aunque se tiene conocimiento de los primeros estudios científicos realizados acerca del comportamiento del concreto ubicados al inicio del siglo XIX, marcándose desde entonces un mayor uso de éste material.

Los primeros constructores de concreto reforzado no fueron teóricos; muchos de ellos no tenían ni idea de la estabilidad de las construcciones. El sistema fue estudiado por vías de la experiencia que permitió establecer algunos principios sobre los cuales se basaron las hipótesis.

En 1853, el francés Francois Coignet, había construido una casa de concreto armado, usando el concreto como material que reemplazaba la piedra.

Si embargo fué hasta en 1861 cuando, Coignet expresó los principios del concreto armado, proponiendo diversos modos de aplicación para la construcción de losas, bóvedas tubos, presas, etc.³, en una obra que publicó llamada

³ "El Concreto en la Historia", Arq. Heraclio Esqueda Huidobro, Revista Construcción y Tecnología N° 16, Sept. 1989, pp 9 y 15.

“Principios de la Construcción”, en la que reconocía la debilidad del concreto a la tensión.⁴

El invento del Concreto Armado se ha atribuído generalmente al francés J. Monier, que al parecer, hizo sus primeras aplicaciones hacia el año de 1867, quien patentó marcos metálicos como refuerzo de concreto (macetas) para plantas⁵, y Koenen en 1886 publicó el primer manuscrito sobre la Teoría y Diseño de las estructuras concreto. En 1906, C.A.P. Torner desarrolló la primera losa plana sin vigas.⁶

A partir de entonces algunos países se preocuparon por el estudio del concreto, de tal manera que en 1910 ya se habían establecido instituciones tales como: el Comité Alemán del Concreto Reforzado, el Instituto Norteamericano del Concreto, y el Instituto Británico del Concreto entre otros.

Sin embargo, el desarrollo de la industria del concreto ha sido muy lenta comparado con el desarrollo de otras industrias, ya que fue hasta 1918 que Abrams en el Instituto Lewis en Chicago que se empezó a utilizar la relación agua/cemento como herramienta para estimar su resistencia; pero a pesar de

⁴ "Concreto Reforzado", Edward G. Nawy, 1ª ed. en español, Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., México 1988, pp 2.

⁵ "El Concreto en la Historia", Arq. Heraclio Esqueda Huidobro, Revista Construcción y Tecnología N° 16, Sept. 1989, pp 14.

⁶ "Concreto Reforzado", Edward G. Nawy, "Usos del Concreto", pp 2.

todo muchos edificios, puentes y recipientes para líquido, hechos de concreto reforzado ya existían por el año de 1920.

En 1938 se descubrió la introducción de aire en el concreto, con el propósito de mejorar la resistencia que variaba mucho por el efecto de hielo y deshielo ; por lo que se puede decir que fue hasta entonces que se da el inicio de el uso de aditivos para concreto. El humo de sílice (puzolana artificial conocida como microsíllica) fue utilizado por primera vez en el concreto en 1950, sin embargo no estuvo disponible a nivel industrial hasta los años ,70's. Por otra parte el desarrollo de los aditivos fluidificantes y superfluidificantes se inició en los 60's en Japón y luego en Alemania, en donde se ha extendido el uso de estos aditivos.⁷

“La utilización de aditivos no debería -con toda objetividad- ser subestimada ni menospreciada. Es preciso, por el contrario, activar su estudio y aumentar su desarrollo. El empleo de aditivos adecuados parece, en efecto, ofrecernos las mejores perspectivas para prolongar la actual vida de nuestros actuales cementos desde el momento que entran en la concretera hasta que la acción de del tiempo provoca la destrucción del concreto”,. (extracto de la conferencia del Sr. P. H. BATES, Director del Departamento de productos a base de cal y sílice del “National Bureau of Standards” Washington D.C. pronunciado el

⁷ "Aditivos Superfluidificantes para Concreto", IMCYC, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Editorial Limusa, pp 68.

26 de junio de 1940, con ocasión del congreso anual de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales en Atlantic City N. J.).⁸

Efectivamente se han realizado progresos desde aquella época gracias a la intensa búsqueda por parte de los especialistas y fabricantes de éste campo. Claro debe estar que los usuarios tengan un conocimiento cada vez más profundo de las posibilidades que ofrecen los aditivos al concreto, así también como sus limitaciones.

La efectividad de un aditivo depende de factores tales como: el tipo y la calidad del cemento, el contenido de agua, la forma del agregado, la graduación y las proporciones, el tiempo de mezclado, el revenimiento y la temperatura del concreto y del aire.⁹

Las normas que rigen la utilización de los aditivos incorporadores de aire en la mayor parte del continente Americano son: la ASTM C-260 y C-233, en base a los estudios realizados por la American Standard Testing Materials (ASTM).¹⁰

En lo que a nuestro país se refiere, la historia de la utilización del concreto reforzado es muy reciente, pues fue hasta 1905-1911 que se comenzó a utilizar en la construcción del actual Palacio Nacional, y aproximadamente en 1950 que

⁸ "El Hormigón y sus Aditivos", Revista Sika-Technique, Ed. Sika Andina S.A., 1968, pp 20.

⁹ "Los aditivos para el Concreto", Traducción del Título original "Admixtures for Concrete" por Prof., José Enrique Brenes M., Revista A.C.C. Tac-12, pp 1.

¹⁰ "Manual Técnico", Sika Aditivos, Sika Andina, S.A. (Publicaciones Cultural, Bogotá-Colombia), Abril de 1989, pp 50-53.

es cuando se registra la primera utilización de aditivos¹¹, en la construcción de el Puente San Marcos Lempa y el el año de 1955 en las construcciones del Muelle de Acajutla y la Catedral de San Salvador.

¹¹ Entrevista con el Ingeniero Cristobal Escobar, CONTECCSA, "Estudio de Concreto con Alta Resistencia a la Agresión provocada por la Contaminación del Medio Ambiente", Santos Fernando Alberto Santos, Trabajo de Graduación, UES, pp. 8.

1.3 PLANTEAMIENTO Y DELIMITACION DEL PROBLEMA

En la actualidad el medio ambiente tiene mucha influencia al momento de elaborar el concreto, como en el caso de la temperatura y de todos los componentes que forman la mezcla del concreto, en los últimos años el calor ambiental ha ido en aumento (por efecto de la deforestación) y según los reglamentos de los Institutos del Concreto se establecen límites a la temperatura. En lo que respecta a la consolidación del concreto, ocurren casos donde no se utiliza el vibrador adecuadamente para reducir el contenido de aire atrapado en la mezcla y que producen concretos **porosos** de "baja resistencia".

Por lo tanto es necesaria una investigación del efecto del **Porcentaje de Aire incluido y del Incremento de la Temperatura en la Resistencia del Concreto** que puedan ser aplicables a nuestro país.

1.4 JUSTIFICACION DEL TRABAJO

En la actualidad la Industria de la Construcción está teniendo un notable crecimiento y por lo tanto se ha llegado a un punto tal que hoy en día el concreto reforzado es el principalmente utilizado en la realización de obras civiles, por lo que es de suma importancia estudiar el **efecto que tienen la incorporación de aire y del incremento de las temperatura en la resistencia del concreto.**

Se sabe que en nuestro medio, en las obras civiles no es frecuente controlar ni la vibración, ni la temperatura de colocación del concreto, por lo tanto suele colarse concretos con temperaturas mayores a las establecidas por la norma ASTM C-94, que regula la temperatura del concreto en el momento de ser colocado a un valor de ± 32 °C, y/o quedan atrapados porcentajes de aire que en cierta manera disminuyen su resistencia y por lo tanto se hace necesario investigar en estos puntos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVOS GENERALES

- Realizar investigaciones a nivel experimental a los concretos más utilizados en El Salvador (210, 280, 350 kg/cm²).
- Realizar investigaciones que conduzcan a mayores conocimientos sobre el efecto del incremento de la temperatura y de el aire incluido en la resistencia del concreto.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Obtener datos que se puedan considerar más acordes y aplicables a nuestro medio.
- Establecer parámetros para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto sometido a diferentes temperaturas y/o diferentes porcentajes de aire incorporado.
- Elaborar los diferentes tipos de mezcla ya establecidos, utilizando para ello: cementos, agregados y aditivos disponibles en nuestro medio, realizando los diferentes diseños de mezclas (según ACI-214), para determinar el comportamiento del concreto fresco y endurecido.

- Ampliar la información para elaborar: gráficas, tablas, cuadros, etc., que permitan apreciar los efectos de la temperatura y del aire incorporado en la resistencia del concreto, en diversos tipos de mezclas y poder realizar así un análisis comparativo.

1.6 ALCANCES DEL TRABAJO

Dentro de los alcances del presente trabajo se encuentran:

- Elaboración de mezclas de concreto con porcentajes de aire incluido y a diferentes temperaturas a nivel experimental, usando un banco de agregados, ubicados en el dpto. de La Paz (para las arenas) y en Ateos dpto. de Sonsonate (para la grava).
- Elaboración de diferentes diseños de mezcla que involucre diferentes tipos de temperaturas (25 a 35 °C), con un promedio de 5 muestras a cada 5°C para 3 diferentes tipos de resistencia (210, 280, 350 kg/cm²), para observar la variación en la resistencia al incrementársele la temperatura al concreto al diseño original de resistencia.
- Elaboración de diferentes diseños de mezcla que involucre diferentes porcentajes de aire incorporado y poder así observar el efecto que éste parámetro tiene en la resistencia de concretos de comportamiento normal (C.C.N.).
- Ampliar la información necesaria para la elaboración de gráficas, cuadros y un análisis comparativo que permitan apreciar los efectos del incremento de la temperatura y de la adición de aire en la resistencia del concreto.

- Realizar pruebas de laboratorio en el cual se tomen en cuenta diversos factores relacionando porcentajes de aire, temperatura, resistencia a la compresión, resistencia a la tensión y resistencia a la flexión.
- Las pruebas de resistencia a la compresión del concreto endurecido se realizarán a la edad de 28 días, con especímenes de 12" x 6" (30 x 15 cm.), según la norma ASTM C-39.
- Las pruebas de resistencia a la tensión indirecta del concreto endurecido se realizarán a la edad de 28 días, con especímenes de 12" x 6" (30 x 15 cm.), según la norma ASTM C-39.
- Las pruebas de resistencia a la tensión indirecta, así como a la flexión se realizarán con vigas cuyas dimensiones serán de 24" x 6" x 6" (60 x 15 x 15 cm.) a los 28 días.

1.7 LIMITACIONES DEL TRABAJO

- El estudio sobre el efecto del incremento de la temperatura se hará con métodos manuales que permitan elevar la temperatura del concreto, como son el calentamiento de agregados y la utilización de agua caliente, ya que no se cuenta con el equipo adecuado en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador.
- La medición del aire se hará sólo con el equipo disponible en Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil.
- Actualmente es muy poca la información de el efecto de éstos dos parámetros, tanto en el país como a nivel latinoamericano, por ser pocos los estudios realizados en éstos países, creyendo suficientes los estudios realizados en países altamente industrializados.

CAPITULO II

EFFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.

2.1 INTRODUCCION

En la actualidad a fines de este siglo XX, los científicos hablan de un aumento de la temperatura en nuestro medio ambiente, esto debido al desgaste que ha sufrido la capa de ozono que envuelve a nuestro planeta.

Dicho fenómeno es conocido como el **Efecto de Invernadero**. Exactamente no se sabe, si el aumento de la temperatura se dará en forma acelerada o que si el hombre y la ciencia pueden detener dicho fenómeno.

Debido a estos efectos en nuestro país, con muchas zonas cálidas hoy en día, es frecuente colar grandes cantidades de concreto con temperaturas superiores a los 32°C, en carreteras, pistas de aterrizaje, etc., por lo cual la Tecnología del Concreto y la Industria de la Construcción necesitan que se realicen investigaciones referentes al efecto que produce ese aumento de temperatura a la hora de hacer colados y no sólo esto; sino también al uso de Aditivos Incluidores de Aire y Retardantes utilizados para aminorar dichos efectos.

El presente trabajo está orientado a la investigación y estudio de diferentes tipos de resistencia de concretos normales, afectados por un incremento de

temperatura para igualar las condiciones propias de calor de EL SALVADOR; con el fin de **establecer parámetros** de comportamiento en el normal endurecimiento del concreto; tal es su **trabajabilidad, fraguado, agrietamiento por contracción plástica, calor de hidratación, uso de aditivos, curado y protección.**

Se afectará también el concreto normal incluyéndole aire con un tipo de aditivo inclusor de aire y para comprobar el efecto que se produce por los vacíos de aire y la alta temperatura se precisará de la elaboración de cilindros y viguetas para verificar la diferencia en la resistencia a los 28 días de Concretos de Comportamiento Normal que en adelante se denominará como **CCN** ó simplemente **Concreto**.

En cuanto a la orientación y desarrollo de éste trabajo es gracias al apoyo y estímulo de catedráticos que forman parte de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador (UES), así también de profesionales, empresas e instituciones relacionadas con el desarrollo e investigación en el área de la Tecnología del Concreto. Se espera que de éste estudio surja un mejor conocimiento para enfrentar éstos fenómenos provocados por altas temperaturas que afectan la calidad de los materiales empleados en las nuevas y futuras construcciones que se realizan en nuestro país.

2.2 NOCIONES GENERALES

El concreto no es una sustancia como constantemente se quiere hacer ver, sino una estructura integrada por componentes; cemento y agua que constituyen la pasta; aire, presente en la forma de burbujas, y agregados, normalmente mineral. Este último es el componente que predomina, ya que constituye usualmente más de las tres cuartas partes de su peso. La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado, como se ilustra en la figura 2.1.

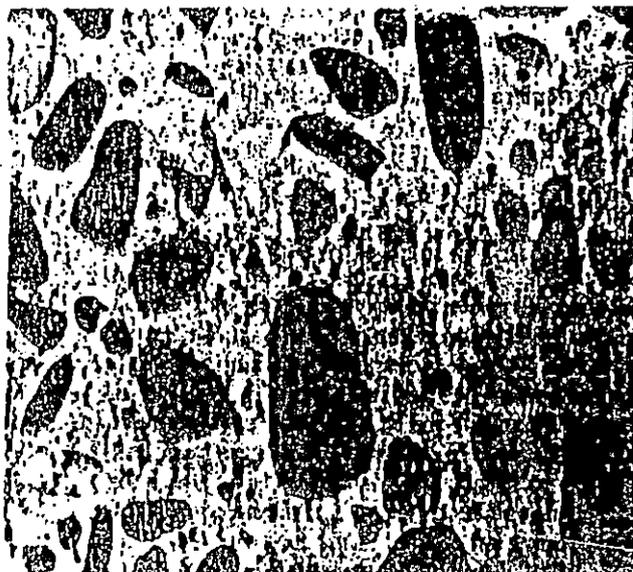


Figura 2.1 Sección Transversal de Concreto Endurecido. La pasta de agua y cemento cubre completamente cada partícula de agregado y llena todos los espacios entre ellas"Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (IMCYC), Traducción directa del Título: "Design and Control of Concrete Mixtures", Portland Cement Association (PCA), 1992, pp 84.

El concreto tiene la peculiaridad de ser, inicial y transitoriamente, una mezcla plástica, y cuya forma final es la de un sólido resistente. En ésta forma final, el concreto muestra las partículas de agregado ligeramente dispersas en una matriz de pasta de cemento endurecido la cual contiene burbujas de aire¹². La inclusión de aire, así como el efecto de las altas temperaturas en el CCN será el tema de interés a desarrollar en adelante, aspectos que son muy positivos considerar debido a que se encuentran muy pocos documentos sobre el efecto que éstos dos aspectos (aire y temperatura) tienen sobre el concreto que se coloca en un país característico por sus temperaturas generalmente altas.

Actualmente se vuelve necesario tener la suficiente información acerca de los cambios que pueda producir el trabajar con temperaturas elevadas, debido a la poca información con que cuenta nuestra población. Es muy frecuente escuchar en el desarrollo de obras civiles que una u otra estructura haya sufrido agrietamientos o aparición de microfisuras en un lapso de tiempo a veces no mayor de 1 ó 2 horas; es entonces cuando cabe la pregunta del ¿porqué de éste fenómeno? y ¿de qué manera se puede solucionar éste problema?. En respuesta a todo esto, se dice que este fenómeno se da por las altas temperaturas internas del concreto, lo que a la vez hace que se disminuya la cantidad de aire presente en éste. Es de aclarar que no sólo el incremento de la temperatura hace que se reduzca el porcentaje de aire atrapado en el concreto, sino que hay otros

¹² "Resistencia y Calidad del Concreto", Héctor Gallegos, Revista Construcción y Tecnología N° 42, Noviembre 1991.

factores que influyen en el incremento ó reducción de éste. Algunos de estos aspectos son los que se mencionan a continuación:

- 1- CEMENTO: un incremento en la cantidad de cemento a colocar hará que el calor de hidratación presente también aumente, lo que significará una reducción en el porcentaje de aire presente; lo mismo sucederá si el cemento sufre un incremento en su módulo de finura.
- 2- AGREGADOS: Los agregados también varían dependiendo del tipo que sean, por ejemplo; en los Agregados Finos, un aumento de la cantidad de este agregado provoca la inclusión de más aire para una cantidad de cemento dada (ya sea con ó sin Aditivo Inclusor de Aire); en los Agregados Gruesos, su influencia variará dependiendo del tamaño del agregado grueso, así por ejemplo, tenemos concretos con agregados de tamaño mayor donde el aumento en el volúmen de mortero es menor.

Existen otros factores que tienen influencia en el incremento ó decremento de la cantidad de aire en el concreto, los cuales sólo mencionaremos y se desarrollarán más adelante, éstos son: El Vibrado, el Agua de Mezclado, el Revenimiento, y el que se podría considerar el más importante, el Incremento o Reducción en la Temperatura. Un aspecto también importante y que será utilizado en el desarrollo de éste tema será la utilización de Aditivos Inclusiones de Aire.

El modelo del concreto afectado por aditivos inclusiones de aire para atenuar los efectos que ocasionan las temperaturas altas en el concreto; es aquel

que por las condiciones ambientales de la obra, ya sea por clima seco ó cálido, con viento ó con calma, pueden hacer diferenciar las condiciones óptimas estimadas en el concreto de especificar, diseñar ó seleccionar una mezcla de concreto. Este hecho es considerado de mucha importancia ya que algunos técnicos y profesionales hacen mal uso de aditivos para mitigar las dificultades en que se hallan el concreto fresco, ya que algunas veces los aditivos reductores de agua y los inclusores de aire son útiles para reducir dichos efectos, pero otras veces no sucede así.

Las dificultades que crea el clima cálido son entre otras: Mayor Demanda de Agua, Pérdida Acelerada de Revenimiento, Velocidades de Fraguado Elevadas, Mayor tendencia al Agrietamiento Plástico, Dificultades para Controlar el Aire Incluido, la necesidad definitiva de un Curado Inmediato, etc.

El hecho de agregar agua al concreto en la obra puede afectar adversamente las propiedades y la capacidad de servicio del concreto endurecido, teniéndose como efecto: Resistencia Reducida, Apariencia No Uniforme en la Superficie, Tendencia Elevada a la Contracción por Secado, y otras. El trabajo puede ser ejecutado con una mayor eficiencia, solamente anticipándose a las condiciones de los climas cálidos en éste estudio sobre: **“EL EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO”**.

2.3 RESEÑA HISTORICA SOBRE EL DESCUBRIMIENTO DEL CONCRETO.

Mucho se ha dicho y escrito sobre el descubrimiento e influencia que el concreto ha tenido desde hace mucho tiempo para toda la humanidad, sin lograr fijar un punto exacto en el tiempo y en el espacio, se tratará en este apartado de dar una respuesta al pasado histórico que el concreto ha tenido; se espera poder obtener algunos datos que indiquen la evolución del concreto hasta nuestros tiempos.

En cuanto al verdadero origen de la palabra concreto también las variantes en cuanto a su origen son varias, algunos la relacionan con un término netamente anglicista y otros como de origen latino. La palabra Concreto deriva del término "**CONCRETUM**", el cual es un sustantivo latino cuyo significado es "lo que de muchas cosas pequeñas se hace una sola", otros le dan una relación de origen inglés de la palabra "**CONCRETE**" cuyo significado es "composición de piedras menudas, arena, gravas, guijarros, etc." que forman una masa con el cemento. También se relaciona con la palabra de origen latino "**CRESCERE**", que quiere decir "crecer por aglomeración, espesar, endurecer. En regiones de Europa al concreto se le llama también **HORMIGON** que deriva de la palabra **FORMICARE** como sinónimo de **FORMARE** o "construir con tapial"¹³, más aún

¹³ "El Concreto en la Historia", Arq. Heraclio Esqueda Huidobro, Revista Construcción y Tecnología N° 16, Sept. 1989, pp 13-14.

algunos entendidos indican que no debe de usarse la palabra hormigón ya que etimológicamente la palabra castiza es concreto sin tratarse de un anglicismo como se quiere tratar de hacer ver¹⁴.

2.3.1 ORIGEN DEL CONCRETO.

Es imposible definir con exactitud el verdadero origen del concreto en el tiempo y en el espacio, sin embargo algunas investigaciones hechas desde hace mucho tiempo arrojan algunos resultados que logran tener alguna idea sobre el inicio de la utilización del concreto como uno de los principales materiales de construcción.

Al querer conocer la verdadera edad histórica del concreto se tienen varias tesis que indican con alguna claridad las primeras utilizaciones del concreto, por ejemplo algunos sitúan su origen entre los años 1880 y 1900, sin embargo es de pensar que esto no puede ser cierto debido a que se han encontrado indicios de la utilización de cementantes como material constructivo en civilizaciones muy antiguas, así los Romanos utilizaban un material llamado "Caementium", quienes a su vez lo habían adoptado de los Griegos que tuvieron gran influencia sobre Roma, ellos le llamaban "Emplacton". Los estudiosos sin embargo le determinan una edad de aproximadamente 2200 años y más recientemente se le atribuye una edad de uso de 7600 años algo que se puede considerar mucho más

¹⁴ "Concreto Material de Leyenda", Ing. Celso A. Carbonell, Revista ACC, Octubre 1973, pp. 503-504.

aceptable. Lo cierto es que sin duda alguna el concreto es el material artificial de construcción más antiguo del que se tenga conocimiento.

La idea de que el concreto pudiera tener 7600 años de edad aproximadamente giran en torno al descubrimiento de nueve horizontes culturales hallados en la región de la ribera derecha del Danubio, ante las "Puertas de Hierro" bajo el macizo de piedra caliza **Korso-Brdo**, al hacer un estudio detallado de éstos estratos se pudo observar que tenían entre 5000 a 5600 años, no así el noveno estrato que tenía una edad aproximada mayor como la ya indicada anteriormente. El compuesto encontrado era un material a base de cal rojiza, arena, grava y agua que al ser utilizado en los pisos era generalmente precocido.

Los antiguos edificios egipcios, hechos con adobe, se juntaban con capas de lodo del Nilo mezclado con paja que puede considerarse el cementante más simple. Sin embargo en sus construcciones masivas utilizaron bloques de piedra con mortero de arena y yeso. Por su parte los Sumerios, Asirios y Babilonios usaron en sus construcciones tabiques recocidos con betún asfáltico.

Se tiene conocimiento que los primeros en utilizar la cal como cementante fueron los habitantes de la Isla de Creta (Grecia), difundiéndose luego su uso a los griegos y luego a los romanos, ellos hidrataban la cal viva y luego la mezclaban con arena para formar un mortero, esto les permitió el descubrir algunas arenas volcánicas que producían morteros más firmes que resistían la acción de las aguas dulces y marinas.

Los romanos descubrieron una arena volcánica del Vesubio, conocida como Puzolana, ya que la mejor se halló cerca del río **Pozzoli**, de ahí el descubrimiento de la puzolana como agregado cementante. El "**Concreto Romano**" lo hacían con la mezcla de tabiques quebrados o tobas volcánicas, puzolana y cal hidratada¹⁵. Los romanos dejaron numerosas muestras del tipo de obras civiles que fueron capaces de crear y que hasta la fecha se mantienen como muestras claras del avance que tuvo esta cultura.

Luego de la época romana el concreto volvió a ser utilizado en la reconstrucción del **Faro de Eddystone** (costa sureste de Inglaterra), por John Smeaton en 1756.

Aproximadamente cerca del año 1867 aparece el concreto armado cuya invención es atribuida generalmente al francés Joseph Monier, sin embargo franceses, ingleses y estadounidenses se disputan su invento. Ciertos constructores fabricaban mallas de acero recubiertas con mortero de cemento con el objeto de obtener paredes delgadas y sólidas para fabricar objetos impermeables e incombustibles.

En cuanto a la invención del cemento Portland, algunos le dan a su invención no más de un siglo, aunque se tiene conocimiento de que sus primeros

¹⁵ "El Concreto en la Historia", Arq. Heraclio Esqueda Huidobro, Revista Construcción y Tecnología Nº 16, sept. /89 pp. 9 y 13.

usos en América datan de 1870 cuando se empezó a importar hacia E.E.U.U. y Canadá desde Inglaterra.

En los años 1886 y 1887 Koenen y Wayss dieron a conocer fórmulas que se aplicaron considerablemente en el empleo del concreto reforzado, estos estudios reconocieron que el funcionamiento del concreto armado dependían de las propiedades del hierro y del concreto. En 1892 surgen dos nuevos sistemas: F. Hennebique y Edmond Coignet patentaron sus tipos de vigas de concreto reforzado.

La viga moderna data de 1889, en 1894 Hennebique estudia y realiza la ménsula, los tanques y pilotes en 1895, la columna en 1896 y en 1897 construye el primer puente de concreto armado en arco.

Estos son algunos de los datos más relevantes acerca del aparecimiento del concreto contemporáneo, así como las diversas etapas de su constitución como el principal material artificial de construcción.

2.4 PARAMETROS IMPORTANTES DEL EFECTO DE LA INCLUSION DE AIRE Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.

Ya se han indicado anteriormente algunos parámetros importantes en el desarrollo del concreto con aire incluido y a temperaturas elevadas. Para tener mayor claridad sobre el efecto que estos tienen sobre el normal comportamiento del concreto se definirán de manera más detallada algunos ya mencionados anteriormente y otros como son:

- Relación Agua Cemento
- Proporción óptima de A/C
- Porosidad y Aire Incluido
- Temperatura
- Velocidad de Evaporación

2.4.1 RELACION AGUA/CEMENTO (A/C)

La relación agua-cemento es sencillamente el peso de agua dividido entre el peso de cemento que se elija para el diseño de la mezcla, debe de ser el menor valor requerido para cubrir las consideraciones de exposición de diseño. En el caso que se desarrolla se considerará la relación A/C para CCN por lo que se desarrollará el estudio en base a las recomendaciones del ACI para dosificaciones de Concretos Normales.

Existen varias tablas sugeridas por el Comité ACI - 211¹⁶ sobre el diseño de la mezcla en base a las condiciones deseadas, así cuando interesa diseñar con respecto a la durabilidad del concreto se usa la tabla denominada como 2.1 que sugiere el tipo de diseño para diversas condiciones de exposición.

TABLA 2.1 RELACIONES AGUA-CEMENTO MÁXIMAS PARA DIVERSAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN, referencia "diseño y control de mezclas de concreto", (imcyc), pp 84.

Condición de exposición	Relación agua-cemento máxima (en peso) para concreto de peso normal
Concreto protegido contra la exposición a la congelación y deshielo o a la aplicación de productos químicos descongelantes	Escoja la relación agua-cemento basándose en los requisitos de resistencia, trabajabilidad y acabados
Concreto que se pretende sea hermético	
a. Concreto expuesto a agua dulce	0.50
b. Concreto expuesto a agua salobra o a agua de mar	0.45
Concreto expuesto a congelación y deshielo en condición húmeda:**	
a. Guarniciones, cunetas, guardarrines, o secciones delgadas	0.45
b. Otros elementos	0.50
c. En presencia de productos químicos descongelantes	0.45
Como protección contra la corrosión del concreto reforzado expuesto a sales descongelantes, aguas salobres, agua de mar, o a rocío proveniente de estas fuentes	0.40†

*. Adaptado de la Referencia 7-9.

** Concreto con aire incluido.

† Si el recubrimiento mínimo requerido por el Reglamento ACI 318 Sección 7.7 se incrementa en 13 mm, entonces la relación agua-cemento se puede aumentar a 0.45, para los concretos de peso normal

Pero cuando la durabilidad no sea el factor de diseño de Concretos de Comportamiento Normal, la relación a/c deberá de elegirse con base en la resistencia a compresión del concreto. En tales casos la relación a/c y las proporciones de la mezcla deberán basarse en datos de campo adecuados o en mezclas de pruebas hechas con los materiales con los que verdaderamente se va

¹⁶ "Práctica para Dosificar Concreto Normal, Concreto Pesado y Concreto Masivo", Comité ACI-211-87, IMCYC, 1ª ed. (en español), 1989, México D.F., Ed. Limusa.

trabajar para determinar la relación entre la relación a/c y la resistencia (Figura 2.2).

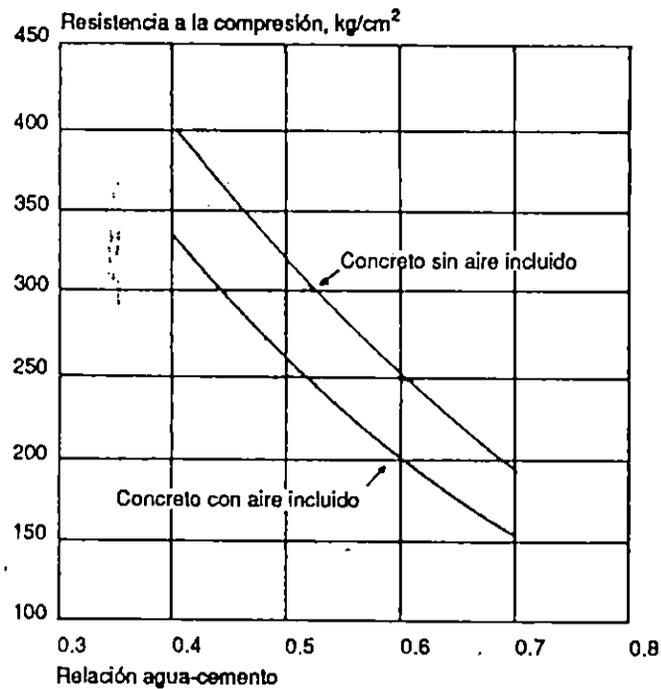


Figura 2.2 Curvas típicas de resistencia de mezclas de prueba o de datos de campo. Referencia Diseño y Control de Mezclas de Concreto, IMCYC, pp, 85.

La **Tabla 2.2** puede usarse para escoger una relación a/c, con respecto a la resistencia promedio requerida para mezclas de prueba, cuando no se disponga de ninguna otra información.

La relación de dependencia entre la resistencia del concreto y su relación agua-cemento se conoce no desde hace mucho tiempo (1918) en comparación con la utilización del concreto como material de construcción no natural.

Se podría indicar en base a todo lo anteriormente descrito que por la facilidad con que se determina, la resistencia a la compresión es la medida de la calidad del concreto empleada más universalmente. A pesar de ser una característica importante, otras propiedades tales como la durabilidad, la permeabilidad, y la resistencia al desgaste pueden tener igual o mayor importancia.

TABLA 2.2 CORRESPONDENCIA TÍPICA ENTRE LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO*.

Resistencia a compresión a los 28 días (kg/cm ²)	Relación agua - cemento en peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	---
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

* Los valores son resistencias promedios estimadas para concretos que contengan los porcentajes de aire requeridos. Para una relación A/C constante, la resistencia del concreto va disminuyendo conforme aumenta el contenido de aire.

La resistencia se basa en cilindros de 15 x 30 cm con curado húmedo durante 28 días a 23 ± 1.6 °C, de conformidad a la sección 9b de la norma ASTM C-31.

Para la correspondencia se supone un tamaño máximo de agregado de aproximadamente 19 mm (3/4") a 25 mm (1").

Referencia "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", (IMCYC), pp 85.

Dentro del rango normal de resistencias empleadas en la construcción con CCN, la resistencia a la compresión se relaciona inversamente proporcional con la relación A/C.

Para un concreto plenamente compactado fabricado con agregados limpios y sanos, la resistencia y otras propiedades deseables del concreto, bajo condiciones de trabajo dadas están gobernadas por la cantidad de agua de mezclado que se utiliza por unidad de cemento.

Aún cuando muchos coinciden en que la relación entre el agua y el cemento tiene una influencia fundamental en la resistencia del concreto, existe menos acuerdo respecto a la forma de la relación. La importancia de la cantidad de agua sobre la resistencia es el principal parámetro. Muchos prefieren usar la relación agua-cemento, pues la resistencia y otras propiedades deseables en el concreto se relacionan casi linealmente con este indicador.

La diferencia en la resistencia para una relación agua-cemento dada pueden ser resultado de cambios en el tamaño del agregado, granulometría, textura superficial, forma, resistencia, y rigidez; de la diferencia en los tipos y fuentes del cemento; del contenido de aire incluido; de la presencia de aditivos; y de la duración del período de curado¹⁷.

De acuerdo a las investigaciones, cuanto menor sea la relación agua-cemento del concreto, mayor será su resistencia, siempre que el agua añadida a la mezcla sea suficiente para hidratar convenientemente el cemento y completar las reacciones puzolánicas de las adiciones activas. Si el agua de mezcla es inferior a este valor, en el mejor de los casos no obtendremos incremento de resistencias, y además obtendremos unas mezclas no trabajables.

¹⁷ "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., Ed. IMCYC, Traducción directa del tema "Design and Control of Concrete Mixtures, Portland Cement Association (PCA), pp. 83 y 84.

2.4.2 PROPORCION OPTIMA DE RELACION AGUA-CEMENTO

Es necesario recordar que la resistencia a la compresión esta relacionada inversamente a la relación agua-cemento. Un parámetro que se relaciona también linealmente en el incremento de la resistencia es la Densidad Relativa de la Pasta de Cemento, la cual depende de la calidad y cantidad de los componentes reactivos y del grado al cual se completa la reacción de hidratación. La combinación de los dos efectos **agua/cemento y densidad de la pasta de cemento** proporciona una situación en la cual la relación agua/cemento influye en la resistencia solamente por encima de un cierto valor mínimo de esta relación.

2.4.3 POROSIDAD Y AIRE INCLUIDO

Uno de los componentes del concreto como lo hemos dicho antes es el aire presente en forma de burbujas que ocasiona que el concreto se caracterice por ser algunas veces un material poroso.

La porosidad se define como la relación entre el volumen de los poros de una masa y el volumen de dicha masa; generalmente al ser medida se expresa en porcentajes.

Es necesario aclarar que los poros que están dentro de los agregados no se consideran como poros en el concreto.

Los poros en el concreto pueden clasificarse en función de sus diferentes orígenes, sin embargo, es de nuestro interés el que se origina por aire

incorporado a la mezcla original¹⁸. Este es aire intencionalmente agregado mediante un agente adecuado a la mezcla del concreto . El debe ser diferenciado del aire atrapado: las burbujas del aire incorporado son discretas no capilares; y tienen un diámetro del orden de 0.5 mm (1000 micras = 1mm). Como se muestra en la **fig. 2.3** las burbujas de aire están bien distribuidas y no se encuentran interconectadas.



Figura 2.3 Sección pulida de un concreto con aire incluido vista a través del microscopio.
Referencia "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", (IMCYC), pp 49.

¹⁸ "Resistencia y Calidad del Concreto", Héctor Gallegos, Revista Construcción y Tecnología, N° 142, Noviembre de 1991.

El efecto deseado del aire incorporado en nuestro país es el de mejorar la trabajabilidad y obtener una relación agua/cemento mínima, su efecto secundario es reducir agua, aunque no substancialmente, la resistencia del concreto; también permite el obtener concretos más impermeables, esto ya que en El Salvador no nos interesa el aspecto del hielo y deshielo en el concreto que es el factor de mayor importancia para los países que sufren de cambios climatológicos bastante drásticos en los cuales puede nevar y haber temperaturas elevadas en un lapso de tiempo bastante corto.

Como podría estimarse, las únicas porosidades controlables en los procesos de diseño de mezclas y de la construcción con concreto son:

- 1- La que se deriva de la relación agua/cemento asignada al concreto; la cual a su vez se determina partiendo de la resistencia deseada, y
- 2- La que proviene de la compactación, la cual depende de la calidad de la construcción.

La resistencia del concreto esta relacionada de manera inversa con la porosidad total, así a más porosidad menor resistencia. Esta relación no es única del concreto sino que caracteriza a todo material frágil que contiene poros.

De este aspecto es importante señalar que la resistencia de la pasta del cemento sin poros es mucho mayor que la pasta con poros, es por eso que los objetivos fundamentales de la construcción con concretos normales

incluyendo la dosificación, el mezclado, colocación y compactación sea la de reducir la porosidad al mínimo posible.

Completando este análisis una pregunta pertinente que debe ser respondida es ¿porqué y en qué forma debe reducirse la porosidad de la resistencia?, la respuesta es que lo hace de dos maneras : la primera que se descubre intuitivamente, es porque reduce el volúmen de material resistente, o lo que es lo mismo, porque en cualquier sección transversal hay menos área neta de material resistente. Este efecto explicaría reducciones de resistencia directamente proporcionales al aumento de la porosidad; pero se puede comprobar que la proporción de pérdida de resistencia es considerablemente mayor que la proporción de aumento de la porosidad; esto conduce a precisar la segunda y más crítica, forma: concentración de esfuerzos mirada desde el punto de vista de los materiales frágiles, es simplemente un mecanismo de transformación de energía de fractura; por ello tiene el efecto de acelerar la propagación de las microfisuras. Estas se encuentran en el origen mismo del mecanismo de falla del concreto.

2.4.4 TEMPERATURA

La temperatura es el parámetro más importante que define la cantidad de daños en el concreto fresco debido a la formación de grietas por contracción plástica, que generalmente se presentan en la superficies horizontales de un

colado de concreto normal. Por lo común se desarrollan en el momento en que el brillo del agua desaparece de la superficie del concreto.

Al momento de realizar un colado, es deseable una temperatura de 10 a 16°C , aunque esto no siempre es posible. Muchas especificaciones sólo exigen que cuando se coloque el concreto tenga una temperatura menor de 32°C.

A medida que aumenta la temperatura del concreto, se presenta una pérdida en el revenimiento que a menudo se compensa con la poca recomendada práctica de agregar más agua a la obra. A mayores temperaturas se necesitan mayores cantidades de agua que la que requerida a bajas temperaturas para mantener un revenimiento constante. Si se agrega más agua al concreto, origina una nueva relación A/C y en consecuencia una menor resistencia en el concreto endurecido a cualquier edad; afectando contrariamente otras propiedades en dicho concreto. Aunque es necesario aclarar que estas propiedades siempre hubieran resultado afectadas, como no se le hubiera agregado agua, debido a la mayor temperatura.

Esta práctica es fácilmente llevada a cabo; pero como se ha explicado antes; un concreto entre más sólido es, posee más capacidad de carga, aunque el principal propósito de este trabajo es comprobar si ciertamente el concreto entre menos aire incluido tiene, ¿será más resistente? o ¿deberíamos compensar esa falta de aire, producto de aumento de temperatura, para que el aire introducido en el concreto llegue a ser igual al de un CCN, colado en condiciones

normales? o simplemente ¿tomar medidas de precaución y aplicar métodos efectivos de curado?

2.4.5 VELOCIDAD DE EVAPORACION.

La velocidad de evaporación depende de la temperatura del aire, de la humedad relativa, de la temperatura que tenga la superficie de concreto y de la velocidad del viento sobre la misma superficie.

Con una temperatura del aire y del concreto de 32-2°C una humedad relativa del 10% y una velocidad del viento de 40.2 km/h, la velocidad de evaporación es de 50 veces más que una temperatura del aire y del concreto de 21-1°C, una humedad relativa del 70% y sin viento. Aunque se utilicen los mismos materiales, proporciones, métodos de mezclado, manejo, acabado y curado; pueden aparecer grietas en un día determinado pero no en el siguiente, lo que con toda probabilidad es el resultado del cambio en las condiciones ambientales, que afectan la velocidad de evaporación de la superficie del concreto¹⁹.

Si la velocidad de evaporación excede 0.5 kg/m²/h, es posible que se presenten agrietamientos; pero si sobrepasa 1kg/m²/h es necesario tomar

¹⁹ "Control del Agrietamiento del Concreto en las Obras", Walter H. Price, Revista IMCYC N°134, Junio 1982.

medidas serias y veraces que puedan garantizar el correcto funcionamiento del tipo de estructura que se este colando.

2.5 COMPONENTES DE LA MEZCLA

El concreto como ya se ha descrito anteriormente, es un sistema heterogéneo compuesto por materiales cementantes, agregados finos y gruesos, agua y en algunos casos aditivos.

Los materiales cementantes son sustancias que por sí solas tienen propiedades hidráulicas cementantes (fraguan y endurecen en presencia del agua).

En la elaboración de concretos resistentes a las altas temperaturas y a los concretos con aire incluido se vuelve necesario usar arenas y agregados gruesos sanos, limpios y muy bien graduados, cuya superficie garantice una perfecta adherencia a la pasta de cemento; es indispensable el empleo selectivo de materiales ; entre otras características. En lo que se refiere a materiales, es primordial una cuidadosa selección, tanto de los agregados como del cemento.

2.5.1 CEMENTO

Existen variedades y tipos de cemento utilizados en la industria de la construcción y son empleados según el caso y la necesidad que se presente, pero para nuestro estudio se da importancia al Cemento Portland Tipo I, porque constituye en nuestro medio un cemento de uso general.

El cemento Portland Tipo I es un cemento hidráulico compuesto principalmente de silicatos de calcio

No es un compuesto químico

simple, sino que es una mezcla de muchos compuestos. De los cuales cuatro de ellos conforman el 90% o más del peso del cemento Portland y son: el silicato tricálcico (C_3S), el silicato dicálcico (C_2S), el aluminato tricálcico (C_3A) y la aluminoferrita tetracálcica (C_4AF). Además de estos componentes principales existen algunos otros que desempeñan papeles importantes en el proceso de hidratación. Los diversos tipos de cemento Portland contienen los mismos cuatro compuestos principales; pero en proporciones diferentes.

Los dos silicatos de calcio, constituyen el 75% del peso del cemento Portland, reaccionando con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidróxido de calcio y el hidrato de silicato de calcio, este último es el componente cementante más importante en el concreto.

Las propiedades ingenieriles del concreto: fraguado, endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional; principalmente dependen del gel del hidrato de silicato de calcio.

Es de aclarar que la hidratación es el proceso en el cual el agua reacciona químicamente con los compuestos antes mencionados, el cemento en combinación con el agua, la gel ó pasta (cemento y agua) a los cuales para formar un concreto se le agregan los agregados (arena y grava, piedra triturada u otro material granular) actuando como adhesivo, uniendo a todas las partículas de agregado. Cada partícula de cemento forma un aumento sobre su superficie, mismo que gradualmente se extiende hasta enlazarse con el aumento de otras

partículas de cemento o hasta que se adhiere a las sustancias adyacentes. La misma constitución del concreto da como resultado la progresiva rigidización, endurecimiento y desarrollo de resistencia, ese proceso de rigidización o modo de endurecer ocurre dentro de las primeras tres horas, conociendo en el concreto aquella pérdida de trabajabilidad; pero el normal endurecimiento dependerá de la composición y finura del cemento, de las proporciones de la mezcla y de las condiciones de temperatura, posteriormente el concreto fragua y comienza a endurecer. Cuando el concreto fragua, su volúmen bruto permanece casi inalterado; pero el concreto endurecido contiene poros de agua y aire, mismos que no tienen resistencia alguna y es necesario analizar esta situación; ya que la resistencia está en la parte sólida de la pasta, en su mayoría en el hidrato del silicato de calcio y en sus fases cristalinas.

Entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho mas resistente es el concreto, en tanto el desarrollo de la hidratación y siempre que se dispongan de condiciones favorables de humedad y temperatura (curado), el concreto se vuelve más duro y más resistente.

La mayor parte de la hidratación y el desarrollo de la resistencia tiene lugar durante el primer mes del ciclo de vida del concreto; pero continúa aunque más lentamente, durante un largo período. Se ha registrado en investigaciones de laboratorio incrementos de resistencia durante un período de 50 años.

2.5.2 AGREGADOS

Se entiende como agregados para el concreto a los materiales como la arena, grava, piedra triturada y escorias; pero centraremos nuestra atención en la arena y grava por ser los materiales que constituyen un concreto de normal comportamiento (CCN).

Puesto que los agregados ocupan tres cuartas partes del volumen del concreto (aproximadamente 75%), es importante el papel que desempeñan como ingrediente principal y es de esperar que las propiedades de estos agregados tengan un notable efecto sobre las propiedades del concreto, en las proporciones de la mezcla y en la economía de este.

Mucho es de esperar en el concreto su durabilidad y es por eso necesario someter a prueba la calidad de los agregados, debiendo cumplir ciertas reglas para darles un uso óptimo en ingeniería, deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos.

La identificación de los constituyentes de un agregado no puede proporcionar por sí solo, fundamentos para predecir el comportamiento durante su servicio. A menudo la inspección visual revela debilidades en los agregados gruesos, tal como hemos dicho anteriormente, la arena y la grava producen concretos normales que pesan aprox. 2160 a 2560 kg/m^3 . Estos agregados de

peso normal deben cumplir la norma ASTM C-33, que limita las cantidades permisibles de sustancias deletéreas e informa de los requisitos de los materiales.

2.5.2.1 TIPOS DE AGREGADOS

Anteriormente se ha descrito que hay dos tipos de agregados para el concreto, estos son la arena y la grava que respectivamente son llamados agregado finos y agregados gruesos.

2.5.2.1.1 AGREGADOS FINOS

Los agregados finos son aquellos que están determinados según la norma ASTM C-33 en los cuales, las aberturas varían desde la malla #100 (150 micras) hasta 9.52 mm (3/8") conocidos como arenas. Esta norma permite un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino, pero las especificaciones de otras organizaciones son a veces más limitantes.

2.5.2.1.2 AGREGADOS GRUESOS

Los agregados gruesos, también llamados gravas lo constituyen los materiales que quedan retenidos en la malla de 9.52 mm (3/8") en adelante. En nuestro medio de manufactura, las conocemos como grava #0 (conocida comúnmente como chispa), grava #1, grava #2 y grava #3, clasificadas de

acuerdo al tamaño máximo en pulgadas, independientemente de su forma ya que pueden ser angulares, arredondadas y de forma intermedia.

2.5.2.1.2.1 PROCESAMIENTO Y MANEJO DE LOS AGREGADOS GRUESOS

La mayoría de los agregados gruesos que se utilizan son a base de trituración de piedra. Las características físicas y químicas básicas de los agregados no pueden ser alteradas por el procesamiento, aunque pueden reducirse las cantidades de ciertas partículas perjudiciales. La preparación y manejo afectan propiedades del agregado tan importantes como la graduación, uniformidad del contenido de humedad, limpieza y, en el caso de agregado triturado, la forma de las partículas; de este modo dichos procesos tienen influencia importante en la calidad del concreto.

El procesamiento de los agregados se puede dividir en dos categorías:

- 1- Procesamiento básico para lograr, principalmente, gradación y limpieza adecuada.**

Dentro de los procesos típicos usados para obtener agregados de granulometría y limpiezas satisfactorias están las siguientes:

- A- Trituración y molienda.** La piedra, la escoria y las gravas de partículas grandes requieren trituración para obtener la distribución de tamaño deseada, corriéndose a veces el peligro de producir fragmentos angulares, aumentar indeseablemente la cantidad de finos y producir formas

indeseables de partículas; que pueden disminuir la manejabilidad o aumentar el requerimiento de agua del concreto.

- B- **Tamizado.** Proceso primario para producir la graduación deseada en el rango de tamaños correspondiente al agregado grueso. Este tamizado en gravas se realiza por lo general aplicando agua para lavar material y acelerar la separación de la arena de los tamaños gruesos.
 - C- **Lavado.** Se hace para retirar el limo, la arcilla y el exceso de arena fina, durante el tamizado; pero si las impurezas están firmemente adheridas y el lavado ordinariamente no logra limpiar adecuadamente, entonces se requiere de equipos especiales.
- 2- **Beneficio para retirar elementos perjudiciales.** "Beneficio", es el término usado en la industria para describir el mejoramiento de un material por la remoción de fracciones indeseada. El éxito de un proceso depende de las diferencias significativas en las propiedades físicas de las componentes deseables e indeseables tales como: dureza, densidad y elasticidad. En este método se han utilizado con variable éxito, los siguientes procesos:
- a- **Trituración.** Se puede usar para reducir las cantidades de partículas blandas de los agregados gruesos. La trituración selectiva es el único

proceso disponible para lograr que un material inconsistente se pueda utilizar.

b- Separación por peso específico. En muchos depósitos, las fracciones perjudiciales son de peso específico significativamente menor que el del material de mejor calidad adjunto, Para separar materiales con diferentes pesos específicos, se puede emplear:

i) Agua y aire a alta velocidad. Los materiales livianos, tales como la madera, basuras diversas y otros materiales livianos, se pueden remover por medio de una corriente de agua en movimiento rápido que arrastre el material que pueda flotar mientras se hunde el material más pesado. Solamente las diferencias grandes en peso específico permitirán una separación eficiente.

ii) Clasificadoras hidráulicas. Se pueden usar para separar materiales con diferencias en peso específico mucho menores que las requeridas por la separación con agua a alta velocidad.

Una clasificadora hidráulica es esencialmente una caja con fondo perforado en el cual se forma una caja separadora por medio de una corriente de agua pulsante

iii) Separación por medios densos. Para separar materiales con diferentes pesos específicos, se puede emplear también agua en

la que se encuentran en suspensión algunos minerales pesados. Por este sistema la diferencia entre pesos específicos pueden ser substancialmente menores que las requeridas por el buen funcionamiento de los clasificadores hidráulicos. Las fracciones más pesadas se hunden y el material más liviano flota.

- c- **Fraccionamiento Elástico.** Es un proceso recientemente desarrollado de aplicabilidad limitada. Consiste en dejar caer las partículas de agregado sobre una placa de acero en la cual rebotan las de más bajo módulo de elasticidad, que son presumiblemente las menos deseables; recogiendo las porciones de diferente rebote, la separación se consigue por medio de compartimientos separados. Las limitaciones están relacionadas con la forma de las partículas, con los bordes agudos y con ciertas rocas perjudiciales que tienen buenas propiedades elásticas²⁰.

2.5.2.2 RESISTENCIA MECANICA DE LOS AGREGADOS

Las clases de resistencias que se consideran generalmente son a compresión y a flexión. La resistencia del agregado influye en la resistencia del concreto, pero para la mayoría de los agregados la influencia es relativamente

²⁰ "Selección y Uso de Agregados para Concreto", Informe del Comité ACI 621, Notas Técnicas de ICPC N° 7.

poca comparada con el efecto que tiene la resistencia de las pastas de cemento con las cuales se mezclan los agregados.

2.5.2.3 ADHERENCIA

La adherencia entre la pasta y el agregado tiende a establecer un límite superior de la resistencia del concreto que se puede fabricar con un conjunto dado de materiales particularmente en el caso de la resistencia a la flexión. La textura superficial del agregado y su limpieza influyen en la adherencia y a este respecto se pueden hacer las siguientes observaciones:

- 1- Normalmente los agregados de superficies rugosas presentan mayor adherencia que los de superficies lisas.
- 2- Los materiales que pueden recubrir el agregado durante el mezclado pueden interferir con la adherencia; sin embargo, muchos de ellos no tienen efectos perjudiciales.
- 3- Los recubrimientos que se desprenden durante el mezclado, aumentan los finos de la mezcla.
- 4- Los que permanecen en la superficie de las partículas de agregado después del mezclado y colocación no tiene efecto apreciable, a menos que sean de tal naturaleza que interfieran con la adherencia o sean de una composición química tal, que produzcan reacción perjudicial con los álcalis del cemento.

- 5- Los recubrimientos arcillosos disminuyen la adherencia y los recubrimientos de polvo no adherente aumentan la demanda de agua como consecuencia del aumento de los finos.

2.5.2.4 GRANULOMETRIA

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como lo determina la norma ASTM C-136. La distribución de las partículas por tamaño tiene un notable efecto en la cantidad de agua necesaria para un concreto hecho con un determinado agregado y por lo tanto influye en todas las propiedades del concreto relacionadas con su contenido de agua. También tiene un importante efecto sobre las características de manejabilidad y acabado del concreto fresco. Podría decirse que el ensayo más frecuente para agregados es el análisis por tamizado, mediante el cual se determina directamente la distribución de las partículas de acuerdo con su tamaño y es así como tenemos los agregados finos y agregados gruesos; arena y grava respectivamente. Esto se hace pasando muestras del agregado a través de un juego de tamices.

2.5.2.4.1 GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS FINOS

La granulometría más conveniente para el agregado fino, depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y del tamaño máximo del agregado grueso,

la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En conclusión, si la relación agua-cemento se mantiene constante y la relación del agregado fino a grueso, se escoge correctamente; se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría, sin tener un efecto apreciable en la resistencia.

La granulometría del agregado fino dentro de los límites de la norma ASTM C-33, generalmente es satisfactoria para la mayoría de concretos.

Los límites de la norma ASTM C-33 con respecto al tamaño de las cribas se indican a continuación:

TAMAÑO DE LA MALLA	% QUE PASA (EN PESO)
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (Nº4)	95-100
2.36 mm (Nº8)	80-100
1.18 mm (Nº 16)	50-85
0.60 mm (Nº 30)	25-60
0.30 mm (Nº 50)	10-30
0.15 mm (Nº 100)	2-30

Tabla 2.3 Granulometría de los agregados finos. Referencia Diseño y Control de Mezclas de Concreto (IMCYC), pp. 35.

Las especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30 mm (Nº 50) y de 0.15 mm (Nº 100) sean reducidas a 0.5% y 0% respectivamente, siempre y cuando el agregado se emplee en un concreto con aire incluido que tenga o mejor dicho que contenga más de 273 kg de cemento por metro cúbico (m^3) y tenga un contenido de aire superior al 3%.

Para este caso no se tendrá contenidos de aire superior al 3%, eso implicaría que no se reducirán dichos porcentajes mínimos de material.

2.5.2.4.1.1 MODULO DE FINURA

El módulo de finura es un índice de la finura del agregado, entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado.

El módulo de finura se obtiene conforme a la norma ASTM C-125 sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100, dichas mallas son: 0.15 mm (N°100), 0.30 mm (N°50), 0.60 mm (N°30), 1.18 mm (N°16), 2.36 mm (N°8) y 4.75 mm (N°4) para la arena.

El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

2.5.2.4.2 GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS GRUESOS

La norma ASTM C-33 permite un amplio rango de granulometrías y una diversidad de tamaños de granos. Los diseños de mezcla se vuelven confiables muchas veces y para producir un concreto normal no es necesario agregar más cemento, debido a que la granulometría para un agregado grueso con un tamaño máximo puede variar dentro de un rango moderado, sin que se produzca dicha demanda de cemento y agua si la proporción de agregado fino a agregado total produce un concreto de buena trabajabilidad.

Ya que en el caso de que ocurriesen grandes variaciones, se debe cambiar las proporciones de la mezcla; debido a esto es necesario no cambiar el manejo, ni el lugar de obtención de estos agregados para que todo se mantenga uniforme.

El tamaño del agregado grueso tiene su economía; comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño, que para mayores.

En la figura 2.4 se muestra el agua y cementos necesarios para un revenimiento de aproximadamente 7.5 cm para un amplio rango de tamaño de agregado grueso.

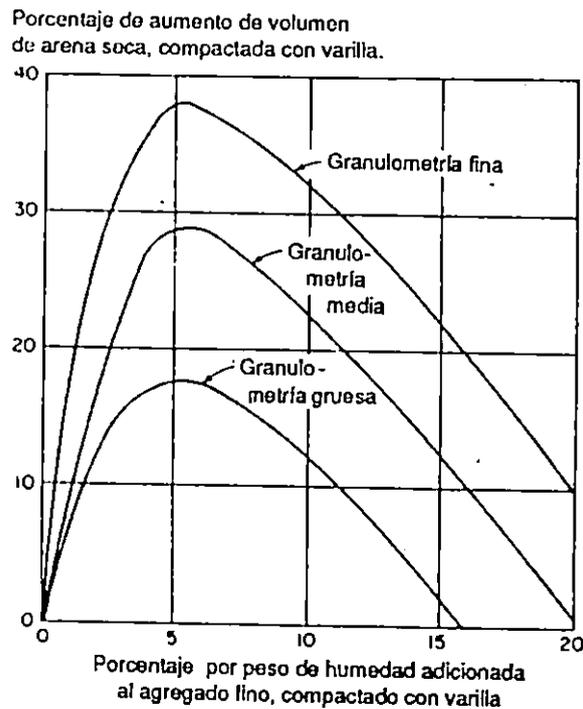


Figura 2.4 La humedad superficial en el agregado fino produce un abundamiento considerable, cuya magnitud varía con la magnitud de la humedad y con la granulometría del agregado. Referencia: PCA Major Series 172 y PCA ST20 y "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", IMCYC, pp. 39.

La figura muestra que para una relación A/C, dada la cantidad necesaria de cemento disminuye a medida que aumenta el tamaño máximo de agregado grueso.

Debido a la costumbre a veces hay confusión sobre lo que se quiere decir con el tamaño máximo del agregado.

La norma ASTM C125 y el ACI 126 definen a este término y lo diferencian del tamaño máximo nominal.

El tamaño máximo de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual todo el agregado debe de pasar. El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado.

2.6 ADITIVOS

La norma ASTM C-125 y la ACI-sp-19²¹ definen un Aditivo como: "todos aquellos materiales a excepción del cemento hidráulico, el agua y los agregados que se adicionan al concreto, al mortero o a la lechada de cemento, inmediatamente antes o durante el mezclado²².

Los aditivos pueden emplearse para modificar las propiedades del concreto haciéndolo más adecuado para determinado trabajo, por economía, o con otros propósitos tales como el ahorro de energía, desencofrado rápido y otros.

Los aditivos para concreto de acuerdo con su función, se clasifican así:

- 1- Aditivos Incorporadores de Aire
- 2- Aditivos Reductores de Agua
- 3- Aditivos Retardantes
- 4- Aditivos Acelerantes
- 5- Aditivos Superplastificantes
- 6- Aditivos Minerales finamente divididos
- 7- Aditivos diversos, para mejorar la trabajabilidad, la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, colorantes, inhibidores de la corrosión, y de ayudas para bombeo.

²¹ "Special Publication-19", Publicación Especial del American Concrete Institute (ACI).

²² "Aditivos para Concreto", IMCYC, Ed. Limusa, Primera Impresión, México, 1991, pp19.

Los aditivos se pueden clasificar en:

- **ADITIVOS QUIMICOS.** Normados por las especificaciones ASTM C-494, los cuales se clasifican en los siguientes tipos:
 - TIPO A: Aditivos Reductores de Agua,
 - TIPO B: Retardantes o Reguladores de Fraguado,
 - TIPO C: Acelerantes,
 - TIPO D: Reductores de Agua Retardantes,
 - TIPO E: Reductores de Agua y Acelerantes,
 - TIPO F: Reductores de Agua de Alto Rango o Superfluidificantes,
 - TIPO G: Reductores de Agua de Alto Rango y Retardantes.

Todos los anteriores se relacionan con la clasificación anterior a los numerales 2 al 5.

- **ADITIVOS VARIOS.** También se les podría llamar como naturales o no químicos, estos son los que se denominan en la anterior clasificación como los numerales 1, 6 y 7.

Los aditivos deben emplearse cuando se desee producir un cambio específico en las propiedades del concreto fresco o fraguado. Deben utilizarse de

acuerdo a las instrucciones y principios del informe del Comité 212²³. Si se va a utilizar más de un aditivo en la misma mezcla de concreto, deberán dosificarse por separado. Un segundo aditivo puede alterar, en gran medida, la dosificación requerida de ambos aditivos, por lo que se recomienda hacer pruebas preliminares.²⁴

Para comprender mejor la acción de los aditivos y como mejoran las propiedades físicas del concreto analizaremos brevemente el uso de los diferentes tipos de aditivos.

- **ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA**

Los aditivos reductores de agua son sustancias que provocan una gran dispersión de las partículas de cemento, consiguiéndose con un menor contenido de agua una manejabilidad dada o un incremento importante de la manejabilidad de la mezcla para un contenido de agua constante.²⁵

De acuerdo con esto un aditivo reductor de agua se puede usar en un concreto con una de las finalidades siguientes:

²³ "Aditivos para el Concreto", Comité ACI 212, Procedimientos Vol. 60, núm. 11, noviembre de 1963, pp 1481-1524.

²⁴ "Construcción de Losas y Pisos de Concreto", Comité ACI 302 IR-80, IMCYC, Ed. Limusa, pp 48.

²⁵ "Manual Técnico", Sika Aditivos, Sika Andina, S.A. (Publicaciones Cultural, Bogotá-Colombia), Abril de 1989, pp 168.

- a) **Reducir agua.** La reducción de agua tiene como objetivos incrementar la resistencia del concreto sin aumentar el contenido de cemento y disminuir la porosidad de la pasta, haciendo más impermeable y durable el concreto.
- b) **Plastificar.** En este caso la cantidad de agua permanece constante, no se obtienen incrementos de resistencia, pero la manejabilidad de la mezcla se ve incrementada facilitando la colocación y la compactación del concreto.
- c) **Economizar cemento.** Se reduce el agua y cemento. La manejabilidad se mantiene, así como la resistencia a la compresión.

En base a lo anterior se podría decir que: los aditivos reductores de agua se emplean para disminuir la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto con un cierto movimiento, reducir la relación agua/cemento, o para aumentar el revenimiento. Los reductores de agua típicos disminuyen el contenido de agua aproximadamente del 5% al 10%. Los reductores de agua de alto rango reducen el contenido de agua de 12% a 30% (aditivos superplastificantes). El hecho de agregar un aditivo reductor de agua a una mezcla sin haber disminuido el contenido de agua puede producir una mezcla con un revenimiento mucho mayor. No obstante, la velocidad en la pérdida de revenimiento no se reduce, sino que incluso aumenta en muchos casos. La pérdida rápida de revenimiento, tiene como resultado una reducción en la trabajabilidad así como un menor tiempo para colocar el concreto.

Dependiendo de su composición química, los aditivos reductores de agua pueden disminuir, aumentar o no tener ningún efecto en el sangrado. Muchos aditivos reductores de agua pueden también retardar el tiempo de fraguado de concreto.

- **ADITIVOS RETARDANTES Y REDUCTORES DE AGUA RETARDANTES**

Los aditivos Retardantes se emplean para aminorar la velocidad de fraguado del concreto, es decir alargar el tiempo en que el concreto permanece fresco.²⁶ Las temperaturas altas en el concreto fresco (30 a 32 °C y mayores), son frecuentemente la causa de una gran velocidad en el endurecimiento, lo que provoca que el colado y el acabado del concreto sea difícil. Uno de los métodos más prácticos para contrarrestar éste efecto consiste en hacer descender la temperatura del concreto enfriando el agua de mezclado o los agregados. Los aditivos Retardantes no bajan la temperatura inicial del concreto.

La necesidad de retardar una mezcla aparece cuando:

- Se está transportando concreto a largas distancias.
- Para compensar el efecto acelerante que tiene el clima cálido en el fraguado del concreto.

²⁶ "Tecnología del Concreto", Curso Teórico Práctico, ASIA-FEPADE, Marzo 1992, Tabla N° 2, pp. N° 3, Fabricación de Cemento en El Salvador.

- Para compensar el efecto acelerante que tiene el clima cálido en el fraguado del concreto.
- Cuando grandes masas de concreto deban fraguar simultáneamente.
- Se quiere evitar una junta fría.
- Cuando la colocación del concreto es lenta.

Normalmente se producen y suministran aditivos que además de retardar plastifican (reducen agua) cuando es necesario altos requerimientos de manejabilidad de algunas obras en clima cálido o cuando se bombea concreto.

En estos casos se parte de un revenimiento alto, el cual se consigue con la acción plastificante del aditivo, y se completa con el retardado de fraguado.

- **ACELERANTES Y REDUCTORES DE AGUA ACELERANTES**

Los aditivos acelerantes se utilizan en la construcción con el fin de provocar un fraguado y un desarrollo de resistencias más rápidos en el concreto.

Las razones que obligan a acelerar una mezcla pueden ser:

- Desencofrar más rápidamente (prefabricados)
- Dar al servicio una estructura a edades más tempranas
- Fundir el concreto a bajas temperaturas

Una variedad de los acelerantes son los reductores de agua/acelerantes que además de acelerar, reducen agua (plastifican), siendo posible entonces aumentar la manejabilidad de la mezcla para una mayor facilidad de colocación ó reducir agua para la misma consistencia del concreto sin aditivo, pero beneficiando el concreto en lo que se refiere al incremento de la resistencia final.

- **REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO O SUPERPLASTIFICANTES**

Los aditivos reductores de agua de alto rango ó llamados "aditivos superplastificantes" cubren las especificaciones ASTM C-1017 y C-494 Tipos F y G, que se agrega a los concretos de revenimiento y relación a/c bajos a normales para producir concretos fluidos de alto revenimiento. Los concretos producidos son concretos muy fluidos pero trabajables los cuales se pueden colocar con poca o ninguna vibración o compactación, pudiendo quedar todavía libres de sangrado o segregación excesivos. El concreto fluido se emplea:

- (1) En colados de secciones delgadas,
- (2) En áreas que tengan el acero de refuerzo cercanamente espaciado o muy congestionado,
- (3) En colados con tubo-embudo (bajo el agua),
- (4) Como concreto bombeable para disminuir la presión de la bomba, obteniendo con ello un aumento en la distancia de bombeo horizontal y vertical,
- (5) En las áreas donde los métodos convencionales de consolidación no se puedan emplear o resulten poco prácticos, y

- (6) Para aminorar los costos de manejo.

Con la adición de un superplastificante a un concreto de revenimiento de 7.5 cm se puede producir fácilmente un concreto con 22.5 cm de revenimiento. El concreto fluido queda definido por las especificaciones ASTM C-1017 como aquel concreto que tiene un revenimiento mayor a los 19 cm (7.5 pul) y que todavía conserva sus propiedades cohesivas. Los revenimientos excesivamente altos, mayores o iguales de 25 cm (10 pul), pueden provocar que el concreto se segregue.

Los reductores de agua de alto rango (ASTM C-1017 y C-494 Tipos F y G), también se pueden emplear para fabricar concretos de baja relación agua-cemento y de alta resistencia con trabajabilidades dentro de los límites normalmente especificados para consolidar por medio de vibración interna. Con el uso de estos aditivos se puede obtener una reducción de agua del 12 al 30%. Esta reducción en el contenido de agua permite producir concretos con:

- (1) Resistencias últimas a compresión arriba de 700 kg/cm²,
- (2) Mayores adquisiciones de resistencia a edad temprana, y
- (3) Una menor penetración del ión cloruro así como otras propiedades favorables que están asociadas con los concretos que tienen relaciones a/c bajas.

La efectividad del superfluidificante se eleva con el aumento en la cantidad de cemento y finos del concreto. También se modifica con el revenimiento inicial del cemento.

El concreto con superplastificante tiene vacíos de aire incluido de mayor tamaño que un concreto normal con aire incluido.

Los aditivos reductores de agua de alto rango o superplastificantes son de una categoría superior a la de los reductores de agua normales. Las razones por las cuales se usan en el concreto son básicamente las mismas de los reductores de agua normales. La diferencia estriba en los efectos alcanzados en reducción de agua o incremento de la manejabilidad. La **Tabla 2.4** muestra las diferencias principales entre las dos categorías de aditivos reductores de agua.

ADITIVO REDUCTOR DE AGUA	REDUCCIÓN DE AGUA	INCREMENTO DE LA Sin Aditivo	MANEJABILIDAD Con Aditivo
Plastificante	Hasta 15%	7 cm	15 cm
Superplastificante	Hasta 30%	7 cm	25 cm

TABLA 2.4 Reducción de agua en porcentajes en la utilización de Aditivos reductores de agua. Tomada del "Manual Técnico" de aditivos de Sika, Sika Andina.

Es necesario aclarar que las mezclas con reductores de agua de alto rango o **Superplastificantes** son exactamente las mismas mezclas superfluidificadas o superplastificadas y en lo que varía es el nombre con que es conocida en los diferentes países del mundo.

- **ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE E INCLUSORES DE AIRE-REDUCTORES DE AGUA.**

Los aditivos inclusores de aire se utilizan para retener intencionalmente burbujas microscópicas de aire en el concreto. La inclusión de aire mejorará drásticamente la durabilidad de los concretos que estén expuestos a la humedad durante los ciclos de congelación y deshielo (como por ej. concretos para uso en patios, banquetas, estacionamientos, plataformas, etc. El aire incluido mejora considerablemente la resistencia del concreto contra el descascaramiento de la superficie causado por los productos químicos deshelantes. También se ve mejorada la trabajabilidad del concreto fresco, el sangrado se reduce o se llega a eliminar, la segregación se minimiza, y se recomienda porque mejoran el acabado en concretos no expuestos a la congelación.

El concreto con aire incluido, contiene diminutas burbujas de aire distribuidas uniformemente en toda la pasta de cemento. La inclusión de aire en el concreto, se puede producir usando un cemento inclusor de aire, o con la distribución de un aditivo, o con una combinación de ambos métodos. Un cemento inclusor de aire es un cemento Portland con una adición inclusora de aire molida conjuntamente con el clinker durante su fabricación. Por otra parte, los aditivos inclusores de aire se agregan directamente a los componentes del concreto antes o durante el mezclado. Las especificaciones así como los métodos de ensaye para los aditivos inclusores de aire se presentan en las normas ASTM C-260 y C-233. Las adiciones inclusoras de aire, deben cumplir con los requisitos de la

norma ASTM C-266. Los requisitos aplicables a los cementos inclusores de aire se presentan en la norma ASTM C-150.

Los contenidos de aire, recomendados para varias condiciones de exposición, se presentan en la tabla 2.5 para concretos normales y pesados.

El hecho de que algunas estructuras de concreto resistan sin deteriorarse, las acciones del medio ambiente (hielo, deshielo, ataque de sales, etc.), mientras que otras de similares características y edad ya habían tenido que repararse o presentaban graves daños, llamó la atención de los investigadores, por los años 30's, en los Estados Unidos.

Después de muchos análisis se encontró que la única diferencia apreciable entre los concretos deteriorados y los concretos durables la constituía la presencia en éstos últimos de una gran cantidad de pequeñas burbujas de aire, provenientes de la contaminación de las mezclas de concreto con aceites y jabones usados en la limpieza de los equipos. Posteriormente vino a demostrarse la acción positiva dentro del concreto de las burbujas de aire incorporado.

En un concreto con aire incorporado, las burbujas evitan la formación e intercomunicación de los capilares formados por las gotas de agua libre al viajar hacia la superficie del concreto (exudación).

Tamaño Máximo Nominal del Agregado (pul)	Cemento (lbs/yd ³)	Tamaño Máximo Nominal del Agregado (mm)	Cemento (kg/m ³)
1½	470	38	279
1	520	25	308
¾	540	19	320
½	590	13	350
⅜	610	10	362

TABLA 2.5 REQUISITOS MINIMOS DE CONCRETO PARA CCN. Referencia: "Construcción de Losas y Pisos de Concreto", Comité ACI 302 IR-80, IMCYC, Ed. Limusa, Tabla 5..2.4 Requisitos Mínimos de Concreto para el método "A", pp 62.

Las burbujas, de un diámetro ligeramente mayor que el de los capilares, al cabecearlos, actúan como cámaras de alivio de la expansión producida por el hinchamiento del agua al congelarse o el de las sales al desecarse dentro de los capilares del concreto. En los concretos sin aire incorporado dicho hinchamiento induce esfuerzos de tensión que fisuran el concreto dando paso a la corrosión y al deterioro de la estructura.

Hoy en día se cuenta con sustancias químicas que añadidas al concreto durante su elaboración permiten la incorporación controlada de cierto volumen de aire, representado por burbujas de aire de diámetros inferiores a los 0.3 mm, estables y uniformemente repartidas en la mezcla. A estas sustancias se les conoce como Aditivos Incorporadores de Aire, cuya eficiencia como impermeabilizantes del concreto y como protección contra el ataque de sustancias agresivas está plenamente comprobada. Para esto se utilizará el aditivo Sika-Aer, el cual se detallará más adelante.

Efectos de la inclusión de aire en el concreto fresco:

- Aumento de la manejabilidad de la mezcla
- Retención de agua de amasado
- Mejora sustancial de la cohesión de la mezcla
- Minimización del fenómeno de exudación
- Se evita la segregación de la mezcla durante el transporte

Efectos de la inclusión de aire en el concreto endurecido:

- Incremento de la durabilidad. El aire incluido aumenta la resistencia del concreto a los ciclos de hielo y deshielo y aumenta la resistencia al ataque químico.
- La impermeabilidad del concreto aumenta al actuar las burbujas de aire como tapones que cabecean los capilares del concreto cerrando el camino no sólo al paso del agua sino también de las sustancias agresivas.
- Reducción de la resistencia a la compresión. Esto es debido a que la resistencia del concreto es función del volumen de los vacíos.

Para lograr la inclusión de aire a las diferentes tipos de mezclas se utilizará el **Aditivo Sika - Aer**, el cual se detallará en su contenido y su uso en el capítulo III de "Pruebas de Laboratorio y Diseño de Mezclas".

CAPITULO III

PRUEBAS DE LABORATORIO Y DISEÑO DE MEZCLAS.

Con el propósito de realizar la dosificación, calidad de los materiales, comportamiento del concreto fresco y endurecido, y resistencia del concreto expuesto a los cambios de temperatura propios de nuestro país, así como al efecto de la inclusión de aire en concretos normales, se realizaron las siguientes pruebas:

- Impurezas orgánicas del agregado fino (ASTM C-40)
- Análisis granulométrico del agregado grueso y fino y módulo de finura (ASTM C-136, C-33, C-125).
- Gravedad específica y absorción del agregado fino (ASTM C-128)
- Contenido de humedad del agregado grueso y fino (ASTM C-566)
- Gravedad específica y absorción del agregado grueso (ASTM C-127)
- Peso unitario del agregado grueso y agregado fino (ASTM C-29)
- Resistencia al desgaste. Ensaye de máquina de Los Angeles (ASTM C-131)
- Prueba de Revenimiento (ASTM C-143)
- Método de hechura y curado de especímenes de prueba en laboratorio (ASTM C-192)
- Método estándar de ensayo para resistencia a la compresión de cilindros de concreto (ASTM C-39)
- Método estándar de ensayo para resistencia a la tensión de cilindros de concreto. Prueba Brasileña (ASTM C-496)
- Método estándar de ensayo a la flexión en vigas de concreto (ASTM C-78)

3.1 PRUEBAS A LOS COMPONENTES

En este apartado del Capítulo III se detallará el desarrollo de las pruebas realizadas a algunos de los componentes del concreto, especialmente a aquellos que necesitan ser analizados, ya que son tomados de lugares que ^{no} garantizan su buen estado para ser utilizados, es decir que serán analizados los componentes pétreos que son los que abarcan aproximadamente el 75% del volúmen total del concreto, estos son llamados agregados. Además se mostrará los resultados en forma de gráficos o tablas.

3.1.1 CEMENTO

En la elaboración del concreto se utilizó cemento fabricado en el país como lo es el Cemento Portland Modificado Tipo I (PM), el cual se encuentra regulado por la Norma ASTM C-595, recordando que en El Salvador no existen normas propias o adoptadas oficialmente para el cemento o cualquier otro material de construcción; sin embargo, el fabricante Maya Supercemento garantiza que el producto supera lo establecido por las Norma antes mencionada (ASTM C-595-94). No se le realizaron pruebas por presentarse garantías de fábrica, tomándose la gravedad específica que el fabricante proporciona, la cual es: 3.1, la cual es la necesaria para el diseño de mezclas.

El cemento utilizado posee las propiedades ya conocidas del cemento Portland Tipo I, tales como: Aminorar Riesgos de Fisuración Menor Calor de Hidratación, Mayor Durabilidad ante Aguas Agresivas, Sulfatos, etc., Aumenta la

Impermeabilidad y la Elasticidad del Cemento a largo plazo (si se compara con el Cemento Portland Tipo I ASTM C-150). Por otra parte reduce un poco la resistencia a la compresión a edades tempranas, aumenta luego, e iguala al cemento Tipo I (ASTM C-150) a los 28 días²⁷, tomándose esto como garantía del buen funcionamiento de este tipo de cemento para CCN.

3.1.2 AGREGADO FINO

El agregado Fino a utilizar para el diseño de las mezclas de concreto proviene del banco del río Astoria, dpto. de La Paz, la cual es la arena utilizada por la Empresa Concretera "Mixto-Listo Protersa de C.V."

La arena que se ha utilizado en las pruebas de materiales y en las de dosificación se extrajo en la época de invierno, por lo que será un buen indicador de los resultados que en las diversas pruebas se obtengan, ya que el arrastre de partículas es mayor que en verano, lo que garantiza el continuo lavado y cambio de arena debido al constante movimiento de sus aguas, además se tomará en consideración la presunción de que el agua de este río no está contaminada en gran medida, y que se puede confiar en el agregado que de él se extrae; lo que se verificará más adelante cuando se realicen las pruebas de Impurezas Orgánicas.

²⁷Curso Teórico Práctico "Tecnología del Concreto", ASIA-FEPADE, Marzo, 1992, Tabla N° 2, pp. N°3, "Fabricación del Cemento en El Salvador".

En cuanto a las pruebas de Laboratorio de Agregados Finos, las muestras tomadas fueron representativas, lo primero que se hizo fue cuartear el agregado en una Cuarteadora Mecánica según lo exigido por la Norma ASTM C-702. Las pruebas realizadas al agregado fino son las que dan un indicativo para la obtención de mezclas de concreto; en resumen estas fueron las necesarias para realizar un diseño de mezcla: Análisis Granulométrico (ASTM C-136), Delimitación de los Límites del Análisis Granulométrico (ASTM C-33), Impurezas Orgánicas (ASTM C-40), Gravedad Específica y Absorción de los agregados finos (ASTM C-128), Contenido de Humedad (ASTM C-566), todas estas Normas son referentes a los Agregados Finos.

3.1.2.1 ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM C-136)

3.1.2.1.1 DISCUSION TEORICA

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según su tamaño, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas las cuales proporcionan el tamaño máximo del agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes se calculan tanto parciales como

acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores del material (granulometría).

Hay gráficas límites para diversos materiales, por lo que para que una arena sea aceptable debe encontrarse dentro de la zona limitada por estas gráficas o zona de especificaciones, además deberá tratar de seguir en su pendiente a alguna de las 2 curvas de especificaciones.

La granulometría del agregado fino dentro de los límites de la Norma ASTM C-33 generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concretos. Los límites de la norma con respecto al tamaño de las mallas se indican en la tabla 3.1 a continuación:

MALLAS	PORCENTAJES	
	PASANDO	RETENIDO
3/8" (9.52 mm)	100	0
Nº 4 (4.75 mm)	95 - 100	0 - 5
Nº 8 (2.36 mm)	80 - 100	0 - 20
Nº 16 (1.18 mm)	50 - 85	15 - 50
Nº 30 (0.6 mm)	25 - 60	40 - 75
Nº 50 (0.3 mm)	10 - 30	70 - 90
Nº 100 (0.15 mm)	2 - 10	90 - 98

TABLA 3.1 LIMITES DEL AGREGADO FINO.
Porcentajes límites de agregado fino que pasa o se retiene en una malla.²⁸

Cuando una granulometría no sea aceptable se puede mejorar el resultado por dos métodos: el primero consiste en la corrección mediante la selección de material al cribarlo por determinadas mallas, pero este procedimiento resulta

²⁸ "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Instituto Mexicano del cemento y del Concreto, 1992, 1ª edición, IMCYC.

costoso y poco práctico. Por esta razón, es mejor utilizar el segundo método, que consiste en estabilizar la deficiente granulometría empleando otro material con el cual se hace una mezcla en proporciones adecuadas (tanteos) hasta corregir la deficiencia. En nuestro caso lo que se busca es mantener las condiciones iniciales de los componentes del concreto, por lo que se mantendrán las condiciones iniciales de las granulometrías realizadas sean estos resultados aceptables o no dándose únicamente las recomendaciones pertinentes respecto a los agregados a utilizar.

a) Gráfica e indicadores.

La información obtenida del análisis granulométrico se presenta en forma de curva, donde el porcentaje que pasa es graficado en las ordenadas y el diámetro de las partículas en las abscisas. A partir de la curva anterior, se pueden obtener diámetros característicos tales como el D_{10} , D_{30} , D_{60} , etc. El D se refiere al tamaño del grano, o diámetro aparente de la partícula y el subíndice (10, 30, 60) denota el porcentaje del material fino.

Un indicador de la variación del tamaño de los granos presentes en la muestra mediante el coeficiente de uniformidad (Cu), definido como:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Un valor grande de Cu indica que los diámetros D_{60} y D_{10} difieren en tamaño apreciable. También existe otro parámetro y es el Coeficiente de

Concavidad (Cc), el cual es una medida de la forma de la curva entre D60 y el D10 y se define como:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

b) Módulo de Finura.

El agregado fino juega en toda mezcla dos papeles:

- a.1) En primer lugar sirve de un relleno, que se acomoda dentro de los intersticios de los agregados gruesos.
- a.2) En segundo lugar sirve como lubricante para el agregado grueso, ya que le proporciona un a serie de rodillos para mejorar la manejabilidad de la masa de concreto.

El módulo de finura, es otra medida del grosor o tamaño del agregado fino. Se puede definir como un índice de su valor lubricante de la mezcla. Este índice describe la proporción de finos y gruesos que se tienen en las partículas que los constituyen.

El cálculo del Módulo de Finura (MF) de una arena se realiza sumando los porcentajes retenidos por las mallas N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100 y dividiendo esta suma entre 100. Los valores límites son los que se muestran a continuación en la **Tabla 3.2.**

ARENA	M.F.
MUY FINA	< 2.0
FINA	2.0 - 2.3
MEDIO FINA	2.3 - 2.6
MEDIA	2.6 - 2.9
MEDIO GRUESA	2.9 - 3.2
GRUESA	3.2 - 3.5
MUY GRUESA	> 3.5

TABLA 3.2 CLASIFICACION DE LAS ARENAS POR MODULO DE FINURA.²⁹

El Módulo de Finura en la arena está comprendido entre 2.3 a 3.2, además no debe tener más del 45% retenido entre 2 mallas consecutivas.

3.1.2.1.2 MATERIAL Y EQUIPO

- Balanzas con capacidad de 1 kg y 0.1 g de precisión.
- Juego de mallas Nº 4, 8, 16, 30, 50 y 100, charola de tapa y fondo.
- Charolas de lámina galvanizada.
- 500 g de arena cuarteada.
- Brochuelo o cepillo de cerdas.
- Agitador mecánico de mallas (Rot-tap).
- Brocha pequeña.

²⁹ Curso Teórico-Práctico "Tecnología y Aplicaciones del Concreto" , ASIA-FEPADE-CESSIC, Abril-Mayo 1994.

3.1.2.1.3 PROCEDIMIENTO.

1. Se coloca una muestra de aproximadamente unos 10 kg de arena en una charola y se deja por un espacio de 24 horas al aire libre o hasta que el agregado pierda humedad.
2. Se pesa la muestra de 500 g de arena ya cuarteada y secada con anterioridad.
3. Los 500 g de muestra se colocan en la malla N° 4, cuidando que el fondo se encuentre ensamblado con la malla. Tapar la malla y sacudir por espacio de 3 a 5 minutos.
4. Superponer las mallas que restan de mayor a menor diámetro de abertura. Verter la muestra que pasó la malla N° 4 en la malla superior (antes verificar que el fondo esté colocado).
5. Colocar las porciones retenidas en cada malla en charolas y pesar dichas cantidades retenidas.

Nota: Al retirar cada porción del tamiz que le corresponde, se debe tener el cuidado de dejar limpias las mallas, para esto se utiliza el cepillo y la brocha pequeña.

7. Registrar los datos en la tabla de resultados.

8. Calcular el porcentaje de error de la prueba y verificar que no sea mayor del 2%.

3.1.2.1.4 CALCULOS.

a) % Error $(W_o - W_f) / W_f \times 100 \leq 2\%$,

Donde: W_o = Peso inicial de la muestra.

W_f = Peso Final de la muestra.

- b) % Retenido parcial = (peso retenido en cada malla) / $W_o \times 100$
- c) % Retenido acumulado = % Retenido acumulado de malla anterior +
% Retenido parcial de dicha malla.
- d) % Acumulado que pasa:
Para malla #X = $100\% - \%$ Retenido acumulado de malla #X.
- e) Hacer gráfica en papel semi-logarítmico: malla vrs. % Acumulado que pasa malla.
- f) El cálculo de C_u y C_c se hace a partir de la curva granulométrica (ver TABLA 3.3a)

3.1.2.1.5 IMPORTANCIA DEL ANALISIS GRANULOMETRICO.

El análisis granulométrico es de gran importancia, ya que por medio de él se obtienen mezclas de concreto fresco trabajables y económicas, si éste se encuentra dentro de la especificación-ASTM C-33; además muestran la graduación y el módulo de finura de un determinado tipo de agregado fino. El procedimiento del análisis granulométrico descrito anteriormente está regido por la Norma ASTM C-136, el módulo de finura por la ASTM C-125 y los límites de graduación por la ASTM C-33. Esta última define los requisitos de graduación y calidad de los agregados finos y gruesos (excepto agregados ligeros o agregados pesados), empleados en la fabricación del concreto. Cabe mencionar que la composición granulométrica del agregado fino suele identificarse por su módulo de finura.

Para el análisis granulométrico se realizaron 3 pruebas con las arenas del Río Astoria, las cuales como se verá cumplen con las especificaciones establecidas en la Norma ASTM C-33, estas son mostradas en las **tablas 3.3a y gráficas 3.3b** (pags. 79-84)

Los resultados de estas pruebas se darán en el Capítulo IV de "Análisis de Resultados", por lo que sólo nos limitaremos a mostrar los resultados obtenidos en el trabajo realizado a los componentes del concreto.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL
INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO**

TABLA 3.3a

GRANULOMETRIA DE ARENA

FECHA DE PRUEBA: 27/9/96

PESO DE MUESTRA: 500 g.

LABORATORISTA: C.J.P.B

REVISO: E.A.G.P.

ARENA DE: RIO ASTORIA, DPTO. DE LA PAZ

MUESTRA N° 1

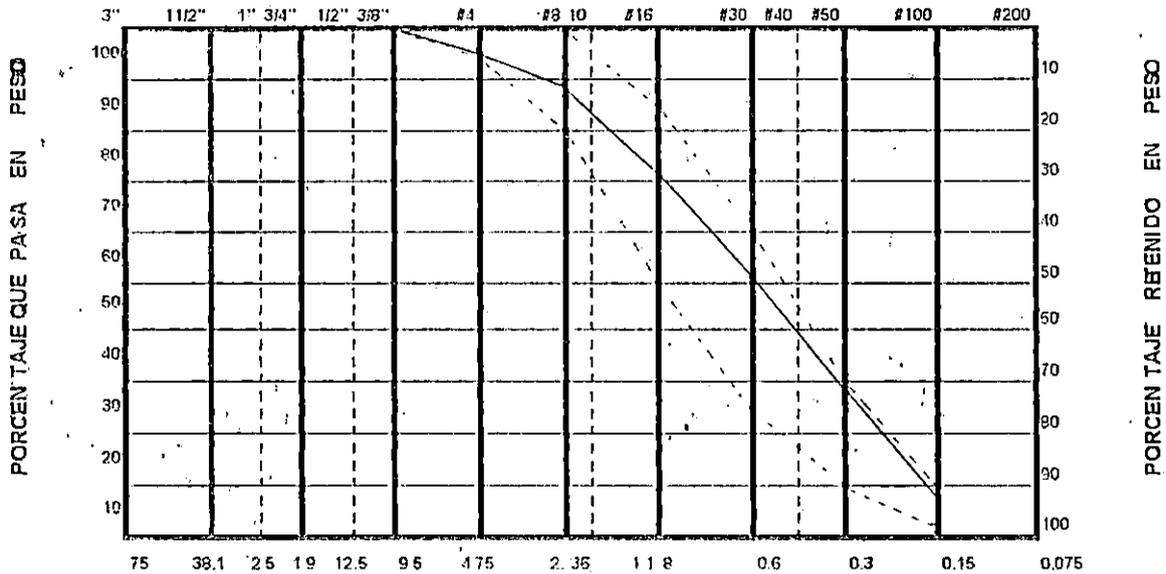
MALLAS U.S ESTANDAR	DIAMETRO DE PARTICULAS	PESO RETEN. gr.	% PESO RETEN. PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3"	75 mm				
2 1/2"	63 mm				
2"	50 mm				
1 1/2"	38.1 mm				
1"	25 mm				
3/4"	19 mm				
1/2"	12.5 mm				
3/8"	9.5 mm				
NI 4	4.75 mm	23.50	4.70	95.30	4.70
NI 8	2.36 mm	31.00	6.20	89.10	10.90
NI 16	1.18 mm	85.50	17.10	72.00	28.00
NI 30	0.60 mm	106.00	21.20	50.80	49.20
NI 50	0.30 mm	112.00	22.40	28.40	71.60
NI 100	0.15 mm	95.50	19.10	7.30	90.70
NI 200	0.075 mm	32.50	6.50	2.80	97.20
FONDO	-----	14.00	2.80	0.00	100.00
SUMAS	-----	500.00	100.00	100.00	0.00

MF: 2.55

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
 Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"**

TABLA 3.3b ANALISIS DE MALLAS.



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

LABORATORISTA C.J.P.B.

REVISO E.A.G.P

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL
INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO**

TABLA 3.3a

GRANULOMETRIA DE ARENA

FECHA DE PRUEBA: 27/9/96

PESO DE MUESTRA: 500 g.

LABORATORISTA: C.J.P.B

REVISO: E.A.G.P.

ARENA DE: RIO ASTORIA, DPTO. DE LA PAZ

MUESTRA N° 2

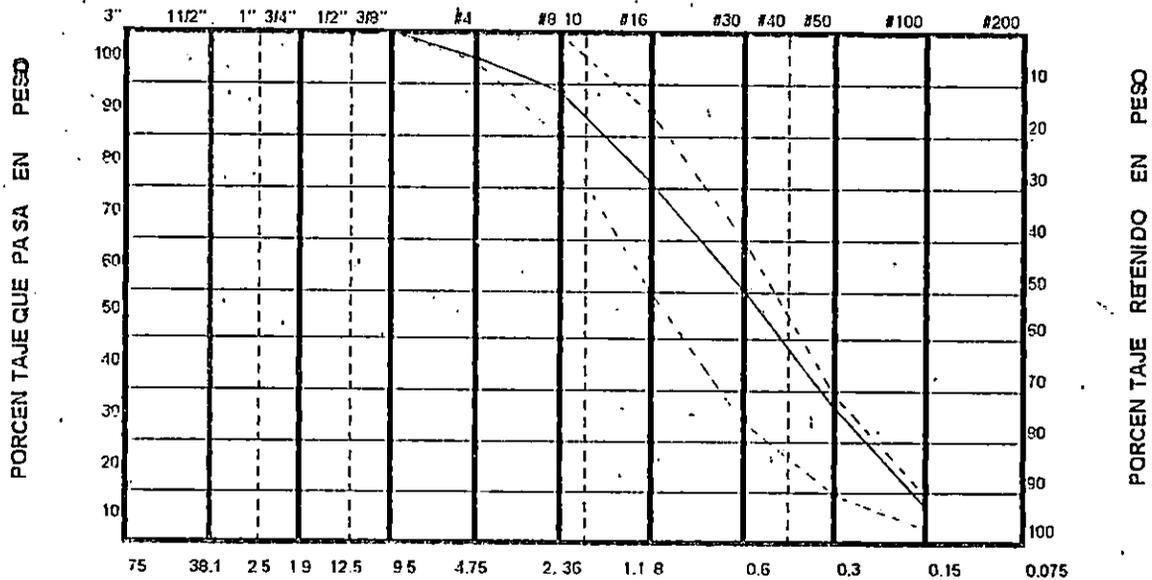
MALLAS U.S ESTANDAR	DIAMETRO DE PARTICULAS	PESO RETEN. gr.	% PESO RETEN. PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3"	75 mm				
2 1/2"	63 mm				
2"	50 mm				
1 1/2"	38.1 mm				
1"	25 mm				
3/4"	19 mm				
1/2"	12.5 mm				
3/8"	9.5 mm				
Nº 4	4.75 mm	22.50	4.50	95.50	4.50
Nº 8	2.36 mm	36.50	7.30	88.20	11.80
Nº 16	1.18 mm	76.00	15.20	73.00	27.00
Nº 30	0.60 mm	112.50	22.50	50.50	49.50
Nº 50	0.30 mm	110.00	22.00	28.50	71.50
Nº 100	0.15 mm	98.50	19.70	8.80	91.20
Nº 200	0.075 mm	29.00	5.80	2.80	3.00
FONDO	-----	15.00	3.00	0.00	100.00
SUMAS	-----	500.00	100.00	100.00	0.00

MF: 2.555

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADUACION: EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
 Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO**

TABLA 3.3b ANALISIS DE MALLAS



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

LABORATORISTA: C.J.P.B.

REVISOR: E.A.G.P.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL
INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO**

TABLA 3.3a

GRANULOMETRIA DE ARENA

FECHA DE PRUEBA: 28/9/96

PEÑO DE MUESTRA: 500 g.

LABORATORISTA: C.J.P.B

REVISO: E.A.G.P.

ARENA DE: RIO ASTORIA, DPTO. DE LA PAZ

MUESTRA Nº 3

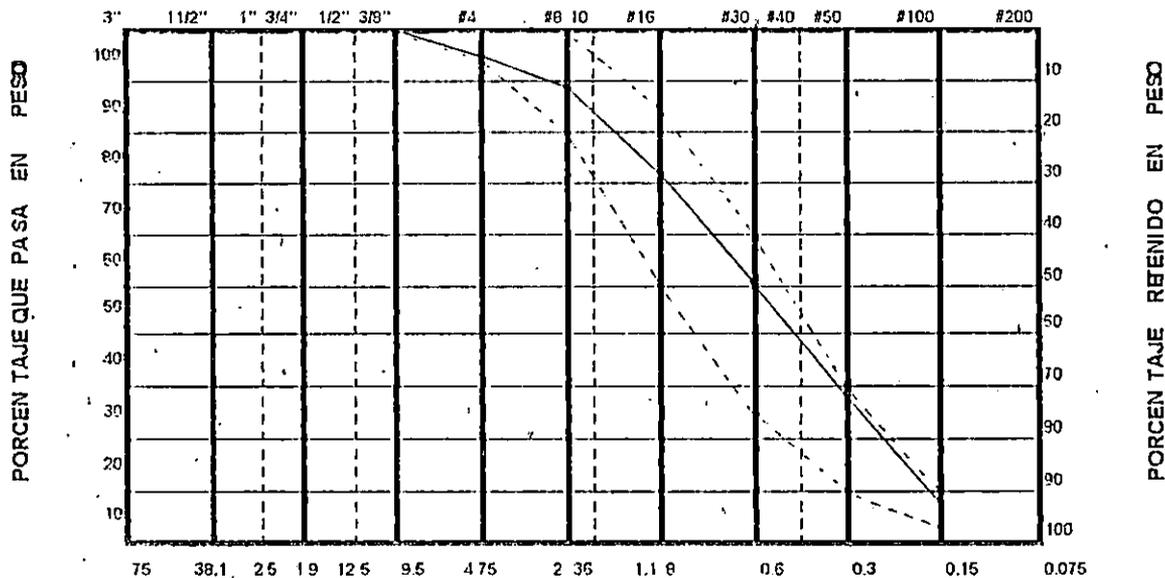
MALLAS U.S ESTANDAR	DIAMETRO DE PARTICULAS	PESO RETEN. gr.	% PESO RETEN. PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3"	75 mm				
2 1/2"	63 mm				
2"	50 mm				
1 1/2"	38.1 mm				
1"	25 mm				
3/4"	19 mm				
1/2"	12.5 mm				
3/8"	9.5 mm				
Nº 4	4.75 mm	19.50	3.90	96.10	3.90
Nº 8	2.36 mm	39.50	7.90	88.20	11.80
Nº 16	1.18 mm	80.50	16.10	72.10	27.90
Nº 30	0.60 mm	104.00	20.80	51.30	48.70
Nº 50	0.30 mm	115.50	23.10	28.20	71.80
Nº 100	0.15 mm	91.50	18.30	9.90	90.10
Nº 200	0.075 mm	36.50	7.30	2.60	97.40
FONDO	-----	13.00	2.60	0.00	100.00
SUMAS	-----	500.00	100.00	100.00	0.00

MF: 2.555

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
 Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"**

TABLA 3.3b ANALISIS DE MALLAS



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

LABORATORISTA C.J.P.B.

REVISOR E.A.G.P

3.1.2.2. PRUEBA DE IMPUREZAS ORGANICAS PARA AGREGADO FINO (ASTM C-40)

Esta prueba sirve para determinar en forma aproximada la presencia de compuestos orgánicos perjudiciales en agregados finos que serán usados en morteros de cemento o en concretos; ésta se realiza en forma preliminar para la aceptación del agregado fino; por lo que debe realizarse antes que cualquier otra prueba. La prueba en sí no necesita de valores numéricos, la determinación de precisión y error no es necesaria; ya que como se mencionó, es una forma aproximada para determinar la presencia de compuestos orgánicos en el agregado fino.

Para la determinación de impurezas orgánicas se realizaron 3 pruebas.

3.1.2.2.1. MATERIAL Y EQUIPO.

- Botellas transparentes (3)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Agua
- Cartilla de Colores de Impurezas Orgánicas.

3.1.2.2.2 PROCEDIMIENTO

Se coloca una muestra de arena de 130 ml en una botella transparente en una solución al 3% de Hidróxido de Sodio en agua (NaOH) durante 24 horas,

según lo especifica la norma. Después de 24 horas, se compara el color de la solución de las muestras con la “**Tabla de Colores**” de referencia. Luego de eso se concluye el grado de impurezas o contaminantes que posee el agregado fino, así como su adecuado uso o no como componente del concreto.

3.1.2.3 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION (ASTM C-128)

Se conoce por peso específico relativo, llamado comúnmente gravedad específica, a la relación del peso en aire de una unidad de volumen de un material al peso de un volumen igual de agua en un mismo estado de temperatura.

Según la condición en que se encuentre el material, así se determinan distintos tipos de peso específico:

a) Peso específico relativo en masa.

Es la relación del peso en aire de una unidad de volumen de agregado (incluyendo los huecos dentro de las partículas permeables e impermeables, pero no incluyendo los vacíos entre las partículas) al peso de aire en un volumen igual de agua destilada libre de gas en un mismo estado de temperatura. Es utilizado para cálculos cuando el agregado se encuentra seco o se asume que lo está.

- b) **Peso específico relativo en masa, en base a la condición de superficie seca saturada.**

Es la relación del peso en aire de una unidad de volumen de agregado, incluyendo el peso de agua que llena los huecos (condición que se consigue sumergiendo el agregado en agua durante aproximadamente 24 hrs., no incluyendo los huecos entre partículas), al peso en aire de un volumen igual de agua destilada libre de gas en un mismo estado de temperatura.

El peso específico determinado en base a la superficie seca saturada (SSS), es utilizado si el agregado está mojado (el material debe haber estado sumergido durante aproximadamente 24 hrs.). Esto implica que la absorción ha sido satisfecha

- c) **Peso específico relativo aparente.**

Es la relación del peso en aire de una unidad de volumen de una porción impermeable de agregado al peso de un volumen igual de agua destilada libre de gas en un mismo estado de temperatura.

el peso específico aparente atañe a la densidad relativa del material sólido, haciendo de caso que las partículas constituyentes no incluyen espacios porosos, dentro de sí mismas ni entre ellas, a los que el agua es accesible. Este valor no es muy usado en la tecnología de los agregados para la construcción.

Se define "ABSORCION" como el incremento en el peso del agregado debido al agua en los poros del material (no incluyendo el agua adherida en la superficie externa de las partículas), expresada como un porcentaje del peso seco. El agregado es considerado "seco" cuando ha sido mantenido a una temperatura de 110 ± 5 °C durante tiempo suficiente para eliminar toda el agua no combinada (generalmente de 18 a 24 hrs.)

Para calcular la absorción es necesario que el agregado se encuentre en contacto con el agua por tiempo suficiente como para satisfacer en su mayoría el potencial absorbente. La absorción estándar en el laboratorio es aquella que se obtiene después de sumergir los agregados secos por espacio de 24 hrs. para agregados de peso normal

3.1.2.3.1 MATERIAL Y EQUIPO

- Arena sumergida en agua por espacio de 24 hrs.
- ↓ Balanza de 1 kg de capacidad ± 0.1 g de precisión.
- ↓ Un molde Picnómetro para gravedad específica.
- ↓ Un pisón metálico .
- ↓ Charolas de lámina galvanizada para contener 1 kg de arena.
- Horno.
- ↓ Cucharas de albañil.
- ↓ Placas de material no absorbente.
- Una probeta.

- Un embudo.
- agua destilada.

3.1.2.3.2 PROCEDIMIENTO.

I Preparación de La Muestra.

- 1) Secar la muestra en una charola a temperatura constante de 110 ± 5 °C. Dejar enfriar hasta que sea de fácil manejo, cubrir con agua y permitir reposar por espacio de 24 ± 4 horas.
- 2) Decantar el exceso de agua, extender la muestra sobre una superficie plana, no absorbente y exponerla a una corriente moderada de aire tibio, sacudirla frecuentemente para asegurarse que el secado sea homogéneo.

II Condición De Superficie Seca: Prueba Del Picnómetro Para Humedad Superficial.

- 1) Colocar una muestra de 500 g. de material saturado y superficialmente en un picnómetro, preferentemente que tenga una marca de referencia para un volumen superior al que se pretende medir (balón aforado o cilindro graduado).
- 2) Se agrega agua hasta el 90% de la capacidad de la marca y se agita para eliminar el aire atrapado.

- 3) Se llena con agua hasta la marca de referencia (si tiene) y se determina su peso. Este se relaciona con el mismo fresco lleno con agua hasta la marca de referencia.

III Desarrollo de la Prueba.

- 1) Se llena parcialmente el picnómetro con agua destilada. Inmediatamente se introduce en él 500 g de agregado fino en condición de saturación con superficie seca y llenarlo con agua adicional aproximadamente al 90% de su capacidad.

2) Determinar el peso total del picnómetro con la muestra y el agua (Wb).

- 3) Remover el agregado fino del picnómetro y secar en el horno el material por espacio de 18 hrs. a una temperatura de 110 ± 1.5 °C, luego enfriar la muestra a temperatura ambiente durante una hora y media y pesar el agregado fino en estado seco (W_o).

- 4) Determinar el peso del picnómetro con agua destilada, llenando este hasta la línea de aforo con el agua desairada a una temperatura de 23 ± 1.5 °C. Este peso es W_a .

IV CALCULOS.

Los cálculos se realizarán en base a las siguientes ecuaciones:

- a) Peso específico relativo en masa (PER_m).

$$PER_m = \frac{W_o}{W_a + 500 - W_b} \quad (1)$$

- b) Peso específico relativo en masa con partículas saturadas superficialmente secas (PER_{sss}).

$$PER_{sss} = \frac{500}{W_a + 500 - W_b} \quad (2)$$

- c) Peso específico relativo aparente (PER_{ap}).

$$PER_{ap} = \frac{W_o}{W_a + W_o - W_b} \quad (3)$$

- d) Porcentaje de Absorción ($ABS(\%)$).

$$ABS(\%) = \frac{50 - W_o}{W_o} \cdot 100 \quad (4)$$

dónde:

W_o : peso en aire del espécimen secado al horno, (g).

14975f W_a : peso del picnómetro lleno con agua hasta la marca de aforo o peso del picnómetro vacío + 500 g, (g).

W_b : peso del matraz con el espécimen y agua hasta la marca de aforo, (g).

500: peso del espécimen saturado superficialmente seco.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE Y DEL
INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

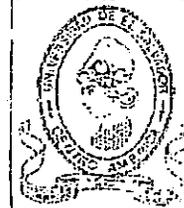


TABLA 3.4
METODO DEL PICNOMETRO

Tipo de agregado: Arena

Fecha de Prueba: 25/Sept/96

Prueba N°	1	2	3	PROMEDIO
Wa (g)	1477	1477	1477	1477
Wb (g)	1767	1767	1767	1767
Wo (g)	483	480.5	480.1	481.2
$PER_m = Wo / (Wa + 500 - Wb)$	2.3	2.29	2.29	2.29
$PER_{sss} = 500 / (Wa + 500 - Wb)$	2.38	2.38	2.38	2.38
$PER_{ap} = Wo / (Wa + Wo - Wb)$	2.50	2.52	2.53	2.52
$ABS(\%) = (500 - Wo) / Wo \times 100$	3.52	4.06	4.14	3.91

Donde:

Wa: Peso del picnómetro + 500 ml de agua destilada desaireada a 23 ± 1.5 °C.

Wb: Peso del Picnómetro con muestra de suelo en condición sss + agua destilada

Wo: Peso de la muestra secada al horno.

500: Peso de la muestra de suelo sss.

METODO DE LA PROBETA

Tipo de agregado: Arena

Fecha de Prueba: 24/Sept/96

PRUEBA N°	1	2	3	Promedio
Wad	210	208	211	209.67
$PE = Wm / Wad$	2.38	2.40	2.37	2.38

Donde:

500: Peso de la muestra de suelo sss.

Wad: Peso de agua desalojada.

PE: Peso específico obtenido

Nota: Todos los pesos ya fueron destarados, además se utilizó el mismo picnómetro y la misma probeta en todas las pruebas.

3.1.2.4 DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO (ASTM C - 29).

Se denomina peso volumétrico a la relación que existe entre el peso del material y el volumen ocupado por el mismo, la cual viene dada generalmente en kg/m^3 . Cabe mencionar que el volumen involucrado en esta relación está constituido tanto por el que ocupa el material como los vacíos, pudiendo estar ocupados estos por agua y/o aire. El término anterior es aplicable a cementos, agregados (finos y gruesos), morteros y al concreto.

El valor del término peso volumétrico no es considerado como una medida de calidad del material que se ensaya, pero se ve involucrado en muchos otros cálculos como por ejemplo, en el diseño de las proporciones para el concreto, en la conversión de cantidades en peso a cantidades de volumen.

Es obvio que el peso volumétrico depende de que tan densamente se comprima el agregado, y que para un material con una densidad determinada el peso volumétrico, dependa de la forma, tamaño y distribución de las partículas. En parte esta aseveración se puede explicar de la siguiente manera: Las partículas más grandes de un agregado se pueden compactar hasta cierto límite, pero las más pequeñas pueden llenar los huecos existentes entre las partículas de mayor tamaño; dependiendo de la forma, tamaño y distribución de las partículas, éstas se acomodarán de tal manera que el peso volumétrico variará en función de los parámetros anteriores.

De ahí que de acuerdo al sistema de acomodamiento que haya tenido el material antes de la prueba (compactado o no), el peso volumétrico puede ser:

a) Peso Volumétrico Suelto (PVS).

Llamado así, cuando el material al iniciar la prueba no se compacta al acomodarlo. Este peso es usado para la dosificación del concreto, o sea para el cálculo de agregados necesarios para la elaboración del concreto.

b) Peso Volumétrico Varillado (PVV).

Se nombra así, cuando al iniciar la prueba el material se compacta al acomodarlo. Es usado en materiales apilados y que se encuentren sujetos a acomodamientos o asentamientos sobre ellos o por el transcurso del tiempo.

Según la norma ASTM C - 29, los materiales utilizados en el cálculo de los pesos volumétricos sueltos y varillados, tienen que ser secados a la interperie.

3.1.2.4.1 MATERIAL Y EQUIPO

- Arena secada a la interperie.
- Recipientes cilíndricos de acero de (2.8 cm^3)
- Báscula de 100 kg. de capacidad ± 0.1 kg. de precisión
- 2 cucharones.
- 2 palas.
- Varilla de 16 mm (5/8") con punta de casquete esférico y de 60 cm de longitud.

- Rasero.
- Charolas.
- Cinta métrica.

3.1.2.4.2 PROCEDIMIENTO.

Los dos pasos siguientes son comunes en el ensayo tanto para la grava como para la arena.

a) Determinación del peso volumétrico suelto.

- 1) Llenar la medida desde una altura aproximada de 50 mm del borde de este, dejando caer el agregado fino libre hasta que se forme un cono cuyos taludes lleguen al borde de la medida.
- 2) Recorrer con el rasero los bordes de la medida de tal manera de dejar una superficie plana, tratando de evitar los movimientos bruscos y las vibraciones.
- 3) Pesar la medida con su contenido de arena y anotar su peso (W_{mm_s}).

b) Determinación del peso volumétrico varillado.

- 1) Llenar la medida en tres capas iguales aproximadamente. Cada capa será compactada o varillado con 25 golpes consecutivos, tratando de distribuirlos sobre toda la superficie de la muestra. Evitar penetrar la varilla un espesor mayor que el que se está trabajando

- 2) Recorrer los bordes con el rasero tantas veces como sea necesario, de tal manera que se obtenga una superficie plana. Se deberá evitar los movimientos bruscos y las vibraciones.
- 3) Pesar la medida con su contenido y anotar su peso (W_{mm_v}).

3.1.2.4.3 CALCULOS.

Los cálculos se realizarán en base a las siguientes ecuaciones, estas son aplicables tanto a gravas como a arenas.

- a) - Peso Volumétrico Suelto (PVS).

$$PVS = \frac{W_{mms} - W_{mv}}{V}$$

- b) - Peso Volumétrico Varillado (PVV).

$$PVV = \frac{W_{mmv} - W_{mv}}{V}$$

- c) - Porcentaje de Vacíos (e(%)).

$$e(\%) = \frac{P_e - PVS}{P_e}$$

donde:

W_{mv} : Peso de la medida vacía en kg.

W_{mms} : Peso de la medida más el material suelto, en kg.

W_{mmv} : Peso de la medida más el material varillado, en kg.

V: Volumen de la medida en m^3

P_e : peso específico del material en cuestión (valores a investigar en este trabajo).

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL
 INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.5
PESO VOLUMETRICO SUELTO Y VARILLADO DE AGREGADO FINO

Prueba N°: 1

Fecha: 28/10/96

Para usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

VOLUMEN DEL MOLDE (VM): 0.0027946 m³ = 2794.6 cm³

PESO MOLDE (PMo): 1.618 Kg

MATERIAL (KGS.)	PESOS DE MATERIAL	
	SUELTO	VARILLADO
1	5.561	5.878
2	5.575	5.868
3	5.595	5.870
PROMEDIO	5.577	5.872

$P_{vol} = (W \text{ de Agregado} - W \text{ molde}) / VM (\text{cm}^3)$

	PVV (Kg/cm ³)	PVS (Kg/cm ³)	e%
Prueba 1	1410.94	1524.37	38.39
Prueba 2	1415.95	1520.79	38.17
Prueba 3	1423.10	1521.51	37.86
Promedio	1416.66	1522.22	38.14

Laboratorista: EAGP

Reviso: CJPB

donde:

VM: Volumen de Molde.

W: Pesos.

3.1.2.5 CONTENIDO DE HUMEDAD DE ARENAS (ASTM C - 566)

La determinación del contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio y representa la cantidad de agua existente en una cantidad dada de un agregado en relación a su peso seco, esto se puede expresar de la siguiente forma:

$$W(\%) = W_w / W_s \times 100$$

Donde: W_w : Peso del agua presente en el agregado

W_s : Peso seco de la muestra.

$W(\%)$: Contenido de Humedad en porcentajes.

El contenido de humedad de un agregado, es usado tanto para la dosificación del concreto; como en un suelo, para determinar otras propiedades como la plasticidad, el estado de compactación, la deformabilidad, etc.

Para que la determinación del concreto de humedad sea lo más confiable posible se recomienda usar las siguientes cantidades mínimas de muestra húmeda (Ver tabla 3.6).

Tamaño máximo de las partículas de la muestra.	Peso mínimo recomendado de la muestra (g)
0.42 mm	10 a 50
4.75 mm	100
12.5 mm	300
50 mm	1000

TABLA 3.6 PESO MINIMO RECOMENDADO DE MUESTRA PARA DETERMINACION DE CONTENIDOS DE HUMEDAD.

Fuente: Joseph Bowles, "Manual de laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil", México, Mcgraw-Hill, 1981, pp. 12.

Este contenido de humedad es utilizado para las correcciones de mezclas, por lo tanto debe realizarse con frecuencia, si es posible a diario; ya que el contenido de humedad es muy variable. En el presente estudio se obtuvieron varios valores de contenido de humedad. Un modelo de cálculo es el que se presenta a continuación en la Tabla 3.7:

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA			
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL			
TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"			
TABLA N° 3.7			
PRUEBA PARA CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL POR SECADO (ASTM C - 566)			
MUESTRA: Arena Río Astoria			
PROCEDENCIA: Mixto - Listo - Protersa.			
Fecha de Prueba: 23 de Septiembre de 1996.			
PESO HUMEDO +	PESO SECO +	TARA	HUMEDAD
TARA (gr)	TARA (gr)	(gr)	%
775.4	741.1	99.4	4.63
770.1	739.8	100.1	4.10
772.6	739.9	99.9	4.42
% HUMEDAD PROMEDIO			4.38
OBSERVACIONES: Ejemplo de cálculo de humedad. Esta humedad variará respecto a los diferentes diseños de mezcla a realizar para las resistencias esperadas (210, 280, 350 kg/cm ²), a diferentes ciclos de temperatura y aire incorporado.			

3.1.2 AGREGADO GRUESO

El agregado grueso utilizado proviene del Pedrera Protersa, ubicada en Ateos, dpto. de Sonsonate. Se utilizó este agregado debido a que uno de los alcances del trabajo es la utilización de agregados nacionales de zonas reconocidas como bancos sanos de impurezas de un buen grado de trabajabilidad.

Con el objeto de obtener resultados fidedignos que den indicios de un adecuado uso de los agregados en el concreto, se mantendrán las granulometrías iniciales que presentan cada uno de los agregados a utilizar, para el caso del agregado grueso, el tamaño máximo nominal obtenido es de 19 mm (3/4").

3.1.3.1 ANALISIS GRANULOMETRICO (ASTM C-136).

Para el análisis granulométrico del Agregado Grueso se realizaron 3 pruebas según la norma ASTM C-136. Los resultados se muestran en las tablas 3.9a y 3.9b.

Los límites establecidos de la Norma ASTM C-33 fueron determinados en base al tamaño máximo del agregado ($TMA \leq 19 \text{ mm}$); las tablas muestran las gráficas que como puede observarse el agregado grueso no cumple con las especificaciones ASTM C-33; ya que contiene pocas partículas gruesas en el que las condiciones se mantuvieron como originalmente se presentaron, las muestras granulométricas obtenidas. Las mezclas de concreto se harán con los agregados

inalterados en su granulometría, para conseguir así un resultado acorde a la situación original de los componentes del concreto.

Los requisitos mínimos para una granulometría con tamaño de agregado máximo nominal de $\frac{3}{4}$ de pulgada son los que se muestran a continuación:

CANTIDADES MENORES QUE PASAN CADA MALLA DE LABORATORIO (aberturas cuadradas) DATOS EN PORCIENTO DE PESO						
Tamaño Nominal	25 mm (4 pul)	19 mm (3/4 pul)	12.5 mm (1/2 pul)	9.5 mm (3/8 pul)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)
19 a 4.75 mm	100	90 a 100	----	25 a 55	0 a 10	0 a 5

TABLA 3.8 GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO MAXIMO NOMINAL IGUAL A 3/4".

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL
INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO**

TABLA 3.9a

GRANULOMETRIA DE GRAVA

FECHA DE PRUEBA:

PESO DE MUESTRA: 8.0 kg.

LABORATORISTA:

E.A.G.P.

REVISO: C.J.P.B

GRAVA DE: PEDRERA PROTERRA, ATEOS, DPTO. DE SONSONATE

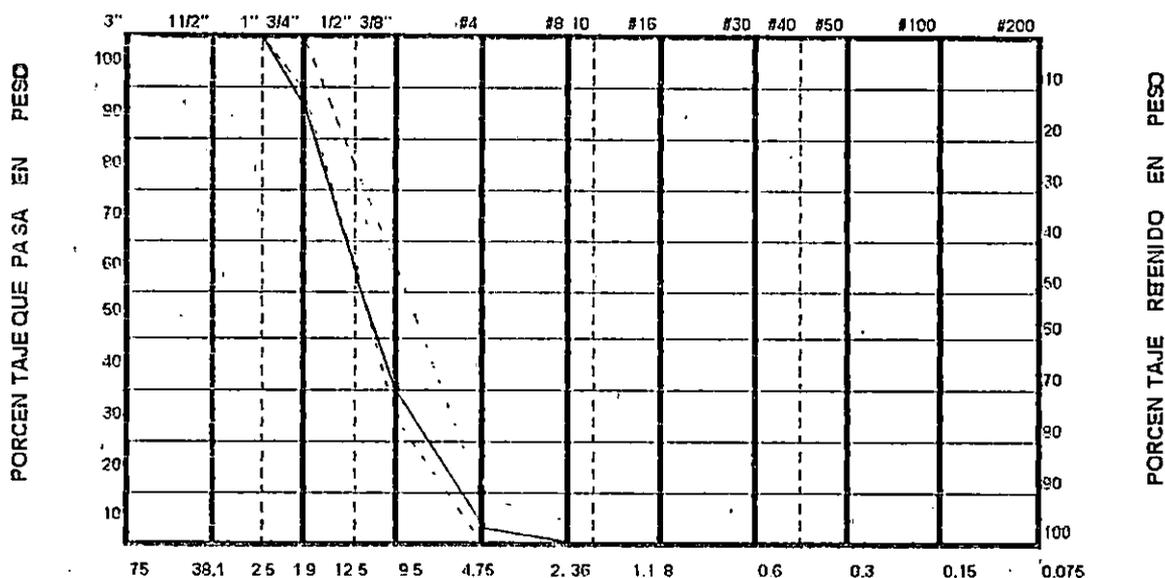
MUESTRA N° 1

MALLAS U.S ESTANDAR	DIAMETRO DE PARTICULAS	PESO RETEN. gr.	% PESO RETEN. PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3"	75 mm				
2 1/2"	63 mm				
2"	50 mm				
1 1/2"	38.1 mm				
1"	25 mm	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19 mm	1035.20	12.94	12.94	87.06
1/2"	12.5 mm	2669.50	33.37	46.31	53.69
3/8"	9.5 mm	1824.55	22.81	69.12	30.88
N1 4	4.75 mm	2135.90	26.70	95.82	4.18
N1 8	2.36 mm	334.85	4.18	100.00	0.00
N1 16	1.18 mm				
N1 30	0.60 mm				
N1 50	0.30 mm				
N1 100	0.15 mm				
N1 200	0.075 mm				
FONDO					
SUMAS		8000.00	100.00	100.00	0.00

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADUACION: EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
 Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO**

TABLA 3.9b ANALISIS DE MALLAS



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

LABORATORISTA: C.J.P.B.

REVISO: E.A.G.P

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF POLITICAL SCIENCE
POLITICAL SCIENCE 301
LECTURE NOTES
BY [Name]

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF POLITICAL SCIENCE
POLITICAL SCIENCE 301
LECTURE NOTES
BY [Name]

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL
INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO**

TABLA 3.9a

GRANULOMETRIA DE GRAVA

FECHA DE PRUEBA: 27/9/96

PESO DE MUESTRA: 8.0 kg.

LABORATORISTA: E.A.G.P.

REVISO: C.J.P.B

GRAVA DE: PEDRERA PROTERSA, ATEOS, DPTO, SONSONATE

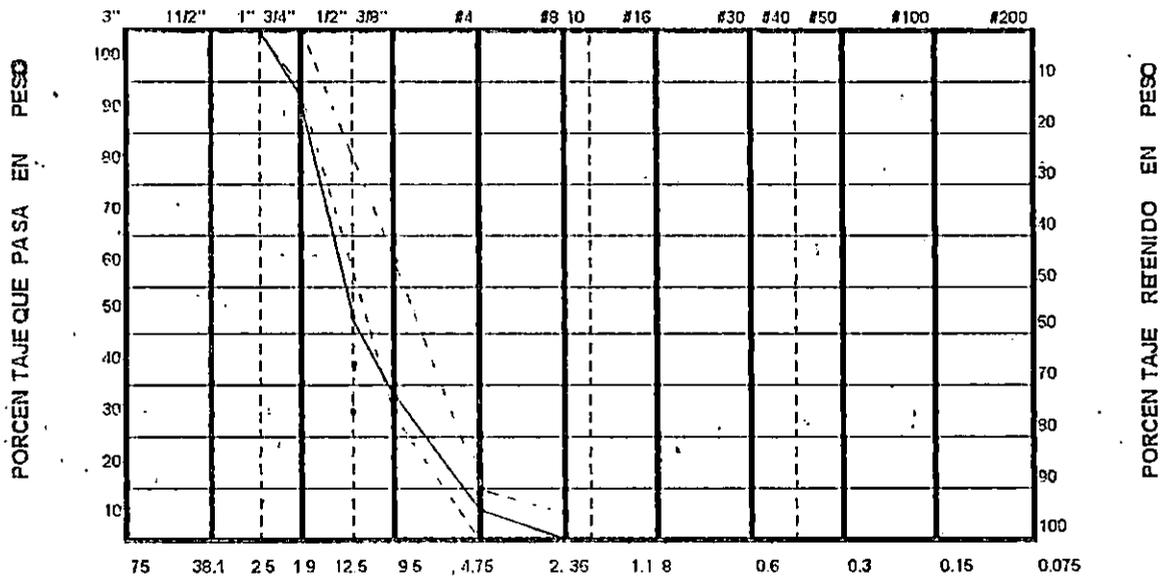
MUESTRA N° 2

MALLAS U.S ESTANDAR	DIAMETRO DE PARTICULAS	PESO RETEN. gr.	% PESO RETEN. PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3"	75 mm				
2 1/2"	63 mm				
2"	50 mm				
1 1/2"	38.1 mm				
1"	25 mm	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19 mm	987.90	12.35	12.35	87.65
1/2"	12.5 mm	2764.55	34.56	46.91	53.09
3/8"	9.5 mm	1935.60	24.19	71.10	28.90
N1 4	4.75 mm	1907.95	23.85	94.95	5.05
N1 8	2.36 mm	404.00	5.05	100.00	0.00
N1 16	1.18 mm				
N1 30	0.60 mm				
N1 50	0.30 mm				
N1 100	0.15 mm				
N1 200	0.075 mm				
FONDO					
SUMAS		8000.00	100.00	100.00	0.00

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
 Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"**

TABLA 3.3b ANALISIS DE MALLAS



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

LABORATORISTA. C.J.P.B.

REVISOR: E.A.G.P

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL
INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO**

TABLA 3.9a

GRANULOMETRIA DE GRAVA

FECHA DE PRUEBA: 27/9/96

PESO DE MUESTRA: 8.0 kg.

LABORATORISTA: E.A.G.P.

REVISO: C.J.P.B

ARENA DE: RIO ASTORIA, DPTO. DE LA PAZ

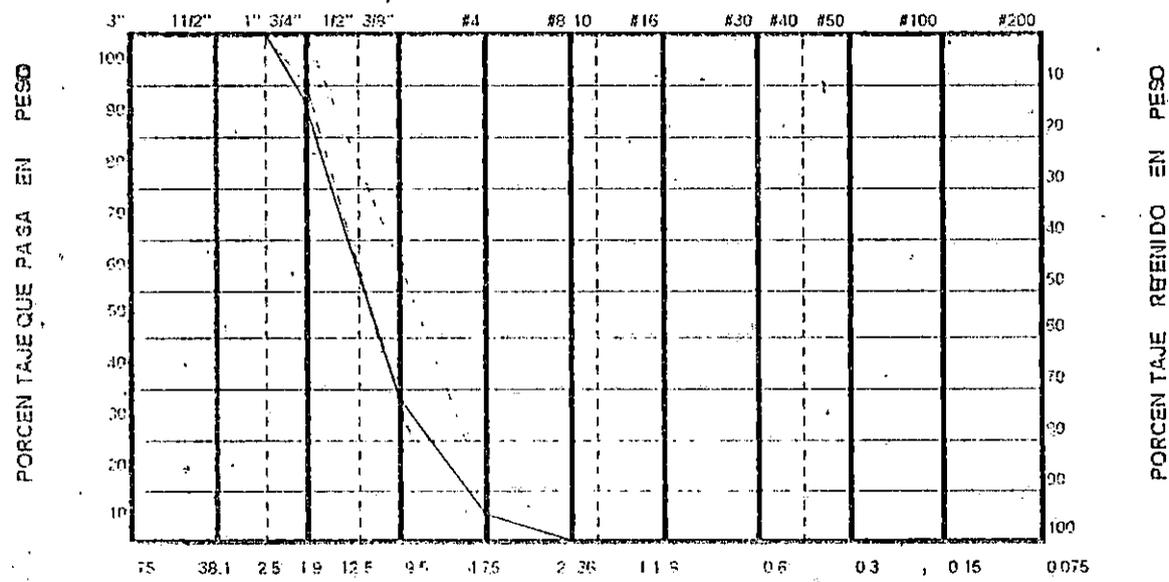
MUESTRA N° 3

MALLAS U.S ESTANDAR	DIAMETRO DE PARTICULAS	PESO RETEN. gr.	% PESO RETEN. PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3"	75 mm				
2 1/2"	63 mm				
2"	50 mm				
1 1/2"	38.1 mm				
1"	25 mm	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	19 mm	987.90	12.35	12.35	87.65
1/2"	12.5 mm	2764.55	34.56	46.91	53.09
3/8"	9.5 mm	1935.60	24.19	71.10	28.90
Nº 4	4.75 mm	1907.95	23.85	94.95	5.05
Nº 8	2.36 mm	404.00	5.05	100.00	0.00
Nº 16	1.18 mm				
Nº 30	0.60 mm				
Nº 50	0.30 mm				
Nº 100	0.15 mm				
Nº 200	0.075 mm				
FONDO					
SUMAS		8000.00	100.00	100.00	0.00

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
 Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"**

TABLA 3.3b ANALISIS DE MALLAS



DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MILIMETROS

GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

LABORATORISTA C.J.P.B.

REVISOR E.A.G.P.

3.1.3.2 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION.

Los conceptos teóricos de ésta práctica son los mismos que los de la prueba de gravedad específica y absorción de los agregados finos.

3.1.3.2.1 MATERIAL Y EQUIPO

- Grava su mergida por 24 horas.
- Balanza de 5 kg de capacidad ± 0.5 g de precisión.
- Dispositivo contenedor de muestra (cesta de alambre N° 6)
- Tanque de agua o pila.
- Horno.
- Malla N° 4
- Franela o cualquier tela absorbente,

3.1.3.3.2 PROCEDIMIENTO.

I Preparación De La Muestra.

- 1) Sacudir vigorosamente la muestra de agregado a través de la malla N° 4, conservar lo que quede en ella y rechazar lo que pase ésta tratando de obtener una muestra de 2.0 kg.
- 2) Secar la muestra a temperatura ambiente si no se puede en el horno. Seguidamente sumergir el agregado grueso en agua a temperatura ambiente por espacio de 24 hrs.

II Ensayo de la muestra.

- 1) Rodar la grava en una tela grande absorbente hasta que todas las capas visibles de agua hayan sido removidas. Secar las partículas grandes por separado. Pesar 1 kg de las muestras en condición saturada con superficie seca. este peso es W_1 .
- 2) Pesar el contenedor donde se colocará la muestra y anotar este valor como W_c .
- 3) Colocar inmediatamente la muestra en el contenedor (canasta) y determinar su peso en agua. El contenedor debe estar sumergido a una profundidad conveniente de manera que la muestra esté totalmente cubierta por agua mientras se pesa. Antes de pesar sacudir el contenedor con el objeto de remover todo el aire atrapado. Este peso es W_s .
- 4) Secar la muestra de prueba en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, enfriar al aire y pesar W_o .

IV CALCULOS.

Los cálculos se realizarán en base a las siguientes ecuaciones:

- a) Peso específico relativo en masa (PER_m).

$$PER_m = \frac{W_o}{W_1 - W_s} \quad (1)$$

- b) Peso específico relativo en masa con partículas saturadas superficialmente secas (PER_{sss}).

$$PER_{sss} = \frac{W_1}{W_1 - W_s} \quad (2)$$

- c) Peso específico relativo aparente (PER_{ap}).

$$PER_{ap} = \frac{W_0}{W_0 - W_s} \quad (3)$$

- d) Porcentaje de Absorción, ($ABS(\%)$).

$$ABS(\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \cdot 100 \quad (4)$$

donde:

W_0 : peso en aire del espécimen secado, (g).

W_1 : peso en aire de la muestra saturada superficialmente seca, (g).

W_s : peso en agua de la muestra saturada superficialmente seca, (g).

TABLA Nº 3.10
PRUEBA DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO
GRUESO SEGUN NORMA ASTM C-127

MATERIAL: GRAVA Nº 1

PROCEDENCIA: PEDRERA PROTERSA, ATEOS, SONSONATE.

FECHA DE PRUEBA: 16 DE SEPTIEMBRE DE 1996

PRUEBA Nº	P_{sss} (gr) (C)	$P_{sumerg.}$ (gr) (C)	P_{seco} (gr) (A)	$G_{E(sss)}$ $B/(B-C)$	% ABSORCIÓN $(B-A) \cdot A \times 100$
1	1000	615	976.4	2.60	2.42
2	1000	617	975.1	2.61	2.55
3	1000	617	977	2.61	2.35
PROMEDIO	1000	616.33	976.17	2.61	2.44

OBSERVACIONES: Los pesos de los agregados ya fueron destarados.

LABORATORISTA: E.A.G.P.

REVISO: C.J.P.B.

3.1.2.4 DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO ASTM C - 29.

El procedimiento es el mismo que para el peso volumétrico de los agregados finos excepto por unas ligeras variantes que a continuación se detallan:

3.1.2.4.1 MATERIAL Y EQUIPO

- Grava secada a la interperie.
- Recipientes cilíndricos de acero de 2.8 cm³
- Báscula de 100 kg. de capacidad ± 0.1 kg. de precisión
- 2 cucharones.
- 2 palas.
- Varilla de 16 mm (5/8") con punta de casquete esférico y de 60 cm de longitud.
- Rasero.
- Charolas.
- Cinta métrica.

3.1.2.4.2 PROCEDIMIENTO.

Los dos pasos siguientes son comunes en el ensayo tanto para la grava como para la arena.

a) Determinación del peso volumétrico suelto.

- 1) Llenar la medida desde una altura aproximada de 50 mm del borde de este, dejando caer el agregado libre hasta que se forme un cono cuyos taludes lleguen al borde de la medida.

- 2) Recorrer con el rasero los bordes de la medida de tal manera de dejar una superficie plana, tratando de evitar los movimientos bruscos y las vibraciones.
 - 3) Pesar la medida con su contenido de arena y anotar su peso (W_{mms}).
- b) Determinación del peso volumétrico varillado.**
- 1) Llenar la medida en tres capas iguales aproximadamente. Cada capa será compactada o varillado con 25 golpes consecutivos, tratando de distribuirlos sobre toda la superficie de la muestra. Evitar penetrar la varilla un espesor mayor que el que se está trabajando
 - 2) Recorrer los bordes con el rasero tantas veces como sea necesario, de tal manera que se obtenga una superficie plana. Se deberá evitar los movimientos bruscos y las vibraciones.
 - 3) Pesar la medida con su contenido y anotar su peso (W_{mmv}).

3.1.2.4.3 CALCULOS.

Los cálculos se realizarán en base a las siguientes ecuaciones, estas son aplicables tanto a gravas como a arenas.

- a) Peso Volumétrico Suelto (PVS).

$$PVS = \frac{W_{mms} - W_{mv}}{V}$$

- b) Peso Volumétrico Varillado (PVV).

$$PVS = \frac{W_{mmv} - W_{mv}}{V}$$

c) Porcentaje de Vacíos (e(%)).

$$e(\%) = \frac{Pe - PVS}{Pe}$$

donde:

W_{mv} : Peso de la medida vacía en kg.

W_{mm_s} : Peso de la medida más el material suelto, en kg.

W_{mm_v} : Peso de la medida más el material varillado, en kg.

V: Volumen de la medida en m^3

Pe: peso específico del material en cuestión (valores a investigar en este trabajo).

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL
 INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.11
PESO VOLUMETRICO SUELTO Y VARILLADO DEL AGREGADO GRUESO

Prueba N°. 1

Fecha: 27/10/96

Para usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4"

VOLUMEN DEL MOLDE (VM): 0.01432 m³ = 14320 cm³

PESO MOLDE (PMo): 8.693 Kg

MATERIAL (KGS.)	PESOS DE MATERIAL	
	SUELTO	VARILLADO
1	28.225	29.120
2	28.11	29.665
3	28.16	29.675
PROMEDIO	28.165	29.487

$$P_{vol} = (W \text{ de Agregado} - W \text{ molde}) / VM (\text{cm}^3)$$

	PVV (Kg/cm ³)	PVS (Kg/cm ³)	e%
Prueba 1	1363.97	1426.47	40.44
Prueba 2	1355.94	1464.53	40.79
Prueba 3	1359.43	1465.22	40.64
Promedio	1359.78	1452.07	40.62

Laboratorista: E.A.G.P.

Reviso: C.J.P.B

donde:

VM: Volumen de Molde.

W: Pesos.

3.1.3.4 RESISTENCIA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO UTILIZANDO LA MAQUINA DE LOS ANGELES (ASTM C-131)

La resistencia a la abrasión de un agregado grueso se usa a menudo como un índice de calidad. Esta es esencial cuando el agregado será utilizado en concreto que estará sometido a la abrasión, como pavimentos o pisos que es el caso de interés en este trabajo, en estos casos se debe tomar muy en cuenta la dureza del agregado grueso, como también una pasta de calidad.

La prueba más común de resistencia al desgaste y al impacto, la cual es utilizada en este estudio es la Prueba de Los Angeles de acuerdo al método ASTM C-131; debido a que el tamaño máximo es de 19 mm (3/4") y ésta tiene aplicación para agregados gruesos menores de 1 1/2", la granulometría resultó ser Tipo "B". Los resultados son mostrados en la **Tabla 3.12**, los cuales reflejan una buena resistencia al desgaste.

TABLA 3.12
ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESGASTE
CON LA PRUEBA DE LOS ANGELES (ASTM C-131)

MATERIAL: GRAVA Nº 1

PROCEDENCIA: PEDRERA PROTERRA, ATEOS, DPTO. SONSONATE

FECHA: 7/ OCTUBRE/ 1996

VELOCIDAD DE LA MAQUINA: 33 Rev/min.

Nº DE REVOLUCIONES: 500

Nº DE ESFERAS: 11

PESO DE ESFERAS: 4584 ± 25 gr.

GRANULOMETRIA TIPO "B"		PRUEBA Nº		
PESO DE MUESTRAS (gr.)		1	2	3
RETENIDO EN	1/2"=2500±50	2500	2500	2500
MALLA	3/8"=2500±50	2500	2500	2500
Peso total de la muestra (a)		5000	5000	5000
Peso final de la muestra (b)				
retenido en la malla Nº 12		3875.7	3954.2	3861.1
% de desgaste= ((a-b)/a)x100		22.486	20.916	22.778
% de desgaste promedio		22.06		
% de desgaste según norma		50		

OBSERVACIONES: Los pesos de los agregados ya fueron destarados.

LABORATORISTA: C.J.P.B

REVISOR: E.A.G.P.

3.1.3.5**ADITIVO INCLUSOR DE AIRE**

El aditivo utilizado como inclusor de aire es el conocido comercialmente como **SIKA AER** de la fábrica **SIKA**, a éste aditivo no se le realizaron pruebas de laboratorio.

El **SIKA AER** es un líquido café oscuro que se utiliza como agente atrapador de aire, es una solución concentrada de resina Vinsol neutralizada. Es usado como un aditivo para incrementar la resistencia del concreto al agua. De uso general en pavimentos, placas, concreto arquitectónico, cubiertas. También incrementa la trabajabilidad de mezclas pobres y livianas.

El **SIKA AER** cumple con la Norma **ASTM C-260** como aditivo incorporador de aire.

Densidad: 1.0 kg/lit aproximadamente.

Los datos fueron tomados de la hoja técnica del **SIKA-AER**

3.2 PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO.

En base a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio que se realizaron a los componentes del concreto y cuyos datos han sido presentados anteriormente, se estableció las proporciones mediante un diseño de mezclas. El método de diseño utilizado fue el “Método de Proporcionamiento por Peso” (ACI-214).^{21(,)}

En cuanto al concreto fresco se le hizo la pruebas de revenimiento, toma de temperatura y medición del aire atrapado; y al concreto endurecido se le efectuaron las pruebas de resistencia a la compresión, tensión y flexión.

3.2.1 MEDICION DEL AIRE INCLUIDO (ASTM C-231).

La medición de aire se hizo en cada una de las pruebas realizadas por medio del Press-Ur-Meter CT-129, el cual es un medidor de aire de 0.007 m³ (1/4 pies cúbicos) que se utiliza para determinar rápidamente el porcentaje de aire atrapado en el concreto fresco, con un tamaño no mayor de 2 pulgadas.

Este consta de una varilla compactadora, jeringa para la inyección de agua, recipiente de calibración y una barra enrasadora.

Entre sus características principales están:

- **Indicador de lectura directa, 89 mm de diámetro (3½ pul).**
- **Bomba manual incorporada con válvula de alivio instantánea.**
- **Abrazaderas de la tapa de rápido desenganche.**

Este medidor de aire cumple con las siguientes normas de ensayo: ASTM C- 231, D-4767; AASHTO T-152.

3.2.1.1 MANEJO DEL MEDIDOR DE AIRE PRESS-UR-METER CT-129.

El medidor de aire que se ha utilizado es un mecanismo a presión de manejo sencillo y que consta de mecanismos para accionarlo muy fácilmente (ver **figura 3.1**), como el que a continuación se detalla:

1º- Preparación del tazón:

Quitar las abrazaderas de la tapa, para proceder a la colocación del concreto, llenar por completo el tazón y enrasarlo con la barra enrasadora. Luego de enrasado el tazón sellarlo con las abrazaderas (ver **figura 3.2**)

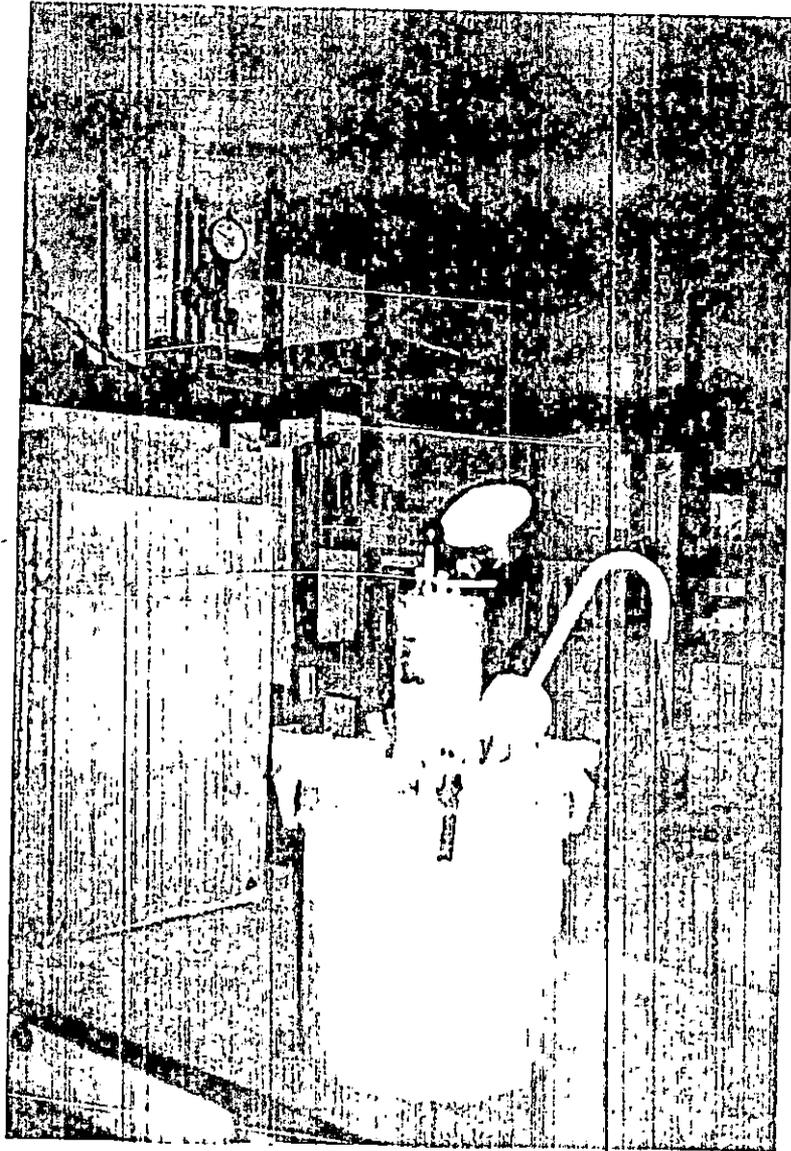


Figura 3.1 Medidor de Aire para Concretos Press-Ur-Meter CT-129 (ASTM C-231).

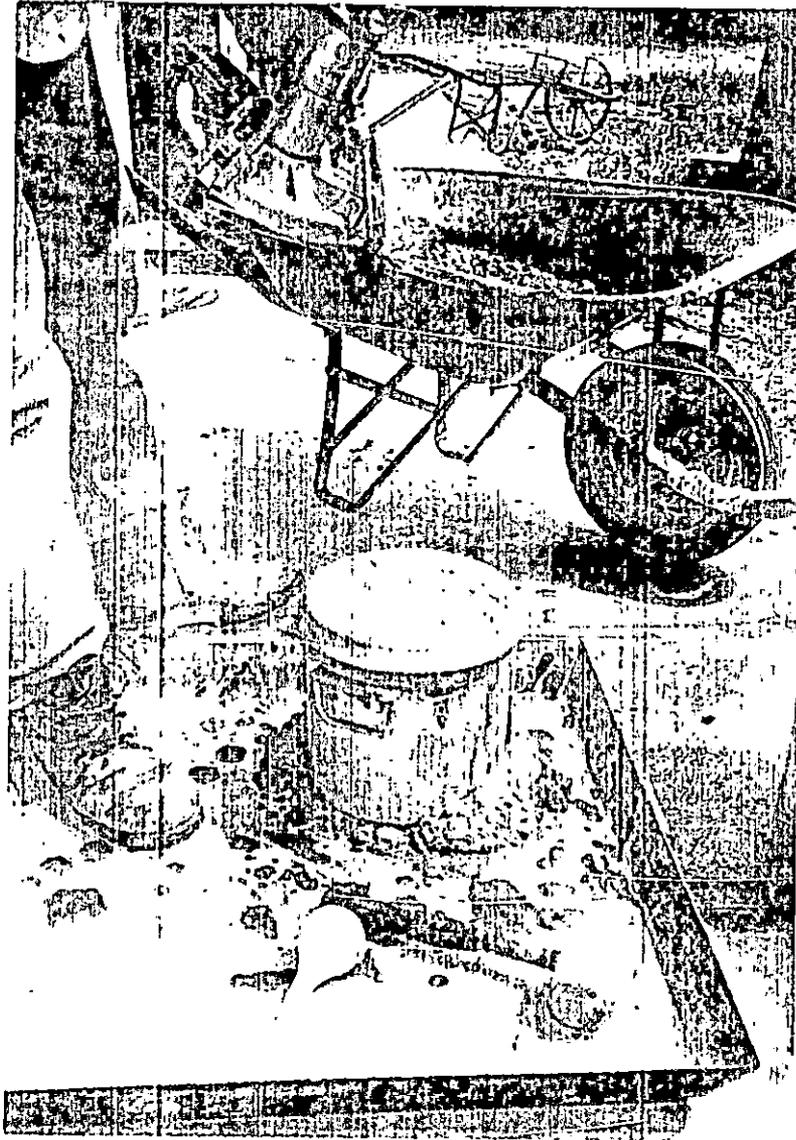


Figura 3.2 Preparación del tazón (llenado, enrasado y sellado)

- 2º Medición del aire en el concreto:
- a) Cerrar bien el sellador a presión del aparato, liberando antes la presión si existiere, colocado en la parte superior del tazón.
 - b) Llenar los vacíos del tazón con agua desairada de preferencia, o desairarlo golpeado con el mazo hasta ver que no aparezcan burbujas, luego sellar uno de los orificios laterales y colocarle uno de los vástagos. Inyectar más agua con la jeringa hasta observar que al golpear con el mazo ya no aparezcan más burbujas (ver **figura 3.3**).
 - c) Manualmente dar presión a la bomba hasta observar que el disco marque cero ("0"), luego que la válvula de alivio liberar la presión dentro del tazón sellado y leer directamente el porcentaje de aire presente en el concreto.

3.2.2 DISEÑO DE MEZCLAS.

Existe diversidad de métodos para el diseño de mezclas, no obstante, los más usados son dos; uno de ellos esta basado en cálculos del volumen absoluto ocupado por los componentes del concreto, y el otro que es el de nuestro interés está basado en un peso estimado del concreto por volumen unitario, éste se realizará utilizando para su cálculo un programa Basic con una computadora personal Casio FX-880P. El programa se detalla a continuación:

PROGRAMA BASIC PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

```

1   Clear: Cls
5   Print "Diseño de Mezclas"
10  Print "Datos de grava"
15  Input "peso específico"; D2
20  Input "Porcentaje de absorción"; D3
25  Input "P.V.V."; D5
30  Input "Contenido de Humedad"; D6
35  Print "Datos de arena"
40  Input "Peso específico"; D7
45  Input "% de absorción"; D8
50  Input "Contenido de humedad"; D9
60  Input "Agua requerida"; D12
65  Input "Relación A/C"; D13
70  Input "Relación tamaño máximo y MF"; D14
75  Input "Porcentaje de aire"; D15
80  R1= D12/D13: R2= D14*D5: R3= R1/3.15: R4= D12: R5= D15/100*1000
85  R6=R2/D2: R8= 1000-(R3+R4+R5+R6): R7= R8*D7: R9= D6/100+1: R10=
    D9/100+1: RG= R9*R2: RA= R10*R7
90  R11= D12-(R2*((D6-D3)/100))-(R7*((D9-D8)/100))
95  R12=R1/42.5: R13= R11/R12: R14= RG/R12: R15= RA/R12: C=3.15
98  SET F2
99  PRINT "C="; R1
100 PRINT "COLUMNA 1 C="; R1; "A="; D12; "G="; R2; "AR="; R7
105 PRINT "COLUMNA 3 C="; R3; "A="; R4; "AI="; R5; "G="; R6; "AR="; R8
110 PRINT "COLUMNA 5 G="; R9; "AR="; R10
115 PRINT "COLUMNA 10 C="; R1; "A="; R11; "G="; RG; "AR="; RA
120 PRINT "COLUMNA 11 A="; R13; "G="; R14; "AR=" R15
126 SET N
130 END.

```

Nota: programa diseñado para computadora personal Casio FX 850P/ 880P



Figura 3.3 Desairado y manejo del medidor de aire a presión.

En la presente investigación se elaboraron 15 diferentes diseños de mezclas, a estos se les adjuntan sus diferentes formatos con sus diversas correcciones. Las diferentes mezclas de concreto se dividen así:

- 1 mezcla testigo (sin aire incorporado y sin temperatura incrementada) para las siguientes resistencias: 210, 280 y 350 kg/cm². Total: 3 mezclas, 12 cilindros (2 a compresión, 2 a tensión) y 6 vigas.
- 2 mezclas con temperatura incrementada entre los 25-30 °C y los 30-35 °C para las siguientes resistencias: 210, 280 y 350 kg/cm². Total: 12 mezclas, 30 cilindros (15 a tensión, 15 a compresión) y 15 vigas.
- 1 mezcla con aire incorporado al 4% y al 6% para las mismas resistencias. Total: 6 mezclas, 24 cilindros (12 a tensión, 12 a compresión) y 12 vigas.
- * **Total de especímenes a ser sometidos a pruebas: 66 cilindros, 33 vigas.**

A continuación se detallan las diferentes dosificaciones hechas, en ellas se detalla el procedimiento realizado. Ver Tablas 3.13 a 3.28.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.12
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 1 Fecha: 22/10/96 Hora: 9:30 am

Para usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP

Reviso: CJPB

F'c = 210 Kg/cm² F'c (diseño) = 280 Kg/cm² Revenimiento = 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	5.26 (1)	1.99 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78 *	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 0 % (9) Conte. de Aire Atrap.: 2 % (9) (De T 5.3.1)

Tipo de Cemento: IPM Rel. A/C: 0.55 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp. del Concreto: 29 °C Reven. Obtenido: 5.5"

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1° RESULTADOS: Kg/m³ 2° RESULTADOS: LTS CALCULO FINAL PARA 1m³ EN Kg

CEMENTO: (12)/(10)=	363.64 (13)	(13)x(a)=	115.44 (13)	
AGUA: (12)=	200.00 (14)	(14)x1=	200 (14)-((16)x((2)-(4))/100)-((17)x((1)-(3))/100)	
AIRE: (9)/100=	0.02 (15)	(15)x1000 =	20 -----	
GRAVA #1: (11)x7=	936.59 (16)	(16)x(5)=	358.84 (16)x(((1)-(3))/100+1)	
ARENA: (17)x4=	727.60 (17)	(17)x(4)=	305.71 (17)x(((2)-(4))/100+1)	
		TOTAL=	1000.00	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 363.64
 AGUA: 194.32
 GRAVA: 932.37
 ARENA: 737.50

DOSIFICACION PARA 0.065 M³ DE CONCRETO

CEMENTO:	23.636 Kg
AGUA:	12.631 Kg
GRAVA:	60.604 Kg
ARENA:	47.937 Kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.13
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 2 Fecha: 24/10/96 Hora: 10:30 am

Para usarse en : LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP Reviso: CJPB

F'c=280 Kg/cm² F'c (diseño)= 365 Kg/cm² Revenimiento= 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	4.8 (1)	2.77 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	---	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 0 %(9) Conte. de Aire Atrap.: 2 %(9) (De T 5.3.3)

Tipo de Cemento: I PM Rel. A/C: 0.465 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp. del Concreto: 30 °C Reven. Obtenido: 5 pul.

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1º RESULTADOS:Kg/m ³	2º RESULTADOS:LTS	CALCULO FINAL PARA 1m ³ EN:Kg
CEMENTO: (12)/(10)= 430.11 (13)	(13)x(a)= 136.54 (13)	
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200 (14)-(((16)x((2)-(4)))/100)-((17)x((1)-(3)))/100	
AIRE: (9)/100= 0.02 (15)	(15)x1000 = 20	---
GRAVA #1: (11)x7= 936.59 (16)	(16) x(5)= 358.84 (16) x (((1)-(3))/100+1)	
ARENA: 677.38 (17)	(17)x(4)= 284.61 (17) x (((2)-(4))/100+1)	
	TOTAL= 1000	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 430.11
 AGUA: 190.81
 GRAVA: 939.68
 ARENA: 683.48

DOSIFICACION PARA 0.065 M³ DE CONCRETO	
CEMENTO:	27.96 Kg
AGUA:	12.40 Kg
GRAVA:	61.08 Kg
ARENA:	44.43 Kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.14
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 3Fecha: 25/10/96Hora: 11:00 amPara usarse en : LOSAS Y PISOS DE CONCRETOLaboratorista: EAGPReviso: CJPBF'c= 350 Kg/cm²F'c (diseño)= 435 Kg/cm²Revenimiento= 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	6.18 (1)	2.64 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: NormalesConten. de Aire Incl.: 0 % (9) Conte. de Aire Atrap.: 2 % (9)Tipo de Cemento: I PM Rel. A/C: 0.395 (10)Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)Temp. del Concreto: 29 °C Reven. Obtenido: 5.5"

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 mt³ DE CONCRETO:

1° RESULTADOS: Kg/m³

2° RESULTADOS: LTS

CALCULO FINAL PARA 1m³ EN: Kg

CEMENTO: (12)/(10)= 506.33 (13)	(13)x(a)= 160.74 (13)	
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200 (14)-((16)x((2)-(4))/100)-((17)x((1)-(3))/100)	
AIRE: (9)/100= 0.02 (15)	(15)x1000 = 20	
GRAVA #1: (12)x7= 936.59 (16)	(16) x(5)= 358.84 (16) x [((1)-(3))/100+1]	
ARENA: 619.79 (17)	(17)x(4)= 260.42 (17) x [((2)-(4))/100+1]	
	TOTAL= 1000.00	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 506.33
 AGUA: 184.00
 GRAVA: 938.46
 ARENA: 633.92

DOSIFICACION PARA 0.065 M³ DE CONCRETO

CEMENTO:	32.91 Kg
AGUA:	11.96 Kg
GRAVA:	61.00 Kg
ARENA:	41.20 Kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 TRABAJO DE GRADUACION:
 "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
 Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.15
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 7 Fecha: 29/10/96 Hora: 9:30 am

Para usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP

Reviso: CJPB

F'c=210 Kg/cm² F'c (diseño)= 280 Kg/cm² Revenimiento= 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	5.26 (1)	1.99 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 0 %(9) Conte. de Aire Atrap.: 2 %(9)

Tipo de Cemento: 1 PM Rel. A/C: 0.55 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp del Concreto: 29 °C Reven. Obtenido: 5.5"

INTERVALO DE TEMPERATURA: 25 a 30 °C

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1º RESULTADOS: Kg/m ³	2º RESULTADOS: LTS	CALCULO FINAL PARA 1m ³ EN: Kg
CEMENTO: (12)/(10)= 363.64 (13)	(13)x(a)= 115.44 (13)	
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200 (14)-(((16)x(((2)-(4))/100))-((17)x(((1)-(3))/100))	
AIRE: (9)/100= 0.02 (15)	(15)x1000 = 20 -----	
GRAVA #1. (12)x7= 936.59 (16)	(16)x(5)= 358.84 (16) x [(((1)-(3))/100+1]	
ARENA: 727.60 (17)	(17)x(4)= 305.71 (17)x[(((2)-(4))/100+1]	
	TOTAL= 1000.00	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 363.64
 AGUA: 194.32
 GRAVA: 932.37
 ARENA: 737.50

DOSIFICACIÓN PARA 0.065 M ³ DE CONCRETO	
CEMENTO:	23.64 Kg
AGUA:	12.63 Kg
GRAVA:	60.60 Kg
ARENA:	47.94 Kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.16
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 5Fecha: 24/10/96Hora: 10:30 amPara usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETOLaboratorista: EAGPReviso: CJPBF'c=280 Kg/cm²F'c (diseño)= 365 Kg/cm²Revenimiento= 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	4.8 (1)	2.77 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: NormalesConten. de Aire Incl.: 0 %(9) Conte. de Aire Atrap.: 2 %(9)Tipo de Cemento: I PMRel. A/C: 0.465 (10)Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)Temp. del Concreto: 30 °CReven. Obtenido: 5 pul.

INTERVALO DE TEMPERATURA DE 25 a 30 °C

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1° RESULTADOS: Kg/m ³	2° RESULTADOS: LTS	CALCULO FINAL PARA 1m ³ EN: Kg
CEMENTO: (12)/(10)= 430.11 (13)	(13)x(a)= 136.54 (13)	
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200 (14)-((16)x(((2)-(4))/100))-((17)x((1)-(3))/100)	
AIRE: (9)/100= 0.02 (15)	(15)x1000= 20	----
GRAVA #1: (12)x7= 936.59 (16)	(16)x(5)= 358.84 (16) x [((1)-(3))/100+1]	
ARENA: 677.38 (17)	(17)x(4)= 284.61 (17) x [((2)-(4))/100+1]	
	TOTAL= 1000	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 430.11
 AGUA: 190.81
 GRAVA: 939.68
 ARENA: 683.48

DOSIFICACION PARA 0.065 M³ DE CONCRETO

CEMENTO: 27.96	Kg
AGUA: 12.40	Kg
GRAVA: 61.08	Kg
ARENA: 44.43	Kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.17
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 6 Fecha: 25/10/96 Hora: 11:00 am

Para usarse en : LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP

Reviso: CJPB

F'c= 350 Kg/cm²

F'c (diseño)= 435 Kg/cm²

Revenimiento= 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	6.18 (1)	2.64 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 0 %(9) Conte. de Aire Atrap.: 2 %(9)

Tipo de Cemento: I PM Rel. A/C: 0.395 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp. del Concreto: 29 °C Reven. Obtenido: 5.5"

INTERVALO DE TEMPERATURA 30 a 35 °C

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 mt³ DE CONCRETO:

1º RESULTADOS:Kg/m ³	2º RESULTADOS:LTS	CALCULO FINAL PARA 1m ³ EN:Kg
CEMENTO: (12)/(10)= 506.33 (13)	(13)x(a)= 160.74 (13)	(13)
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200 (14)-(((16)x((2)-(4))/100)-((17)x((1)-(3))/100)	
AIRE: (9)/100= 0.02 (15)	(15)x1000 = 20	
GRAVA #1: (12)x7= 936.59 (16)	(16)x(5)= 358.84 (16) x [((1)-(3))/100+1]	
ARENA: 619.79 (17)	(17)x(4)= 260.42 (17) x [((2)-(4))/100+1]	
	TOTAL= 1000.00	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 506.33
 AGUA: 184.00
 GRAVA: 938.46
 ARENA: 633.92

DOSIFICACION PARA 0.065 M³ DE CONCRETO	
CEMENTO:	32.91 Kg
AGUA:	11.96 Kg
GRAVA:	61.00 Kg
ARENA:	41.20 Kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.18
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 7 Fecha: 29/10/96 Hora: 10:30 am

Para usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP

Reviso: CJPB

F'c = 210 Kg/cm²

F'c (diseño) = 280 Kg/cm²

Revenimiento = 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	5.68 (1)	2.22 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 0 % (9) Conte. de Aire Atrap.: 2 % (9)

Tipo de Cemento: I PM Rel. A/C: 0.55 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp. del Concreto: 29 °C Reven. Obtenido: 5.5"

INTERVALO DE TEMPERATURA: 30 a 35 °C

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1° RESULTADOS: Kg/m³

2° RESULTADOS: LTS

CALCULO FINAL PARA 1m³ EN: Kg

CEMENTO: (12)/(10)=	363.64 (13)	(13)x(a)=	115.44 (13)
AGUA: (12)=	200.00 (14)	(14)x1=	200 (14)-((16)x(((2)-(4))/100))-((17)x((1)-(3))/100)
AIRE: (9)/100=	0.02 (15)	(15)x1000=	20 -----
GRAVA #1: (12)x7=	936.59 (16)	(16)x(5)=	358.84 (16) x (((1)-(3))/100+1)
ARENA: 727.60 (17)		(17)x(4)=	305.71 (17)x(((2)-(4))/100+1)
		TOTAL=	1000.00

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 363.64
 AGUA: 189.11
 GRAVA: 934.52
 ARENA: 740.55

DOSIFICACION PARA 0.065 M ³ DE CONCRETO	
CEMENTO:	23.64 Kg
AGUA:	12.29 Kg
GRAVA:	60.74 Kg
ARENA:	48.14 Kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.19
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 8 Fecha: 12/11/96 Hora: 9:30 am

Para usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP

Reviso: CJPB

F'c=210 Kg/cm² F'c (diseño)=280 Kg/cm² Revenimiento=2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%v	4.9 (1)	2.11 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 0 %(9) Conte. de Aire Atrap.: 2 %(9)

Tipo de Cemento: 1PM Rel. A/C: 0.55 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp. del Concreto: 29 °C Reven. Obtenido: 5.5"

INTERVALO DE TEMPERATURA: 30 a 35 °C

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1° RESULTADOS:Kg/m ³	2° RESULTADOS:LTS	CALCULO FINAL PARA 1m ³ EN:Kg
CEMENTO: (12)/(10)= 363.64 (13)	(13)x(a)= 115.44 (13)	
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200 (14)-(((16)x((2)-(4)))/100)-((17)x((1)-(3)))/100)	
AIRE: (9)/100= 0.02 (15)	(15)x1000 = 20 -----	
GRAVA #1: (12)x7= 936.59 (16)	(16)x(5)= 358.84 (16) x [(((1)-(3))/100+1]	
ARENA: 727.60 (17)	(17)x(4)= 305.71 (17)x[(((2)-(4)))/100+1]	
	TOTAL= 1000.00	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 363.64
 AGUA: 195.81
 GRAVA: 933.49
 ARENA: 734.88

DOSIFICACION PARA 0.065 M ³ DE CONCRETO	
CEMENTO:	23.64 Kg
AGUA:	12.73 Kg
GRAVA:	60.68 Kg
ARENA:	47.77 Kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.20
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 9 Fecha: 13/11/96 Hora: 9:30 am

Para usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP

Reviso: CJPB

F'c=280 Kg/cm² F'c (diseño)= 365 Kg/cm² Revenimiento= 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	6.16 (1)	2.28 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 0 %(9) Conte. de Aire Atrap.: 2 %(9)

Tipo de Cemento: I PM Rel. A/C: 0.465 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp. del Concreto: 30 °C Reven. Obtenido: 5 pul.

INTERVALO DE TEMPERATURA DE 30 a 35 °C

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1° RESULTADOS:Kg/m ³	2° RESULTADOS:LTS	CALCULO FINAL PARA 1m ³ EN:Kg
CEMENTO: (12)/(10)= 430.11 (13)	(13)x(a)= 136.54 (13)	(13)
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200 (14)-((16)x((2)-(4))/100)-((17)x((1)-(3))/100)	
AIRE: (9)/100= 0.02 (15)	(15)x1000 = 20 -----	
GRAVA #1: (12)x7= 936.59 (16)	(16)x(5)= 358.84 (16) x (((1)-(3))/100+1)	
ARENA: 677.38 (17)	(17)x(4)= 284.61 (17) x (((2)-(4))/100+1)	
	TOTAL= 1000	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 430.11
 AGUA: 186.19
 GRAVA: 935.09
 ARENA: 692.69

DOSIFICACION PARA 0.065 M ³ DE CONCRETO	
CEMENTO: 27.96	Kg
AGUA: 12.10	Kg
GRAVA: 60.78	Kg
ARENA: 45.02	Kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.21
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 10 Fecha: 14/11/96 Hora: 9:00 am

Para usarse en : LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP

Reviso: CJPB

F'c= 350 Kg/cm²

F'c (diseño)= 435 Kg/cm²

Revenimiento= 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	5.63 (1)	2.58 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 0 % (9) Conte. de Aire Atrap.: 2 % (9) (De T 5.3.3)

Tipo de Cemento: 1 PM Rel. A/C: 0.395 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp. del Concreto: 29 °C Reven. Obtenido: 5.5"

INTERVALO DE TEMPERATURA 30 a 35 °C

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1º RESULTADOS: Kg/m ³	2º RESULTADOS: LTS	CALCULO FINAL PARA 1m ³ EN: Kg
CEMENTO: (12)/(10)= 506.33 (13)	(13)x(a)= 160.74 (13)	
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200 (14)-((16)x(((2)-(4))/100))-((17)x(((1)-(3))/100)	
AIRE: (9)/100= 0.02 (15)	(15)x1000 = 20	
GRAVA #1: (11)x7= 936.59 (16)	(16) x(5)= 358.84 (16) x (((1)-(3))/100+1)	
ARENA: 619.79 (17)	(17)x(4)= 260.42 (17) x (((2)-(4))/100+1)	
	TOTAL= 1000.00	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 506.33
 AGUA: 187.97
 GRAVA: 937.90
 ARENA: 630.51

DOSIFICACION PARA 0.065 M³ DE CONCRETO	
CEMENTO:	32.91 Kg
AGUA:	12.22 Kg
GRAVA:	60.96 Kg
ARENA:	40.98 Kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.25
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 12 Fecha: 15/11/96 Hora: 10:30 am

Para usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP

Reviso: CJPB

F'c=210 Kg/cm² F'c (diseño)= 280 Kg/cm² Revenimiento= 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	5.79 (1)	2.58 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 6 %(9) Conte. de Aire Atrap.: 2 %(9) (De T 5.3.3)

Tipo de Cemento: I PM Rel. A/C: 0.55 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp. del Concreto: 29 °C Reven. Obtenido: 5.5"

CONCRETO CON AIRE INCORPORADO

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1° RESULTADOS:Kg/m ³	2° RESULTADOS:LTS	CALCULO FINAL PARA 1m ³ EN:Kg
CEMENTO: (12)/(10)= 363.64 (13)	(13)x(a)= 115.44 (13)	
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200 (14)-((16)x(((2)-(4))/100)-((17)x(((1)-(3))/100))	
AIRE: (9)/100= 0.08 (15)	(15)x1000= 60.00 -----	
GRAVA #1: (11)x7= 936.59 (16)	(16)x(5)= 358.84 (16)x(((1)-(3))/100+1)	
ARENA: 632.40 (17)	(17)x(4)= 265.71 (17)x(((2)-(4))/100+1)	
	TOTAL= 1000.00	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 363.64
 AGUA: 186.74
 GRAVA: 937.90
 ARENA: 644.35
 ADITIVO: 1. oz/42.5 kg de cemento
 ***1 oz. = 0.028 kg.

DOSIFICACION PARA 0.065 M³ DE CONCRETO	
CEMENTO:	23.64 Kg
AGUA:	12.14 Kg
GRAVA:	60.96 Kg
ARENA:	41.88 Kg
ADITIVO:	0.02 kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.22
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 12 Fecha: 19/11/96 Hora: 10:30 am

Para usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP

Reviso: CJPB

F'c=280 Kg/cm² F'c (diseño)= 365 Kg/cm² Revenimiento= 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	4.43 (1)	1.48 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 6 %(9) Conte. de Aire Atrap.: 2 %(9) (De T 5.3.3)

Tipo de Cemento: I PM Rel. A/C: 0.465 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp. del Concreto: 29 °C Reven. Obtenido: 5.5"

CONCRETO CON AIRE INCORPORADO

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1° RESULTADOS: Kg/m ³	2° RESULTADOS: LTS	CALCULO FINAL PARA 1m ³ EN: Kg
CEMENTO: (12)/(10)= 430.11 (13)	(13)x(a)= 136.54 (13)	
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200 (14)-((16)x(((2)-(4))/100))-((17)x(((1)-(3))/100)	
AIRE: (9)/100= 0.08 (15)	(15)x1000= 80.00 -----	
GRAVA #1: (11)x7= 936.59 (16)	(16)x(5)= 358.84 (16)x(((1)-(3))/100+1)	
ARENA: 534.58 (17)	(17)x(4)= 224.61 (17)x(((2)-(4))/100+1)	
	TOTAL= 1000.00	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 430.11
 AGUA: 206.16
 GRAVA: 927.59
 ARENA: 537.41
 ADITIVO: 1. oz/42.5 kg de cemento

***1 oz. = 0.028 kg.

DOSIFICACION PARA 0.065 M ³ DE CONCRETO	
CEMENTO:	27.96 Kg
AGUA:	13.40 Kg
GRAVA:	60.29 Kg
ARENA:	34.93 Kg
ADITIVO:	0.03 kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.24
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 12 Fecha: 15/11/96 Hora: 10:30 am

Para usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP

Reviso: CJPB

F'c = 210 Kg/cm² F'c (diseño) = 280 Kg/cm² Revenimiento = 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	5.79 (1)	2.58 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 6 % (9) Conte. de Aire Atrap.: 2 % (9) (De T 5.3.3)

Tipo de Cemento: IPM Rel. A/C: 0.55 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp. del Concreto: 29 °C Reven. Obtenido: 5.5"

CONCRETO CON AIRE INCORPORADO

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1° RESULTADOS: Kg/m ³	2° RESULTADOS: LTS	CALCULO FINAL PARA 1m ³ EN: Kg
CEMENTO: (12)/(10)= 363.64 (13)	(13)x(a)= 115.44 (13)	
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200 (14)	(14)-((16)x(((2)-(4))/100))-((17)x(((1)-(3))/100))
AIRE: (9)/100= 0.08 (15)	(15)x1000 = 80.00	-----
GRAVA #1: (11)x7= 936.59 (16)	(16)x(5)= 358.84 (16)	(16)x(((1)-(3))/100+1)
ARENA: 584.80 (17)	(17)x(4)= 245.71 (17)	(17)x(((2)-(4))/100+1)
	TOTAL= 1000.00	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 363.64
 AGUA: 187.64
 GRAVA: 937.90
 ARENA: 595.85
 ADITIVO: 1. oz/42.5 kg de cemento

***1 oz. = 0.028 kg.

DOSIFICACION PARA 0.065 M ³ DE CONCRETO	
CEMENTO:	23.64 Kg
AGUA:	12.20 Kg
GRAVA:	60.96 Kg
ARENA:	38.73 Kg
ADITIVO:	0.02 kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.26
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 15 Fecha: 19/11/96 Hora: 10:30 am

Para usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP

Reviso: CJPB

F'c=280 Kg/cm² F'c (diseño)= 365 Kg/cm² Revenimiento= 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	4.43 (1)	1.48 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 4 %(9) Conte. de Aire Atrap.: 2 %(9) (De Tabla 1)

Tipo de Cemento: 1 PM Rel. A/C: 0.465 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp. del Concreto: 29 °C Reven. Obtenido: 5.5"

CONCRETO CON AIRE INCORPORADO

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1° RESULTADOS: Kg/m ³	2° RESULTADOS: LTS	CALCULO FINAL PARA 1m ³ EN: Kg
CEMENTO: (12)/(10)= 430.11 (13)	(13)x(a)= 136.54 (13)	
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200.00 (14)-((16)x(((2)-(4))/100))-((17)x((1)-(3))/100)	
AIRE: (9)/100= 0.06 (15)	(15)x1000 = 60.00	-----
GRAVA #1: (11)x7= 936.59 (16)	(16)x(5)= 358.84 (16)x(((1)-(3))/100+1)	
ARENA: 582.18 (17)	(17)x(4)= 244.61 (17)x(((2)-(4))/100+1)	
	TOTAL= 1000.00	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 430.11
 AGUA: 205.91
 GRAVA: 927.59
 ARENA: 585.26
 ADITIVO: 1. oz/42.5 kg de cemento

***1 oz. = 0.028 kg.

DOSIFICACION PARA 0.065 M³ DE CONCRETO	
CEMENTO:	27.96 Kg
AGUA:	13.38 Kg
GRAVA:	60.29 Kg
ARENA:	38.04 Kg
ADITIVO:	0.03 kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:
"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.27
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 16 Fecha: 19/11/96 Hora: 1:00 pm

Para usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP Reviso: CJPB

F'c=350 Kg/cm² F'c (diseño)= 435 Kg/cm² Revenimiento= 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	4.43 (1)	1.18 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 6 %(9) Conte. de Aire Atrap.: 2 %(9) (De T 5.3.3)

Tipo de Cemento: I PM Rel. A/C: 0.395 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp. del Concreto: 29 °C Reven. Obtenido: 7.5"

CONCRETO CON AIRE INCORPORADO

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1° RESULTADOS:Kg/m ³	2° RESULTADOS:LTS	CALCULO FINAL PARA 1m ³ EN:Kg
CEMENTO: (12)/(10)= 506.33 (13)	(13)x(a)= 160.74 (13)	
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200 (14)-(((16)x(((2)-(4))/100))-((17)x((1)-(3))/100)	
AIRE: (9)/100= 0.08 (15)	(15)x1000 = 80.00 -----	
GRAVA #1: (11)x7= 936.59 (16)	(16)x(5)= 358.84 (16)x(((1)-(3))/100+1)	
ARENA: 476.99 (17)	(17)x(4)= 200.42 (17)x(((2)-(4))/100+1)	
	TOTAL= 1000.00	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 506.33
 AGUA: 209.27
 GRAVA: 924.78
 ARENA: 479.52
 ADITIVO: 1. oz/42.5 kg de cemento

***1 oz.= 0.028 kg.

DOSIFICACION PARA 0.065 M³ DE CONCRETO	
CEMENTO:	32.91 Kg
AGUA:	13.60 Kg
GRAVA:	60.11 Kg
ARENA:	31.17 Kg
ADITIVO:	0.033 kg

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION:

**"EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO
Y DEL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"**

TABLA 3.27
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO
(DISEÑO DE MEZCLA)

Prueba N°: 14 Fecha: 19/11/96 Hora: 1:00 pm

Para usarse en: LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

Laboratorista: EAGP

Reviso: CJPB

$f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$ $f'c$ (diseño)= 435 Kg/cm^2 Revenimiento= 2 a 8 pul.

MATERIALES	ARENA	GRAVA	CEMENTO
%W	4.43 (1)	1.18 (2)	-----
ABSORCION	3.9 (3)	2.44 (4)	-----
PESO ESP.	2.38 (4)	2.61 (5)	-----
P.V.S.	1416.46	1359.78	-----
P.V.V	1522	1452.07 (7)	-----
MOD. FIN.	2.55 (8)	-----	3.15 (a)

Tamaño Máximo de Agregado: 3/4 pul. Condiciones de Intemperismo: Normales

Conten. de Aire Incl.: 6 %(9) Conte. de Aire Atrap.: 2 %(9) (De T 5.3.3)

Tipo de Cemento: I PM Rel. A/C: 0.395 (10)

Volúm. Agreg. Gr./Volúm. Unit.: 0.645 (11) Agua Requerida: 200 (12)

Temp. del Concreto: 29 °C Reven. Obtenido: 7.5"

CONCRETO CON AIRE INCORPORADO

CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 m³ DE CONCRETO:

1° RESULTADOS:Kg/m ³	2° RESULTADOS:LTS	CALCULO FINAL PARA 1m ³ EN:Kg
CEMENTO: (12)/(10)= 506.33 (13)	(13)x(a)= 160.74 (13)	
AGUA: (12)= 200.00 (14)	(14)x1= 200 (14)-((16)x((2)-(4))/100)-((17)x((1)-(3))/100)	
AIRE: (9)/100= 0.08 (15)	(15)x1000= 80.00	-----
GRAVA #1: (11)x7= 936.59 (16)	(16)x(5)= 358.84 (16)x(((1)-(3))/100+1)	
ARENA: 476.99 (17)	(17)x(4)= 200.42 (17)x(((2)-(4))/100+1)	
	TOTAL= 1000.00	

CANTIDADES FINALES:

CEMENTO: 506.33
AGUA: 209.27
GRAVA: 924.78
ARENA: 479.52
ADITIVO: 1. oz/42.5 kg de cemento

***1 oz.= 0.028 kg.

DOSIFICACION PARA 0.065 M³ DE CONCRETO

CEMENTO:	32.91 Kg
AGUA:	13.60 Kg
GRAVA:	60.11 Kg
ARENA:	31.17 Kg
ADITIVO:	0.033 kg

3.3 CONCRETO FRESCO.

Un concreto de calidad uniforme y satisfactoria requiere que los materiales se mezclen hasta que tenga una apariencia uniforme. La mezcla de concreto debe de tener una trabajabilidad apropiada para su fácil colocación.

La trabajabilidad de una mezcla de concreto puede definirse como la facilidad que presenta ésta para ser mezclada, transportada y colocada apropiadamente en su posición final con una mínima pérdida de homogeneidad, es decir sin que se dé segregación.

La trabajabilidad depende de la proporciones y de las características físicas de los materiales, y también del equipo utilizado durante el mezclado, transporte y colocación de la mezcla. Aún así la trabajabilidad es un término relativo, por que un concreto se podrá considerar trabajable bajo ciertas condiciones y no trabajable por otras. Por ejemplo un concreto puede ser trabajable para la hechura de un pavimento, pero difícil de colocar en un muro delgado con refuerzo complicado. Por lo mismo la trabajabilidad puede definirse como una propiedad física del concreto fresco, sin hacerse referencia a las circunstancias específicas de un tipo de construcción.

Un componente muy importante de la trabajabilidad es la consistencia o fluidez de la mezcla de concreto. La consistencia de una mezcla de concreto es un término general que se refiere al carácter de la mezcla con respecto a su grado

de fluidez; y abarca todos los grados de fluidez desde la más seca hasta la más fluida de todas las mezclas posibles.³⁰

En general existen vario tipos de consistencia:

- a) **Consistencia seca:** Aquella en la cual la cantidad de agua es pequeña y simplemente la suficiente para mantener las partículas de cemento y agregado juntas.
- b) **Consistencia dura o rígida:** Posee un poco más de agua que la del tipo a).
- c) **Consistencia húmeda:** La cantidad de agua es bastante apreciable y se trata de un concreto fluido.

La consistencia se puede medir por medio de la Prueba de Revenimiento (ASTM C-143) o por la Prueba de la Esfera de Kelly (ASTM C-360). En éste trabajo se realizó la **Prueba de Revenimiento** por ser la de más fácil aplicación en el campo.

Existen diversos métodos para medir la manejabilidad y la consistencia, pero ninguno da una indicación precisa en relación con la puesta en obra, principalmente si se considera el acabado y la segregación.

La determinación de la manejabilidad óptima para un trabajo determinado depende de cierto criterio experimental.

En general, se aplican indistintamente los conceptos medida de la consistencia, de la fluidez o de la viscosidad.

³⁰ "Cartilla del Concreto", F. R. McMillan y Lewis h Tuthill, IMCYC, México D.F., 1989, pp 48.

3.3.1 FABRICACION DE ESPECIMENES.

Los especímenes se fabrican según Norma ASTM C-192 "NORMA PRACTICA PARA LA FABRICACION Y CURADO EN EL LABORATORIO DE ESPECIMENES DE PRUEBA DE CONCRETO", describiéndose en el numeral siguiente la metodología a seguir

3.3.1.1 MATERIAL Y EQUIPO

- Moldes cilíndricos de 150 mm de diámetro x 300 mm de altura, con sus respectivas bases dotadas de abrazaderas.
- Brocha
- Moldes de acero de 150 mm x 150 mm x 600 mm, para colado de vigas.
- Mezcla de concreto fresco.
- Cucharón.
- Varilla compactadora de 5/8" de diámetro con punta redondeada.
- Guantes de hule.
- Regla metálica o enrasador.

3.3.1.2 PROCEDIMIENTO.

- 1- Se engrasó los moldes y verificó que estuvieran bien armados, y que las abrazaderas estuvieran enroscadas perfectamente. Para engrasar los moldes se utilizó aceite quemado y brocha.

- 2- Se colocó los moldes en una superficie plana y firme, preferiblemente en el lugar donde quedarán hasta que se desmolden.
- 3- Se llenaron los cilindros en 3 capas con un mismo volumen de concreto y las vigas en 1 capa por ser compactada con vibrador (hacerlo en 2 capas si se hace con varilla). Después de cada capa se procedió a compactar el concreto utilizando un vibrador eléctrico, introduciéndolo de 4 a 5 veces con una duración de inmersión de 3 a 4 segundos en cada etapa.
- 4- Para la última capa, se llenó con concreto en exceso y luego se procedió a vibrar, luego se golpeó el molde con el mazo para evitar que quede demasiado aire atrapado en el concreto.
- 5- Se engrasó la parte superior del molde con la varilla engrasadora y se alisó la superficie con la cuchara de albañil húmeda.
- 6- Se procedió a identificar cada cilindro y viga con los datos siguientes:
 - a. Fecha de fabricación, b. Tipo de concreto, c. Resistencia a la compresión, para la cual fué diseñada, d. Número de cilindro o viga, e. Prueba a la que será sometido.
- 7- Se protegió la superficie de los moldes con placas de acero previamente engrasado para evitar la pérdida temprana de humedad del concreto a compresión y se dejó inmóvil por 24 horas aproximadamente, para luego ser desmoldados y ser colocados en el cuarto húmedo, en la pila de curado. (ver **figura 3.4**)

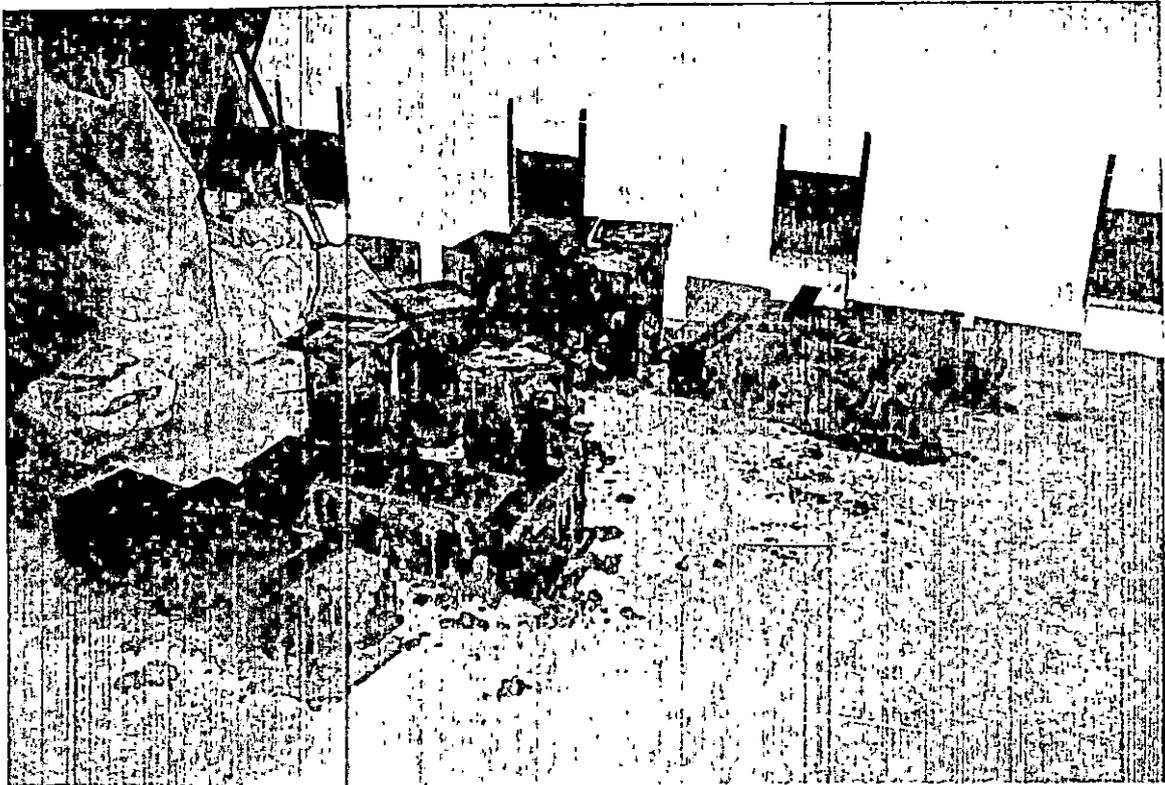


Figura 3.4 Demostración de la cubierta de acero (previamente aceiteada), colocada a los moldes cilíndricos para evitar la pérdida temprana de humedad por evaporación.

3.3.3 DISEÑO Y HECHURA DE MEZCLAS.

El diseño de mezclas se calculó todos los días de pruebas utilizando para ello las humedades de los agregados para el día de uso.

Para mezclar el concreto, se utilizó una mezcladora de gasolina con capacidad de 1 bolsa, los componentes fueron pesados en la balanza con precisión de 5 grs y el aditivo fué medido en la balanza de 0.1 gr de precisión.

Cuando se mezcló concreto en horas de mayor temperatura se le agregó agua a la mezcladora (parte externa) y después se vació, antes de iniciar la operación, para evitar la pérdida por evaporación. Siempre se colocó antes de la carga de los componentes del concreto una mezcla de cemento, arena y agua para evitar pérdidas posteriores de finos en la mezcla de prueba (lo que se conoce como **cebado**).

Las 3 mezclas realizadas fueron consolidadas con vibrador conforme a la Norma ASTM C-192; ya que su comportamiento es mejor aplicársele energía mecánica.

El tipo de vibrador fué H-25, eléctrico:

MOTOR.

Velocidad sin carga: 15,500 r.p.m.

Peso: 5.4 kg.

CABEZA VIBRATORIA

Diámetro del eje: 25mm

Largo: 440 mm

Diám. de compactación: 40 cm

Peso: 1.2 kg

Una vez colado y consolidado el concreto en los moldes, estos se dejaron sobre una superficie plana y libre de vibraciones

Las condiciones que imperaron durante el día en el proceso de elaboración de las mezclas fueron las siguientes:

- La temperatura en el laboratorio fue de 25 ± 7 °C.
- La humedad del ambiente fue variable de seca a medio húmeda.
- Las mezclas se realizaron entre las 9:30 a.m. y la 1:00 p.m. a Excepción de la última prueba que se prolongó hasta las 3:00 p.m.

Se realizaron revolturas en la mezcladora, cargas dosificadas para la fabricación de 66 cilindros de 150 mm x 300 mm, de los cuales 33 fueron probados a Tensión, 33 a compresión y 33 vigas de 150 mm x 150 mm x 600 mm para ser probadas a Flexión.

3.3.3.1 HECHURA DE DIFERENTES TIPOS DE MEZCLAS.

A. MEZCLAS TESTIGOS.

Para las mezclas testigos se siguió el procedimiento descrito:

1. Mezcla de mortero para cebar la máquina concreteira y posterior descarga,
2. Se cargó el agregado grueso,
3. Se cargó una parte de el agregado fino,
4. Se agregó el cemento,
5. Se agregó una parte del agua,

6. Se completó la arena y el agua restante.
7. Luego se mezcló por 3 minutos aproximadamente luego de haberse colocado la última cantidad de arena y agua.

El revenimiento obtenido para estas mezclas de concreto dieron como resultado un valor promedio de 4.5 pul. (ver figura 3.5).

B. MEZCLAS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA.

La mezcla con incremento de temperatura se realizó de la siguiente manera:

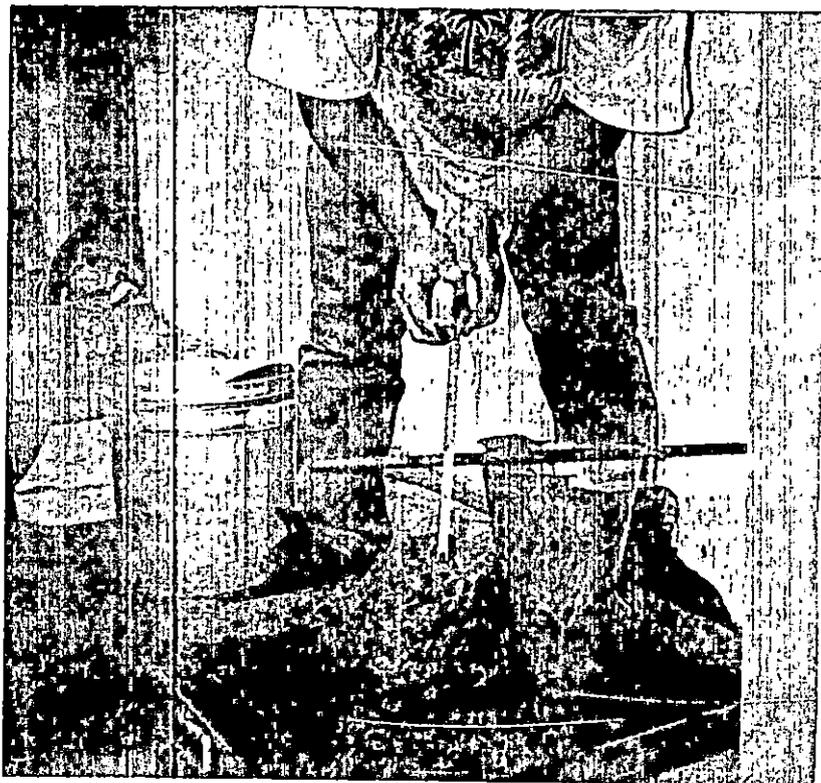
1. Se procedió a precalentar el agua siguiendo la siguiente relación: para mezclas con temperatura entre los 25 a 30 °C, se tomó el agua a temperatura ambiente la cual tenía una temperatura de 26 °C aproximadamente. Para una temperatura entre los 30 a 35 °C se hizo un incremento de temperatura de 20 ± 5 °C (todos estos datos son empíricos y no de norma). Para este tipo de mezclas se realizaron 2 diseños diferentes a 32 y 34 °C.
2. Luego de precalentar el agua se procedió a cebar la máquina concretora.
3. El procedimiento fue el mismo de los numerales 2 al 7 de las Mezclas Testigos.

El resultado promedio de las pruebas de revenimiento de estos tipos de mezcla dieron como resultado 4 pul. (ver figura 3.5)

C. MEZCLAS CON INCLUSIÓN DE AIRE.

La dosificación de las mezclas con inclusión de aire se hizo de la misma manera que las anteriores **sin hacer reducción de agua** por uso de aditivo inductor de aire, pero el orden de carga de los componentes fué el siguiente:

1. Se procedió a cebar la máquina concreteira,
2. Se cargó el agregado grueso,
3. Se cargó la mitad del agregado fino,
4. El agua y el aditivo se mezclan antes de el mezclado en la concreteira,



3.5 Toma de revenimiento a concretos sin inclusión de aire

5. Se agregó la mitad del agua de diseño y se revolvió por 2 minutos,
6. Se agregó el cemento,
7. Se agregó el restante de agregado fino y agua con aditivo,
8. Revolvió por aproximadamente 5 minutos para la creación completa de burbujas de aire.

El resultado de las pruebas de revenimiento hechas a estas mezcla dió como promedio un valor de 7.5 pul.(ver fotografía 3.6)

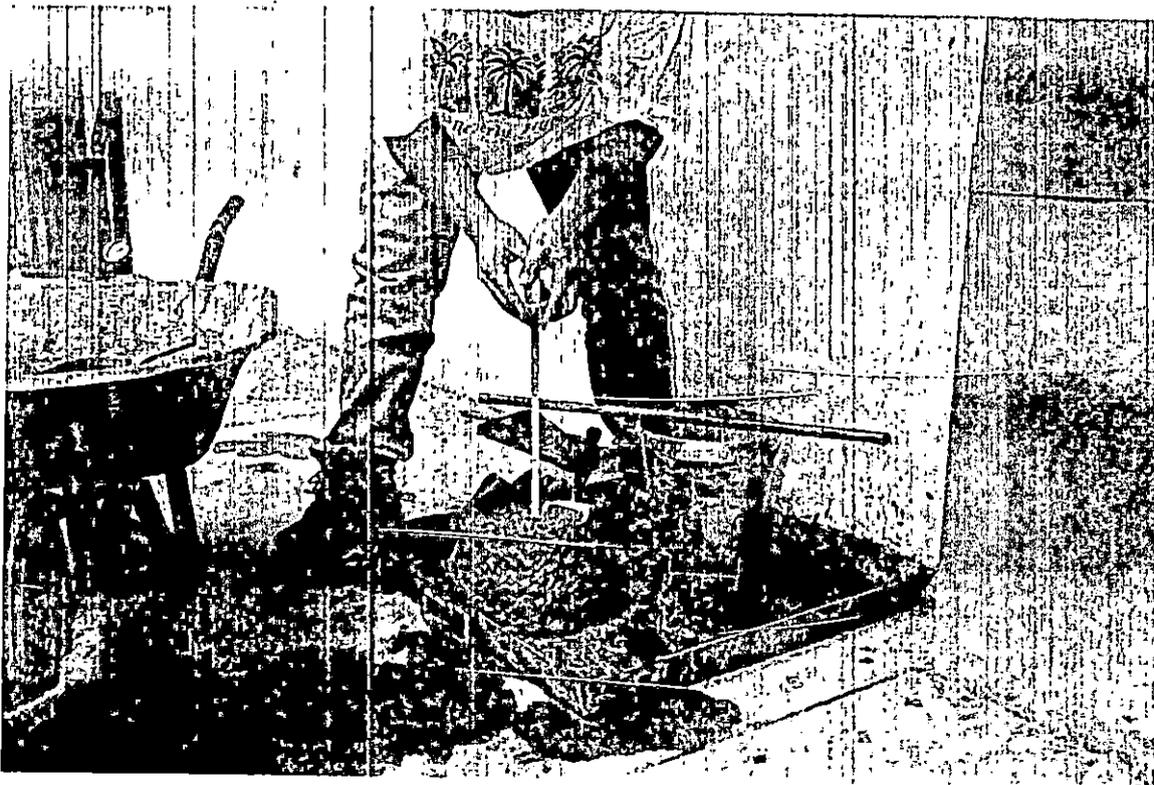


Figura 3.5 Toma de revenimiento de concretos con aire incluido, nótese el incremento en el revenimiento comparado con la figura 3.5

A continuación se muestra un cuadro comparativo (Tabla 3.29) de los resultados obtenidos en el concreto fresco de las tres mezclas realizadas como se observa en las figuras 3.4, 3.5.

TIPO DE MEZCLA	TESTIGO	CON TEMPERATURA	CON AIRE INCLUIDO
REVENIMIENTO (PUL)	5	4	7.5
SANGRADO	NO HUBO	NO HUBO	NO HUBO
SEGREGACION	NULA	NULA	NULA

TABLA 3.29 TIPO DE REVENIMIENTO, SANGRADO Y SEGREGACIÓN OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS HECHAS AL CONCRETO FRESCO.

3.4 CONCRETO ENDURECIDO

Las características tanto físicas como químicas mostradas por el concreto endurecido son el resultado de un acucioso control de calidad iniciado desde las pruebas a los componentes según las normas correspondientes hasta la ruptura de los especímenes.

Es de aclarar que la resistencia del concreto sigue aumentando a medida que avanza el tiempo; toda vez que exista algo de cemento sin hidratar y que éste se mantenga húmedo o tenga cierta cantidad de humedad relativa.

Se fabricaron cantidad suficiente de especímenes a fin de poder realizar un análisis estadístico a la ruptura del concreto a los 28 días, para todas las mezclas y así poder conocer valores promedios, desviación estándar y coeficiente de variación.

Cabe mencionar que los especímenes de concreto endurecido fueron sometidos a ciertos controles en las etapas de curado, cabeceado y ruptura de probetas, cuyas formas y procedimientos se detallan a continuación.

3.4.1 CURADO DE LOS ESPECIMENES.

El curado de los especímenes se realizó de acuerdo a las especificaciones de la Norma ASTM C-192, Describiéndose el proceso como sigue:

1. Antes de efectuar el desmoldado, los especímenes cilíndricos fueron curados de la forma siguiente:
 - 1.1. Colocando placas de acero, previamente aceitadas, así se evita la pérdida temprana de humedad por evaporación, esto a fin de obtener una temperatura entre 16 y 27 °C, para que puedan desarrollar una resistencia adecuada para su transporte (ver figura 3.4).
2. Al finalizar las 20 ± 2 horas de fabricados los cilindros y vigas, fueron cuidadosamente retirados los moldes y sumergidos en la pila de curado a una temperatura de 23 ± 1.7 °C hasta el momento de ensayo hasta cumplir con la edad de 28 días cada espécimen. (Ver figura 3.7).

3.4.2 CABECEO DE LOS ESPECIMENES.

El cabeceo es una superficie plana de materiales apropiados elaborados para asegurar una correcta distribución de esfuerzos en la aplicación de carga a los cilindros de concreto durante el ensayo de compresión.

El cabeceo de los especímenes de prueba de éste trabajo de graduación se hizo utilizando almohadillas de neopreno que resultan competitivas con el azufre, más si se tiene en cuenta el costo asociado con los riesgos de incendio, quemaduras e intoxicación que tiene el azufre. (Ver Tabla 3.30)

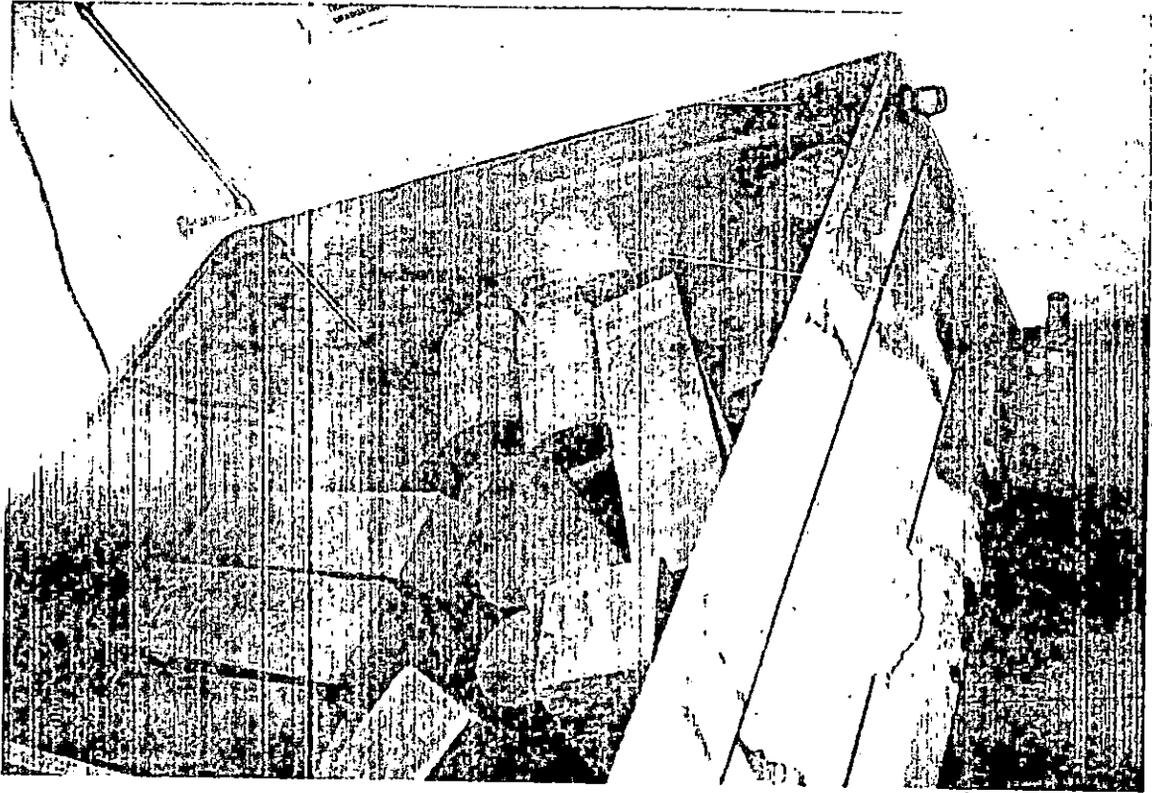


Figura 3.7 Pila de curado en el cuarto húmedo con temperatura de 23 ± 1.7 °C, en ella se observan los especímenes sumergidos en el agua.

Aspecto	Azufre	Neopreno
Contaminación ocupacional	Cuando se funde el azufre se desprende anhídrido sulfuroso, gas sofocante, tóxico y de olor desagradable.	Técnica limpia y ecológica
Seguridad del operario	Hay posibilidad de sufrir quemaduras y está el riesgo de adquirir bronconeumonía, que deja secuelas permanentes	Optima
Higiene del área de trabajo	Mala	Buena
Espacio físico de labores	Requiere más espacio	Espacio reducido
Maniobras dentro del Laboratorio	Se sacan los cilindros del cuarto de curado y se almacenan donde se cabecean, se espera a que el azufre endurezca y son llevados a la máquina para su ensayo.	Se sacan los cilindros del cuarto de curado y se almacenan junto a la máquina para su ensayo.
Seguridad de instalaciones	Corrosión ocasionada por los gases sulfurosos. Posibilidad de incendio.	Optima
Normatividad	No cumple con la Norma ASTM C-617.	Cumple con la Norma ASTM C-1231

TABLA 3.30 COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS MÉTODOS DE CABECEADO CON AZUFRE Y CON ALMOHADILLAS DE NEOPRENO³¹.

El cabeceo de especímenes con almohadilla de neopreno consiste en ajustar almohadillas confinadas dentro de unos platos de retención (ver figura 3.8). Este ensamble se coloca en las bases del cilindro y luego se lleva a la máquina de ensayo.

³¹ Hernán D. Pérez J., "Investigaciones y Tesis de Grado: Refrentado (cabeceado) con Neopreno", Revista Noticreto N° 1, pp. 70, 71.

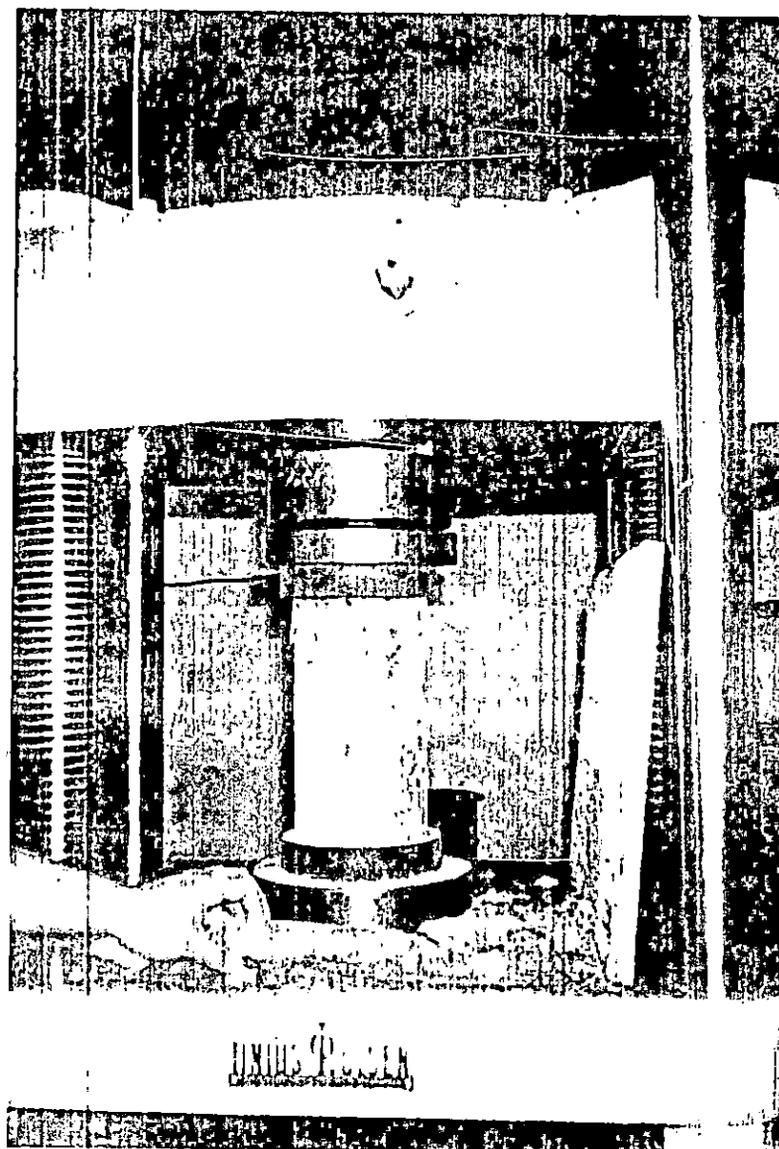


Figura 3.8 Prueba de Compresión a cilindros con edad de 28 días en la Máquina Universal Tinius Olsen. Obsérvese el cabeceado con Almohadillas de Neopreno confinadas en platos de Retención.

Luego de cabecear los cilindros con las Almohadillas de Neopreno, éstos se sometieron al ensayo de compresión, de acuerdo a las especificaciones de la Norma ASTM C-39 "Prueba de Resistencia a la Compresión para Cilindros de Concreto".

Es muy importante aclarar que los especímenes de tensión y flexión no se cabecearan por no exigirlo sus respectivas Normas (ASTM C-496 y ASTM C-78, en su orden).

3.4.3 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION.

Los ensayos se realizaron a la edad de 28 días para elaborar la recta edad-resistencia, ésta se calculó tomando como resultado el promedio de los cilindros ensayados, que para "cilindros testigos", fué de 2 muestras; para "cilindros con temperatura", fue de 5 muestras; para "cilindros con aire incluido", también fué de 2 muestras. Los resultados de las diferentes pruebas se muestran en las **tablas 3.31 a la 3.35**, así como puede observarse en la **figura 3.8** la Prueba de Compresión en la Máquina Universal Tinius Olsen, en la **figura 3.9** se nota la falla a cortante obtenida en los cilindros testigos y con temperatura . En la **figura 3.10** se puede observar la falla cónica de los cilindros de concreto con aire incluido.

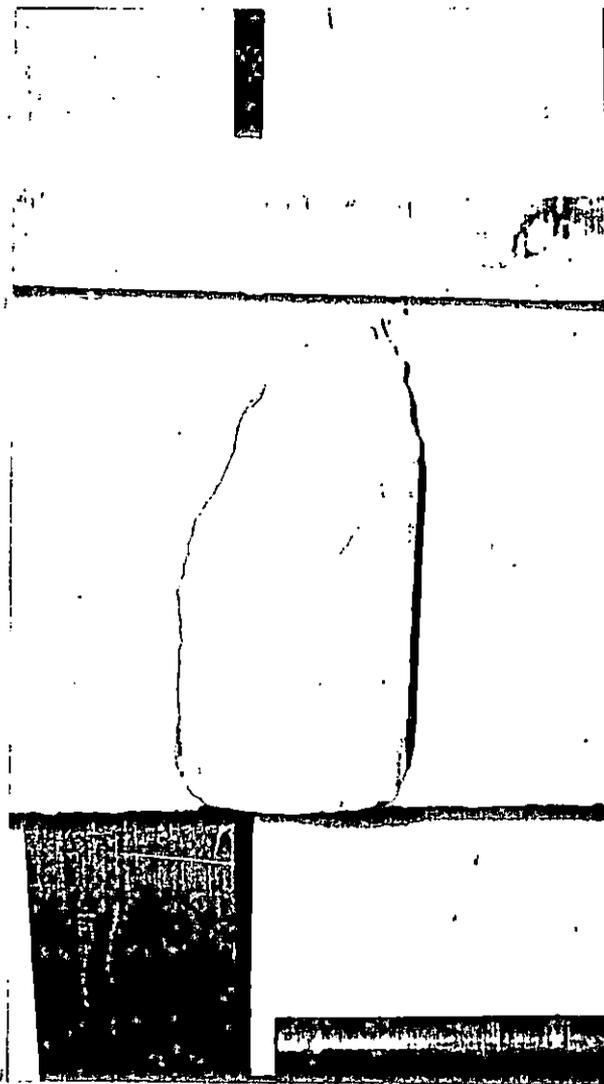


Figura 3.9 Falla a cortante en Cilindros Testigos y con Incremento de Temperatura en Pruebas de Compresión.



Figura 3.10 Falla cónica Cilindros con Inclusión de Aire Pruebas de Compresión.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION: EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y
DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.31

PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS TESTIGOS

FECHA: 20 DE NOV. / 96

% AIRE LEIDO: 1.95

PROBETA Nº	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO kg	PESO VOL. kg/cm ³	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
1	15.3	30.5	183.85	12.716	2267.73	29	5.5	45250	246
2	15.2	30.6	181.45	12.78	2301.86	29	5.5	45000	248

ESFUERZO PROMEDIO: 247 kg/cm²

FECHA: 22 DE NOV. / 96

% AIRE LEIDO: 1.9

PROBETA Nº	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO kg	PESO VOL. kg/cm ³	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
3	15.2	30.6	181.45	12.800	2305.28	30	5.0	63750	351
4	15.2	30.7	181.45	12.846	2306.03	30	5.0	58000	320

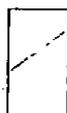
ESFUERZO PROMEDIO: 335 kg/cm²

FECHA: 25 DE NOV. / 96

% AIRE LEIDO: 1.5

PROBETA Nº	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO kg	PESO VOL. kg/cm ³	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
5	15.2	30.4	181.45	12.707	2303.59	27	3.5	85750	473
6	15.2	30.4	181.45	12.783	2317.37	27	3.5	75500	416

ESFUERZO PROMEDIO: 444 kg/cm²



TIPO DE FALLA: CORTANTE
(todos los especímenes)

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.32

PRUEBA DE COMPRESION DE CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA ENTRE LOS 25 A 30 °C.

FECHA: 20 DE NOV. / 96

% AIRE MEDIDO: 1.95

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO kg	PESO VOL. kg/m ³	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
T-1	15.3	30.5	183.85	12.716	2268	29	5.5	45250	246
T-2	15.2	30.6	181.46	12.781	2302	29	5.5	45000	248
T-3	15.1	30.5	179.08	12.750	2334	29	5.5	43575	243
T-4	15.3	30.6	183.85	12.690	2256	25	5.0	44550	242
T-5	15.1	30.3	179.08	12.740	2348	25	5.0	43500	243

ESFUERZO PROM: 245 kg/cm² ESFUERZO ESPERADO: 210 kg/cm²

FECHA: 11 DE DIC. / 96

% AIRE MEDIDO: 1.9

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO kg	PESO VOL. kg/m ³	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
T-6	15.2	30.6	181.46	12.800	2305	30	5.0	63750	351
T-7	15.1	30.6	179.08	12.846	2344	30	5.0	58000	324
T-8	15.1	30.5	179.08	12.750	2334	30	5.0	62500	349
T-9	15.3	30.6	183.85	12.700	2257	26	4.5	59750	325
T-10	15.1	30.3	179.08	12.810	2361	26	4.5	61000	341

ESFUERZO PROM: 338 kg/cm² ESFUERZO ESPERADO: 280 kg/cm²

FECHA: 12 DE DIC. / 96

% AIRE MEDIDO: 1.5

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO kg	PESO VOL. kg/m ³	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
T-11	15.2	30.4	181.46	12.707	2304	27	3.5	85750	473
T-12	15.2	30.4	181.46	12.783	2317	27	3.5	75000	413
T-13	15.3	30.5	183.85	12.850	2292	27	3.5	80500	438
T-14	15.2	30.6	181.46	12.790	2303	30	4.5	77565	427
T-15	15.1	30.3	179.08	12.855	2369	30	4.5	85100	475

ESFUERZO PROM: 445 kg/cm² ESFUERZO ESPERADO: 350 kg/cm²

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE GRADUACION: EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y
DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO**

TABLA 3.33

**TIPO DE PRUEBA: COMPRESION DE CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA
ENTRE LOS 30 A 35 °C.**

FECHA: 10 DE DIC. / 96 % AIRE LEIDO: 2.00

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO kg	PESO VOL. kg/cm ³	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
T-16	15.3	30.5	183.85	12.766	2276.64	35	4.0	45250	246
T-17	15.3	30.4	183.85	12.769	2284.67	35	4.0	44700	243
T-18	15.2	30.6	181.45	12.721	2291.06	31	5.0	45000	248
T-19	15.4	30.5	186.26	12.710	2237.32	31	5.0	41200	221
T-20	15.3	30.4	183.85	12.796	2289.50	31	5.0	38921	212

ESFUERZO PROMEDIO: 234 kg/cm² ESF. ESPERADO: 210 kg/cm²

FECHA: 11 DE DIC. / 96 % AIRE LEIDO: 2.6

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO kg	PESO VOL. kg/cm ³	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
T-21	15.3	30.4	183.85	12.480	2232.96	34	3.5	56000	305
T-22	15.2	30.7	181.45	12.650	2270.85	34	3.5	54150	298
T-23	15.4	30.6	186.26	12.790	2244.04	34	3.5	58225	313
T-24	15.3	30.5	183.85	12.778	2278.78	32	4.0	59210	322
T-25	15.1	30.5	179.07	12.815	2346.32	32	4.0	50150	280

ESFUERZO PROMEDIO: 304 kg/cm² ESF. ESPERADO: 280 kg/cm²

FECHA: 12 DE DIC. / 96 % AIRE LEIDO: 2.0

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO kg	PESO VOL. kg/cm ³	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
T-26	15.3	30.6	183.85	12.750	2266.36	34	4.5	72750	396
T-27	15.2	30.8	181.45	12.715	2275.10	34	4.5	73000	402
T-28	15.1	30.5	179.07	12.710	2327.10	34	4.5	71800	401
T-29	15.2	30.6	181.45	12.765	2298.98	32	5.5	70225	387
T-30	15.3	30.4	183.85	12.700	2272.32	32	5.5	72900	397

ESFUERZO PROMEDIO: 397 kg/cm² ESF. ESPERADO: 350 kg/cm²



TIPO DE FALLA: CORTANTE
(todos los especímenes)

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.34

TIPO DE PRUEBA: COMPRESION DE CILINDROS CON INCLUSION DE AIRE AL 6%
AIRE ATRAPADO: 2%, AIRE TOTAL ± 8%

FECHA: 13 DE DIC. / 96

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO (kg)	PESO VOL. (kg/cm ³)	AIRE (%)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
A-7	15.2	30.5	181.45	11.687	2111.73	8.4	7.5	25000	138
A-8	15.1	30.5	179.07	11.596	2123.13	8.4	7.5	24500	137

TEMPERATURA DEL CONCRETO: 26 °C

ESFUERZO PROMEDIO: 137 kg/cm²

ESF. ESPERADO: 210 kg/cm²

FECHA: 16 DE DIC. / 96

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO (kg)	PESO VOL. (kg/cm ³)	AIRE (%)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
A-9	15.3	30.5	183.85	11.553	2060.32	7.5	8.0	33750	184
A-10	15.3	30.5	183.85	11.531	2056.40	7.5	8.0	33000	179

TEMPERATURA DEL CONCRETO: 29 °C

ESFUERZO PROMEDIO: 182 kg/cm²

ESF. ESPERADO: 280 kg/cm²

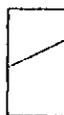
FECHA: 16 DE DIC. / 96

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO (kg)	PESO VOL. (kg/cm ³)	AIRE (%)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
A-11	15.2	30.4	181.45	11.964	2168.90	8.5	7.5	45000	248
A-12	15.3	30.3	183.85	11.794	2117.18	8.5	7.5	45500	247

TEMPERATURA DEL CONCRETO: 26 °C

ESFUERZO PROMEDIO: 248 kg/cm²

ESF. ESPERADO: 350 kg/cm²



TIPO DE FALLA: CORTANTE
(todos los especímenes)

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.35

TIPO DE PRUEBA: COMPRESION DE CILINDROS CON INCLUSION DE AIRE AL 4%
AIRE ATRAPADO: 2%, AIRE TOTAL ± 6%

FECHA: 13 DE DIC. / 96

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO kg	PESO VOL. kg/cm ³	AIRE (%)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
A-1	15.1	30.4	179.07	11.970	2198.82	5.5	6.5	31000	173
A-2	15.1	30.5	179.07	12.125	2219.99	5.5	6.5	33250	186

TEMPERATURA DEL CONCRETO: 28 °C

ESFUERZO PROMEDIO: 179 kg/cm²

ESF. ESPERADO: 210 kg/cm²

FECHA: 16 DE DIC. / 96

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO kg	PESO VOL. kg/cm ³	AIRE (%)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
A-3	15.1	30.5	179.07	11.850	2169.64	6.0	7.0	43750	244
A-4	15.2	30.4	181.45	11.990	2173.61	6.0	7.0	40250	222

TEMPERATURA DEL CONCRETO: 30 °C

ESFUERZO PROMEDIO: 233 kg/cm²

ESF. ESPERADO: 280 kg/cm²

FECHA: 16 DE DIC. / 96

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	AREA (cm ²)	PESO kg	PESO VOL. kg/cm ³	AIRE (%)	REVENIMIENTO (pul.)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
A-11	15.2	30.5	181.45	11.964	2161.78	5.8	6.5	58500	322
A-12	15.3	30.6	183.85	11.900	2115.27	5.8	6.5	56225	306

TEMPERATURA DEL CONCRETO: 29 °C

ESFUERZO PROMEDIO: 314 kg/cm²

ESF. ESPERADO: 350 kg/cm²



TIPO DE FALLA: CORTANTE
(todos los especímenes)

3.4.4 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSION INDIRECTA (ASTM C- 496).

El método indirecto de aplicar la tensión en forma de separación longitudinal es conocido como la "Prueba Brasileña" y es debida a Fernando Carneiro. En esta prueba, un cilindro estándar de concreto se coloca con su eje en posición horizontal entre las placas de la máquina de ensayo y se aumenta la carga hasta observar una falla de separación por compresión a lo largo del diámetro vertical. Este procedimiento está especificado por la Norma ASTM C-496. (Ver figuras 3.11, 3.12 y 3.13).

El número de especímenes a probar son los mismos que para la prueba de compresión y todos a los 28 días. Cuyos resultados se muestran en las Tablas 3.36 a la 3.40.

3.4.4.1 CALCULOS

El cálculo de tensión indirecta del cilindro se calcula mediante la expresión:

$$T = (2 P)/(\pi L d)$$

Donde: T= Esfuerzo de Tensión Indirecta (kg/cm²)

P= Carga Máxima (kg)

L= Longitud del cilindro (cm)

d= Diámetro del cilindro (cm)

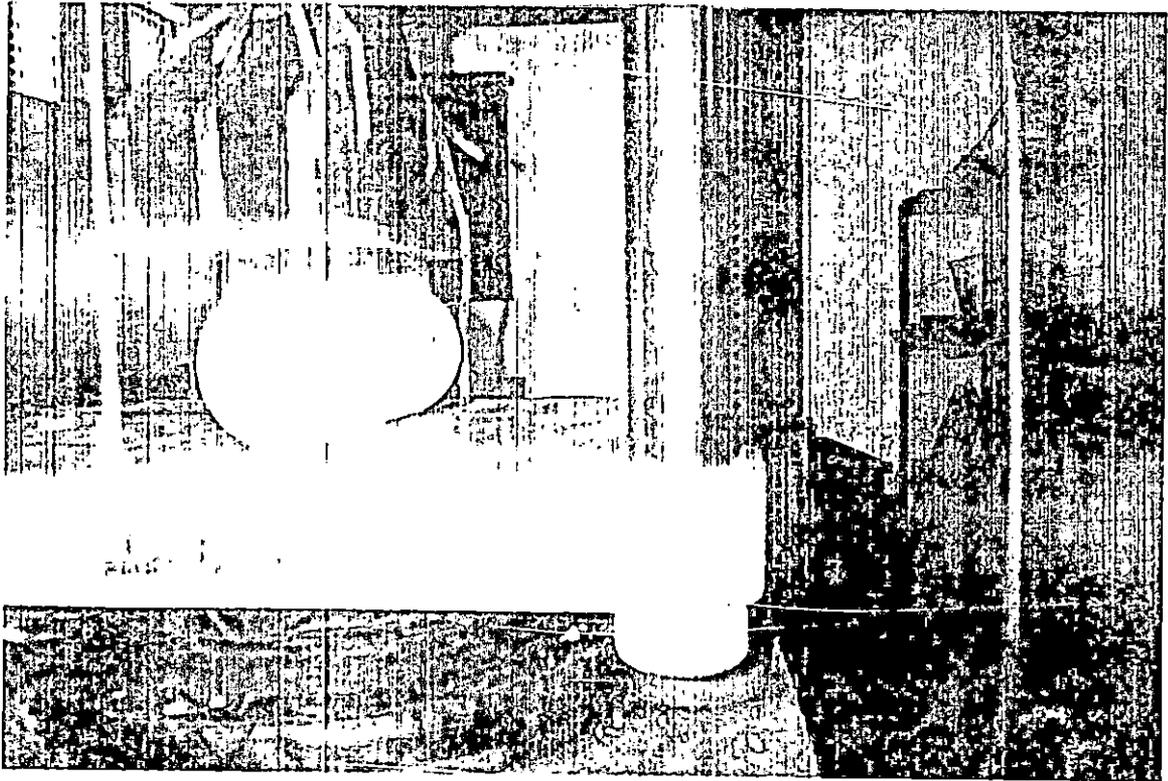


Figura 3.11 Cilindro antes de ser sometido a carga .

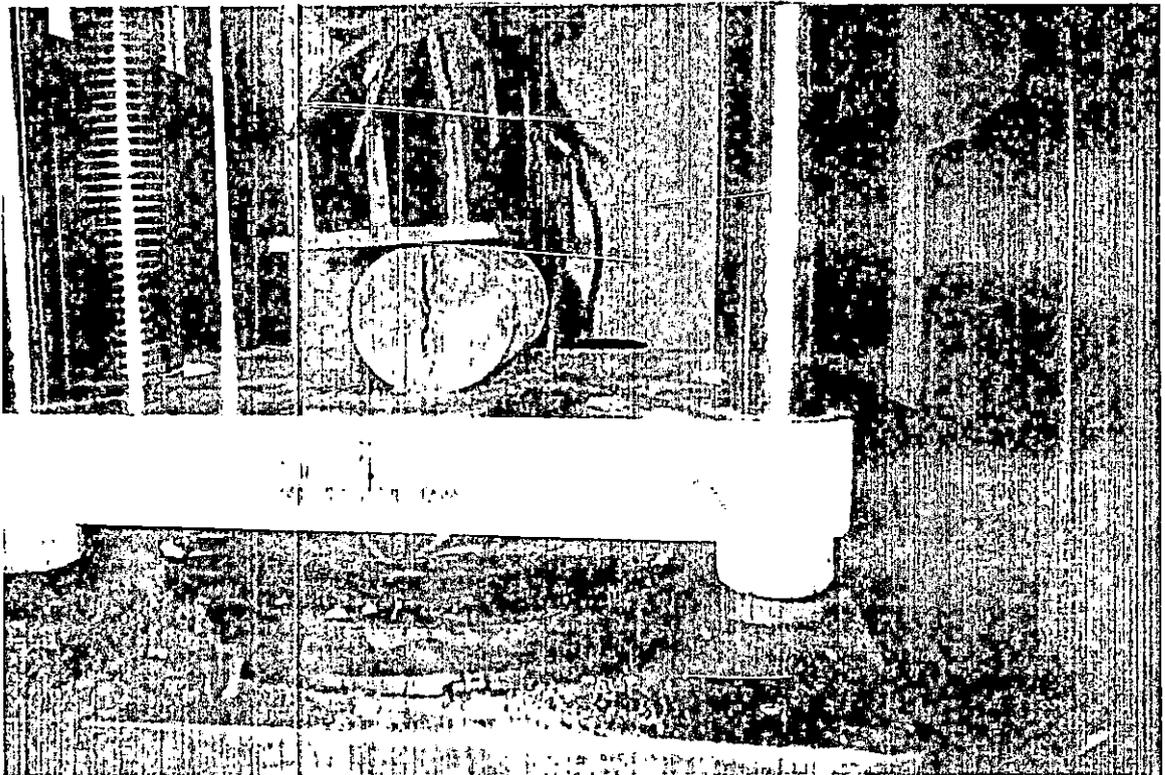


Figura 3.12 Cilindro en el momento de fracturarse por carga máxima.

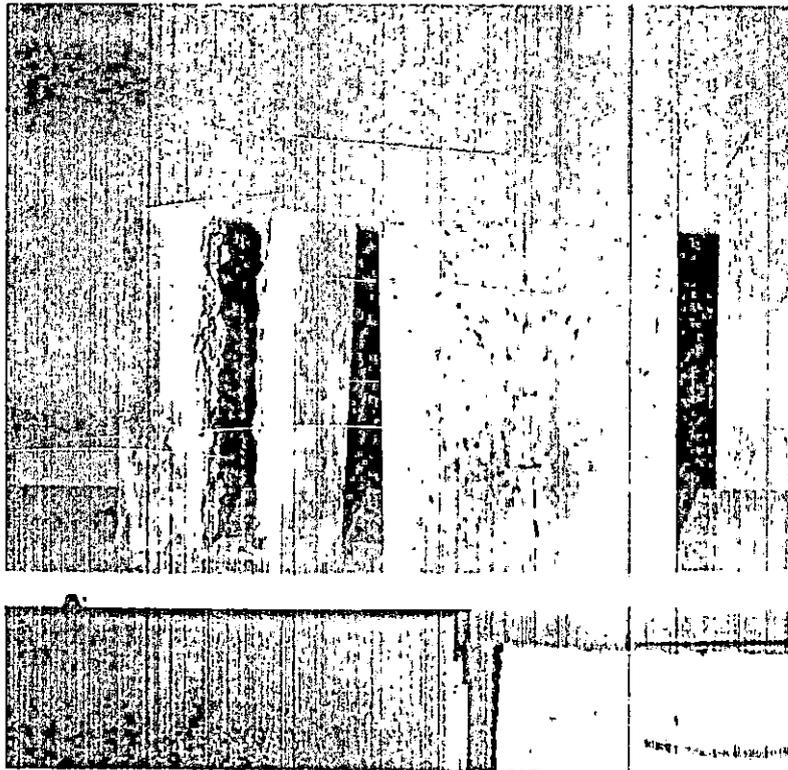


Figura 3.13 Ruptura Diametral del cilindro a lo largo de su eje longitudinal.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE UNGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.36

TIPO DE PRUEBA: TENSION DE CILINDROS TESTIGOS

FECHA: 20 DE NOV. / 96

$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA N°	DIAMETRO (d) (cms)	ALTURA (L) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (W) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
T-1	15.2	30.3	29	5.5	1.95	18000	24.88
T-2	15.3	30.6	29	5.5	1.95	17200	23.39

$$\text{ESFUERZO} = T = \frac{2 \cdot W}{\pi \cdot L \cdot d}$$

ESFUERZO PROMEDIO: 24.13 kg/cm²

FECHA: 22 DE NOV. / 96

$f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA N°	DIAMETRO (d) (cms)	ALTURA (L) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (W) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
T-3	15.1	30.6	30	5.0	1.90	19500	26.87
T-4	15.3	30.6	30	5.0	1.90	20700	28.15

$$\text{ESFUERZO} = T = \frac{2 \cdot W}{\pi \cdot L \cdot d}$$

ESFUERZO PROMEDIO: 27.51 kg/cm²

FECHA: 25 DE NOV. / 96

$f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA N°	DIAMETRO (d) (cms)	ALTURA (L) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (W) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
T-5	15.2	30.4	27	3.5	1.5	21450	29.55
T-6	15.2	30.4	27	3.5	1.5	20000	27.55

$$\text{ESFUERZO} = T = \frac{2 \cdot W}{\pi \cdot L \cdot d}$$

ESFUERZO PROMEDIO: 28.55 kg/cm²

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION: EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

TABLA 3.37

TIPO DE PRUEBA: TENSION DE CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA ENTRE LOS 30 A 35 °C.

FECHA: 10 DE DIC. / 96

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA N°	DIAMETRO (d) (cms)	ALTURA (L) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (W) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
TT-16	15.3	30.3	29	5.5	1.95	18000	24.72
TT-2	15.3	30.6	29	5.5	1.95	17200	23.39
TT-3	15.1	30.5	29	5.5	1.95	17500	24.19
TT-4	15.3	30.6	25	5.0	1.90	17350	23.59
TT-5	15.1	30.3	25	5.0	1.90	17775	24.73

$$\text{ESFUERZO} = T = 2 \cdot W / (\pi \cdot L \cdot d)$$

ESFUERZO PROM.: 24.12 kg/cm²

FECHA: 22 DE NOV. / 96

$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
TT-6	15.2	30.6	30	5.0	1.5	19500	26.69
TT-7	15.2	30.7	30	5.0	1.5	20700	28.24
TT-8	15.3	30.5	30	5.0	1.5	20655	28.18
TT-9	15.2	30.6	26	4.5	2.0	19710	26.98
TT-10	15.3	30.3	26	4.5	2.0	19855	27.27

$$\text{ESFUERZO} = T = 2 \cdot W / (\pi \cdot L \cdot d)$$

ESFUERZO PROM.: 27.47 kg/cm²

FECHA: 25 DE NOV. / 96

$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
TT-11	15.2	30.4	27	3.5	1.5	21450	29.55
TT-12	15.2	30.4	27	3.5	1.5	20000	27.55
TT-13	15.1	30.5	27	3.5	1.5	21610	29.87
TT-14	15.3	30.6	30	4.5	1.8	20950	28.49
TT-15	15.1	30.3	39	4.5	1.8	29865	41.56

$$\text{ESFUERZO} = T = 2 \cdot W / (\pi \cdot L \cdot d)$$

ESFUERZO PROM.: 31.40 kg/cm²

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.38

TIPO DE PRUEBA: TENSION DE CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA ENTRE LOS 30 A 35 °C.

FECHA: 10 DE DIC. / 96

$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA N°	DIAMETRO (d) (cms)	ALTURA (L) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (W) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
TT-16	15.3	30.3	35	4.0	2.0	16350	22.45
TT-17	15.3	30.6	35	4.0	2.0	15750	21.42
TT-18	15.1	30.5	31	5.0	2.0	15475	21.39
TT-19	15.3	30.6	31	5.0	1.95	15675	21.31
TT-20	15.1	30.3	31	5.0	1.95	16050	22.33

$$\text{ESFUERZO} = T = 2 \cdot W / (\pi \cdot L \cdot d)$$

ESFUERZO PROM.: 21.78 kg/cm²

FECHA: 11 DE DIC. / 96

$f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
TT-21	15.3	30.6	34	3.5	2.6	17075	23.22
TT-22	15.2	30.8	34	3.5	2.6	17625	23.97
TT-23	15.3	30.5	34	3.5	2.6	17500	23.87
TT-24	15.2	30.6	32	4.0	2.4	17650	24.16
TT-25	15.2	30.3	32	4.0	2.4	17550	24.26

$$\text{ESFUERZO} = T = 2 \cdot W / (\pi \cdot L \cdot d)$$

ESFUERZO PROM.: 23.90 kg/cm²

FECHA: 25 DE NOV. / 96

$f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA N°	DIAMETRO (cms)	ALTURA (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
TT-26	15.2	30.8	34	4.5	2.0	19755	26.86
TT-27	15.3	30.4	34	4.5	2.0	19550	26.76
TT-28	15.2	30.5	34	4.5	2.0	19400	26.64
TT-29	15.3	30.6	32	5.5	1.9	20050	27.26
TT-30	15.2	30.3	32	5.5	1.9	18900	26.12

$$\text{ESFUERZO} = T = 2 \cdot W / (\pi \cdot L \cdot d)$$

ESFUERZO PROM.: 26.73 kg/cm²

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.39

TIPO DE PRUEBA: TENSION DE CILINDROS CON INCLUSION DE AIRE AL 4%
AIRE ATRAPADO: 2% AIRE TOTAL: 6%

FECHA: 13 DE DIC. / 96 $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA N°	DIAMETRO (d) (cms)	ALTURA (L) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (W) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AT-1	15.1	30.4	28	6.5	5.5	12500	17.34
AT-2	15.1	30.5	28	6.5	5.50	12575	17.38

ESFUERZO = $T = 2 \cdot W / (\pi \cdot L \cdot d)$ ESFUERZO PROM.: 17.36 kg/cm²

FECHA: 16 DE DIC. / 96 $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA N°	DIAMETRO (d) (cms)	ALTURA (L) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (W) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AT-3	15.3	30.5	29	8.0	7.5	14525	19.82
AT-4	15.3	30.5	29	8.0	7.50	14110	19.25

ESFUERZO = $T = 2 \cdot W / (\pi \cdot L \cdot d)$ ESFUERZO PROM.: 19.53 kg/cm²

FECHA: 16 DE DIC. / 96 $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA N°	DIAMETRO (d) (cms)	ALTURA (L) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (W) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AT-5	15.2	30.4	26	7.5	8.5	17450	24.04
AT-6	15.3	30.3	26	7.5	8.50	16975	23.31

ESFUERZO = $T = 2 \cdot W / (\pi \cdot L \cdot d)$ ESFUERZO PROM.: 23.68 kg/cm²

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.39

TIPO DE PRUEBA: TENSION DE CILINDROS CON INCLUSION DE AIRE AL 6%
AIRE ATRAPADO: 2% AIRE TOTAL: 8%

FECHA: 13 DE DIC. / 96 $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA Nº	DIAMETRO (d) (cms)	ALTURA (L) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (W) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AT-1	15.2	30.5	26	7.5	8.4	9575	13.15
AT-2	15.1	30.5	26	7.5	8.40	9210	12.73

ESFUERZO = $T = 2 \cdot W / (\pi \cdot L \cdot d)$ **ESFUERZO PROM.: 12.94 kg/cm²**

FECHA: 16 DE DIC. / 96 $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA Nº	DIAMETRO (d) (cms)	ALTURA (L) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (W) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AT-3	15.3	30.5	29	8.0	7.5	11100	15.14
AT-4	15.3	30.5	29	8.0	7.50	10450	14.26

ESFUERZO = $T = 2 \cdot W / (\pi \cdot L \cdot d)$ **ESFUERZO PROM.: 14.70 kg/cm²**

FECHA: 16 DE DIC. / 96 $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

PROBETA Nº	DIAMETRO (d) (cms)	ALTURA (L) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (W) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AT-5	15.2	30.4	26	7.5	8.5	17300	23.83
AT-6	15.3	30.3	26	7.5	8.50	12900	17.71

ESFUERZO = $T = 2 \cdot W / (\pi \cdot L \cdot d)$ **ESFUERZO PROM.: 20.77 kg/cm²**

3.4.5 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXION (ASTM C-78)

La resistencia a la flexión puede determinarse utilizando vigas simplemente apoyadas con carga al centro del claro (ASTM C-293) o con cargas al tercio medio del claro (ASTM C-78). (Ver figura 3.14 y 3.15)

En éste caso la prueba es con la carga al tercio medio del claro de la viga o sea especificado por la Norma ASTM C-78, lo que produce un corte a 45° en la viga. (Ver figura 3.16)

El número de especímenes que se probarán son **6 vigas testigos, 6 vigas con incremento de temperatura y 12 vigas con aire incorporado.**

Los resultados se muestran en las **tablas 3.41 a la 3.45.**

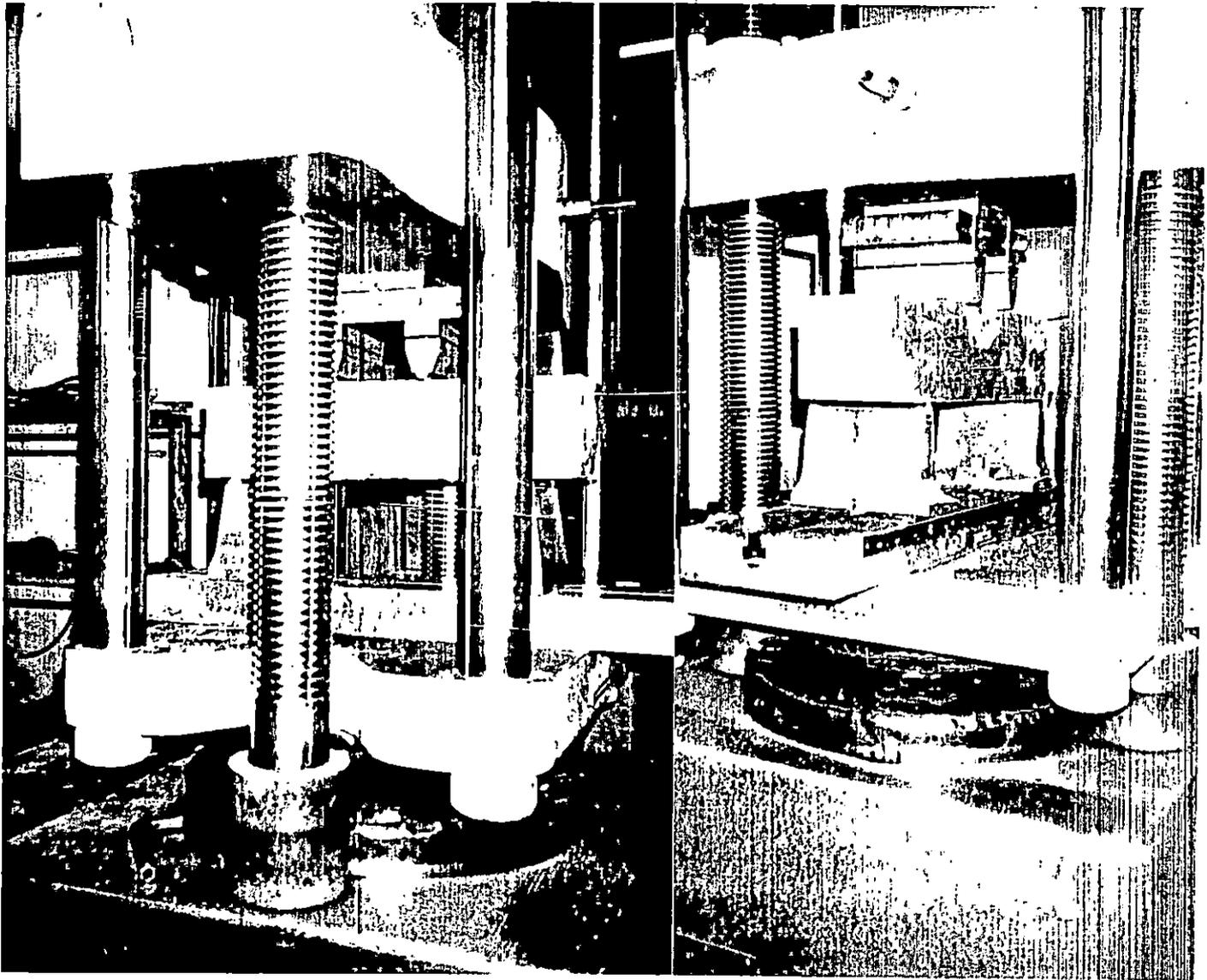


Figura 3.14 Vistas de Viga con carga a dos tercios del claro, antes de iniciarse la prueba.

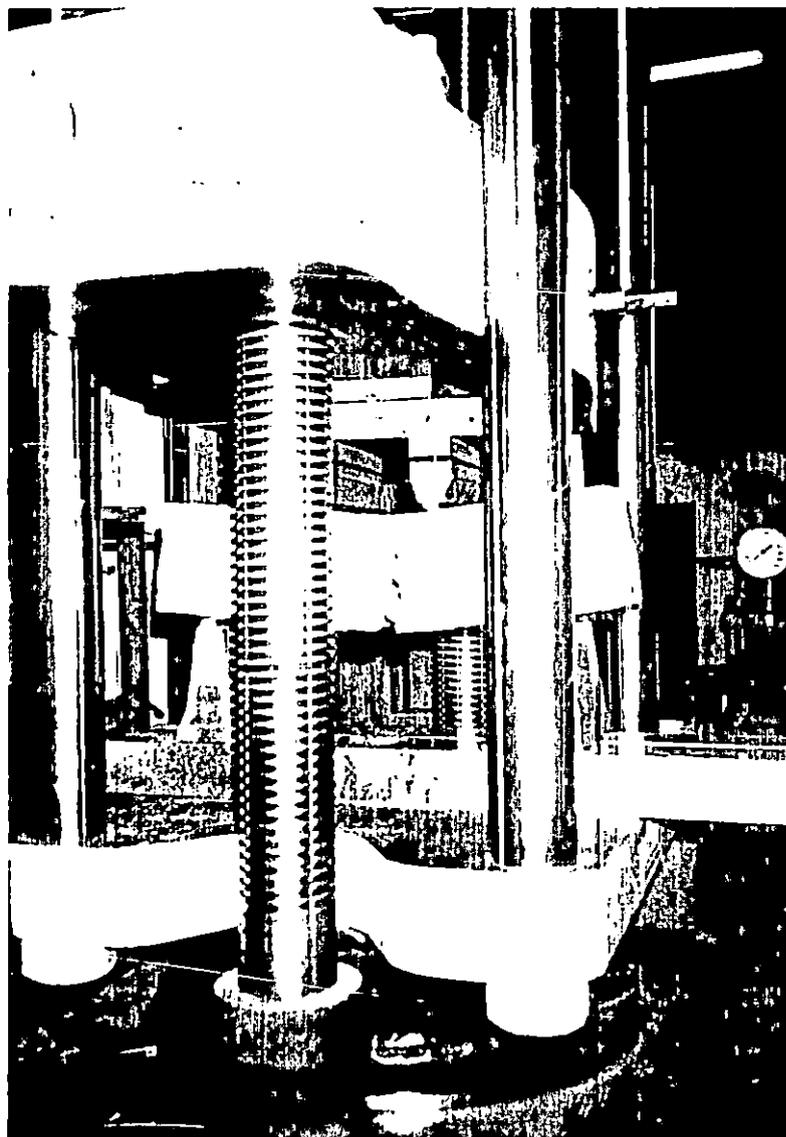


Figura 3.15 Viga en el momento de la Ruptura debido a carga máxima.

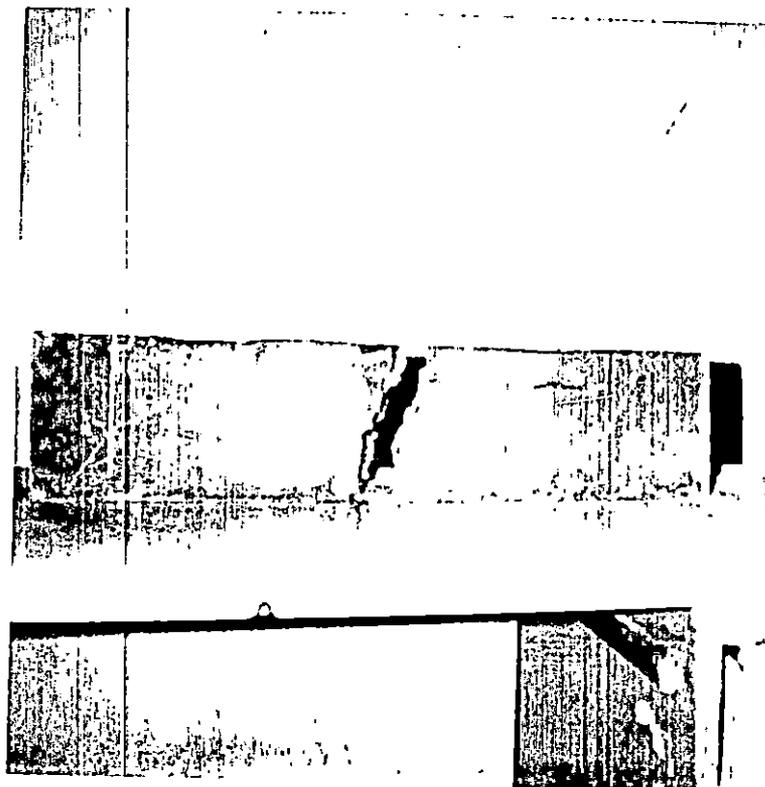


Figura 3.16 Vista de la ruptura de la viga a 45° aproximadamente.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.40

TIPO DE PRUEBA: FLEXION DE VIGAS TESTIGAS

FECHA: 20 DE NOV. / 96 $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

VIGA N°	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AF-1	15.2	15.2	29	5.5	1.95	2015	25.82
AF-2	15.0	15.0	29	5.5	1.95	2015	26.87

ESFUERZO = $MR = P \cdot L / (b \cdot d^2)$ ESFUERZO PROMEDIO: 26.34 kg/cm²

FECHA: 11 DE DIC. / 96 $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

VIGA N°	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AF-3	15.1	15.0	30	5.0	1.9	2315	30.46
AF-4	15.3	14.9	30	5.0	1.9	2240	28.90

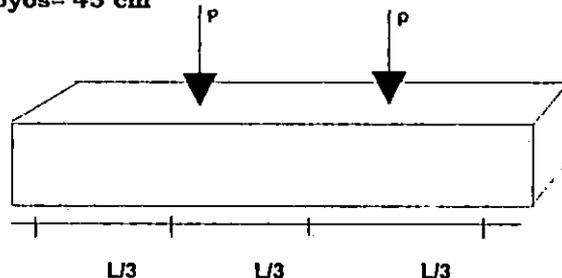
ESFUERZO = $MR = P \cdot L / (b \cdot d^2)$ ESFUERZO PROMEDIO: 29.68 kg/cm²

FECHA: 12 DE DIC. / 96 $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

VIGA N°	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AF-5	15.0	15.2	27	5.0	1.5	2760	36.32
AF-6	14.8	15.0	27	5.0	1.5	2825	38.69

ESFUERZO = $MR = P \cdot L / (b \cdot d^2)$ ESFUERZO PROMEDIO: 37.50 kg/cm²

L: Longitud entre apoyos = 45 cm



PRUEBA DE FLEXION CON CARGA AL TERCIO MEDIO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.41

TIPO DE PRUEBA: FLEXION DE VIGAS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA ENTRE LOS 25 A 30 °C.

FECHA: 20 DE NOV. / 96 $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

VIGA N°	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AF-1	15.2	15.2	29	5.5	1.95	2015	25.82
AF-2	15.0	15.0	29	5.5	1.95	2015	26.87

ESFUERZO = $MR = P \cdot L / (b \cdot d^2)$ ESFUERZO PROMEDIO: 26.34 kg/cm²

FECHA: 11 DE DIC. / 96 $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

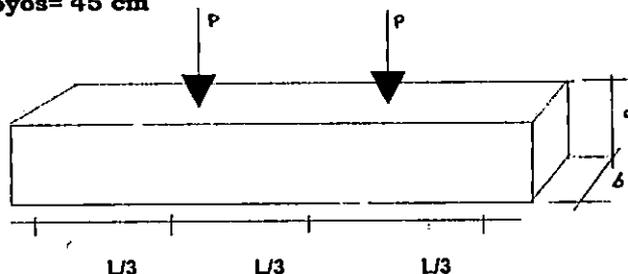
VIGA N°	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AF-3	15.1	15.0	30	5.0	1.9	2315	30.46
AF-4	15.3	14.9	30	5.0	1.9	2240	28.90

ESFUERZO = $MR = P \cdot L / (b \cdot d^2)$ ESFUERZO PROMEDIO: 29.68 kg/cm²

FECHA: 12 DE DIC. / 96 $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$

VIGA N°	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AF-5	15.0	15.2	27	5.0	1.5	2760	36.32
AF-6	14.8	15.0	27	5.0	1.5	2825	38.69

ESFUERZO = $MR = P \cdot L / (b \cdot d^2)$ ESFUERZO PROMEDIO: 37.50 kg/cm²
L: Longitud entre apoyos = 45 cm



PRUEBA DE FLEXION CON CARGA AL TERCIO MEDIO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.42

TIPO DE PRUEBA: FLEXION DE VIGAS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA ENTRE LOS 30 A 35 °C.

FECHA: 13 DE DIC. / 96

$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

VIGA N°	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AF-1	15.3	15.3	35	4.0	2.0	2400	30.15
AF-2	15.1	15.1	35	4.0	2.0	2500	32.68

$$\text{ESFUERZO} = MR = P \cdot L / (b \cdot d^2)$$

ESFUERZO PROMEDIO: 31.41 kg/cm²

FECHA: 16 DE DIC. / 96

$f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

VIGA N°	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AF-3	15.3	15.3	34	5.0	3.5	2765	34.74
AF-4	15.1	15.1	34	5.0	3.5	2785	36.40

$$\text{ESFUERZO} = MR = P \cdot L / (b \cdot d^2)$$

ESFUERZO PROMEDIO: 35.57 kg/cm²

FECHA: 16 DE DIC. / 96

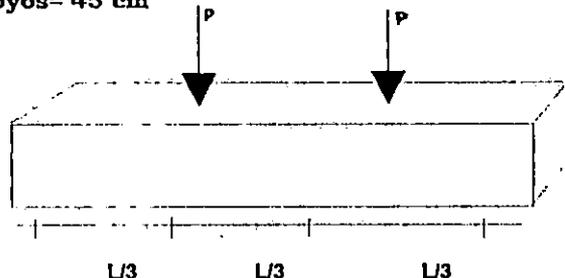
$f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$

VIGA N°	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AF-5	15.3	15.3	34	4.5	2.0	3320	41.71
AF-6	15.2	15.2	34	4.5	2.0	2750	35.24

$$\text{ESFUERZO} = MR = P \cdot L / (b \cdot d^2)$$

ESFUERZO PROMEDIO: 38.48 kg/cm²

L: Longitud entre apoyos = 45 cm



PRUEBA DE FLEXION CON CARGA AL TERCIO MEDIO

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.43

TIPO DE PRUEBA: FLEXION DE VIGAS CON INCLUSION DE AIRE AL 6%

FECHA: 10 DE DIC. / 96

f_c = 210 kg/cm²

VIGA N°	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AF-1	15.2	15.2	26	7.5	8.4	1460	18.71
AF-2	15.4	15.4	26	7.5	8.4	1670	20.58

ESFUERZO = MR = P*L/(b*d²)

ESFUERZO PROMEDIO: 19.64 kg/cm²

FECHA: 11 DE DIC. / 96

f_c = 280 kg/cm²

VIGA N°	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
F-3	15.2	15.2	29	8.0	7.5	1870	23.96
F-4	15.3	15.3	29	8.0	7.5	1950	24.50

ESFUERZO = MR = P*L/(b*d²)

ESFUERZO PROMEDIO: 24.23 kg/cm²

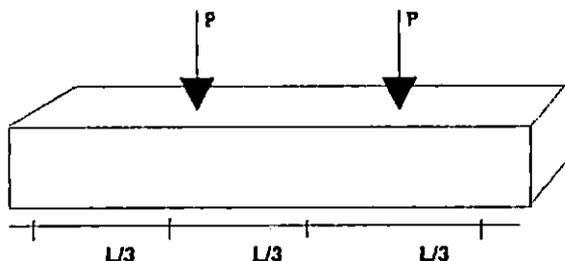
FECHA: 12 DE DIC. / 96

f_c = 350 kg/cm²

VIGA N°	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
F-5	15.2	15.2	26	7.5	8.5	2700	34.60
F-6	15.1	15.1	26	7.5	8.5	2430	31.76

ESFUERZO = MR = P*L/(b*d²)

ESFUERZO PROMEDIO: 33.18 kg/cm²



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE UNGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACION: "EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO Y
DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO"

TABLA 3.44

TIPO DE PRUEBA: FLEXION DE VIGAS CON INCLUSION DE AIRE AL 4%

FECHA: 10 DE DIC. / 96

$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

VIGA Nº	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
AF-1	15.2	15.2	28	6.5	5.5	1650	21.14
AF-2	15.4	15.4	28	6.5	5.5	1775	21.87

$$\text{ESFUERZO} = MR = P \cdot L / (b \cdot d^2)$$

ESFUERZO PROMEDIO: 21.51 kg/cm²

FECHA: 11 DE DIC. / 96

$f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

VIGA Nº	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
F-3	15.2	15.2	29	8.0	7.5	2025	25.95
F-4	15.3	15.3	29	8.0	7.5	2100	26.39

$$\text{ESFUERZO} = MR = P \cdot L / (b \cdot d^2)$$

ESFUERZO PROMEDIO: 26.17 kg/cm²

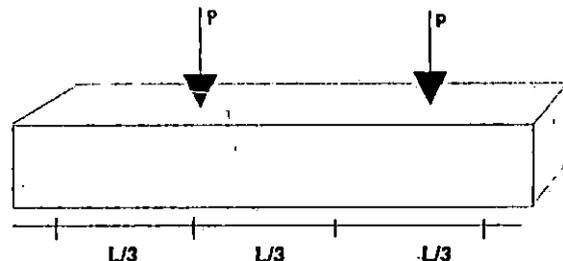
FECHA: 12 DE DIC. / 96

$f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$

VIGA Nº	PERALTE (d) (cms)	ANCHO (b) (cms)	TEMP. (°C)	REVENIMIENTO (pul.)	AIRE (%)	CARGA (P) (kgs)	ESFUERZO (kg/cm ²)
F-5	15.2	15.2	26	7.5	8.5	2975	38.12
F-6	15.1	15.1	26	7.5	8.5	2650	34.64

$$\text{ESFUERZO} = MR = P \cdot L / (b \cdot d^2)$$

ESFUERZO PROMEDIO: 36.38 kg/cm²



CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 GENERALIDADES

Los aspectos a tratar en éste apartado, son los que están relacionados con el análisis comparativo de los resultados de las pruebas de compresión, tensión y flexión de los diferentes tipos de mezcla que se han realizado (testigos, con incremento de temperatura y con aire incluido), así como un análisis de los diversos componentes del concreto fresco y endurecido y su comportamiento ante el incremento de temperatura y de inclusión de aire.

4.2 COMPONENTES

El análisis de los componentes del CCN se basa en las diferentes pruebas de laboratorio realizadas a éstos para el diseño de mezclas, o a la información retomada como en el caso del cemento y del aditivo inclusor de aire. Este estudio se detalla a continuación:

4.2.1 CEMENTO

El tipo de cemento utilizado Tipo I PM (ASTM C-595), es adecuado para la realización de todo tipo de concreto que no necesite de características especiales como resistencia al ataque de sulfatos, resistencia al calor de hidratación y otros que sean requeridos al momento de ejecutar alguna obra de concreto de características especiales.

Una característica especial de los cementos de éste tipo es la presencia de aditivos puzolánicos, lo que hace de manera especial incrementar la resistencia del concreto por sobre los otros tipos de cemento, aunque es de aclarar que no por éste hecho el cemento Tipo I PM se convierte en un cemento óptimo para la realización de concretos de alta resistencia, sino que lo que hace es incrementar de manera considerable la resistencia del concreto, debido a la presencia de puzolana en cantidades no mayores del 15%.

El cemento Tipo I PM dicho de otra manera es un cementante de uso general que se acomoda de buena manera a las condiciones de intemperismo de nuestro país, así como su resistencia al ataque leve de sulfatos³²

4.2.2 AGREGADOS FINOS

La arena utilizada en éste trabajo de investigación es proveniente del río Astoria, Dpto. de La Paz, la cual se encontró libre de impurezas orgánicas, ya que al compararla con la Carta de Colores de Gardner, el resultado obtenido fué de un color más claro que el color de referencia N° 1.

El análisis granulométrico de la arena generó una curva que satisface los límites especificados por la norma ASTM C-33 (ver Tablas 3.3a y gráficas 3.3b en páginas 90 a 95). Por otra parte el resultado obtenido al realizar el ensayo del Módulo de Finura dió como resultado un valor promedio del **2.55**, lo que la clasifica como una **Arena Medio Fina** que para CCN es recomendable, ya que la norma ASTM C-33 recomienda que: **“se podrá utilizar la arena cuyo módulo de finura no sea menor a 2.30 ni mayor a 3.10”³³** .

En la **Tabla 4.1** se presenta un resumen de los valores obtenidos para todas las pruebas realizadas al agregado fino, tales como: Módulo de Finura,

³² “Estudio de Concreto de Alta Resistencia a la agresión provocada por la contaminación del Medio Ambiente”, Santos Fernando Alberto Santos (Trabajo de Graduación UES), Agosto de 1995, El Salvador, pp 162.

³³ ASTM Designation C-33. “Standard Specifications for concrete aggregates”. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pa. (1986).

Absorción, Gravedad Específica e Impurezas Orgánicas que son los que se utilizaron en la práctica de Diseño y Dosificación de Mezclas de Concreto (ver apartado 3.2.2 Diseño de Mezclas pp. 136).

ENSAYE ÁRENA	MODULO DE FINURA	ABSORCION (%)	GRAVEDAD ESPECIFICA (GE)⊗	CONTENIDO IMPUREZAS ORGANICAS
Primera Prueba	2.550	3.52	2.38	ACEPTABLE
Segunda Prueba	2.555	4.06	2.38	ACEPTABLE
Tercera Prueba	2.555	4.14	2.38	ACEPTABLE
Resultado Promedio	2.553	3.91	2.38	ACEPTABLE

TABLA 4.1 RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS A AGREGADO FINO.

⊗ La gravedad específica se realizó por los métodos del Picnómetro y de la Probeta, los datos que se muestran son los del Picnómetro; el método de la probeta dió como resultado promedio 2.38 similar al del Picnómetro.

Como puede observarse, en la **Tabla 4.1** se detallan cada uno de los valores obtenidos en las diversas pruebas realizadas a la arena, para el caso de la Gravedad Específica que es uno de los parámetros que aún no han sido analizados se puede indicar que el valor obtenido de 2.38 es aceptable, debido a que según la PCA (Portland Cement Association), la mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9, aclarando antes que esos valores no son indicativos de la calidad del agregado³⁴.

De igual manera en la absorción, las especificaciones de los agregados no acostumbran fijar límites de aceptación, debido a que ésto depende de muchos

³⁴ "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, AC. Steven H. Kosmatka y William C. Panarese, (traducción directa del libro "Design and Control of Concrete Mixtures", Portland Cement Association, PCA), 1992, pp 38-39.

factores como son la porosidad, la distribución granulométrica, el contenido de finos, el tamaño máximo, la forma y la textura superficial de las partículas (generalmente para los agregados gruesos), etc. No obstante como información se tiene que los agregados son de buena calidad si la absorción no excede del 3% en el agregado grueso y del 5% en el agregado fino³⁵; por lo que comparando con el resultado obtenido de absorción que fue de **3.91**, se puede deducir que es un material de porosidad aceptable debido a que su absorción se encuentra dentro del rango deseable, lo que dará como resultado una contracción por secado del concreto relativamente baja en comparación con materiales de mayor porcentaje de absorción; éstos valores se justifican en un estudio realizado por la ASTM y los que se muestran en la **Tabla 4.2**.

Agregado Empleado (tipo de roca)	Peso Específico (sat. y sup. seco)	Absorción (%)	Contracción por secado del concreto, a un año (millonésimas)
Arenisca	2.47	5.0	1160
Pizarra	2.75	1.2	680
Granito	2.67	0.5	470
Caliza	2.74	0.2	410
Cuarzo	2.65	0.3	320

Tabla 4.2 Contracción por secado del concreto, empleando agregados con diversa absorción³⁶.

³⁵ Comisión federal de Electricidad, "Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1, Ed. Limusa, Preedición 1994, México, pp.128.

³⁶ Carlson, R. W. "Drying Shrinkage of Concrete as Affected by Many Factors". Proceedings, ASTM, V 38, Part II (1938).

4.2.3 AGREGADO GRUESO

El agregado grueso utilizado en las mezclas se tamizó de tal manera que su tamaño máximo fué de 19 mm ó 3/4" (se utilizó la que pasó por ésta malla), como ya anteriormente se detalló, el agregado proviene de la Pedrera Protersa, ubicada en Ateos, Dpto. de Sonsonate. Este se apegó a los objetivos de éste trabajo de investigación, como es el de la utilización de agregados nacionales en estado natural, sin alterar su granulometría para obtener así resultados confiables que se apeguen a la realidad en lo que respecta a la utilización de concretos elaborados en el país.

La curva granulométrica de éstos agregados presentó un comportamiento homogéneo, con cantidad de gruesos por arriba de los exigidos por la Norma ASTM C-33, por lo que no cumple con lo especificado por la Norma anterior (ver **gráficas 3.a y tablas 3.9b**, pags. 116-121). Esta granulometría no fué corregida para la elaboración de mezclas; ya que se trató que se mantuvieran las condiciones iniciales de la pedrera de donde se extrajo el agregado.

Para su utilización el agregado se tomó del banco en donde fué depositado, tomándosele previamente la humedad ya que el restante de datos (P.V.S., P.V.V., Absorción, gravedad específica y otros) se obtuvieron con anterioridad (éstos datos se podrán observar más adelante).

Las relaciones A/C se mantuvieron conforme a las recomendaciones dadas por el Comité ACI - 211.1-87³⁷, y varían según la resistencia que se espera obtener en las diferentes mezclas de concreto realizadas, así para concretos de resistencia igual a 210 kg/cm², la relación A/C fué de 0.55, para 280 kg/cm² de 0.465, y para 350 kg/cm² fué de 0.395, todas las mezclas anteriores son conocidas como **mezclas testigos**.

Es de aclarar que las relaciones A/C para mezclas con incremento de temperatura y con inclusión de aire no variaron respecto a las originales de las mezclas testigos con el objetivo de hacer comparaciones respecto a las variaciones que sufre la resistencia del concreto conforme se le incremente la temperatura éstas son las que se consideran predominan en nuestro país como son entre 25 y 35 °C y a las inclusiones de aire que generalmente se utilizan como son de 0 a 6%, tomándose como base el concreto con aire atrapado originalmente del 2%, ésto según el tamaño máximo nominal del agregado que resultó que fué de 19 mm y tomado de la **Tabla 5.3.3**³⁸

³⁷ "Práctica para Dosificar Concreto normal, Concreto Pesado y Concreto Masivo", Comité ACI-211-1-87, IMCYC, **Tabla 5.3.4 (a) Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto**, 1ª ed. (en español), 1989, México, D.F., Ed. Limusa, pp 28.

³⁸ "Práctica para Dosificar Concreto Normal, Concreto Pesado y Concreto Masivo", Comité ACI-211-1-87, IMCYC, **Tabla 5.3.3 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes retenimientos y tamaños máximos nominales de agregado**, 1ª ed. (en español), 1989, México, D.F., Ed. Limusa, pp. 24.

ENSAYE GRAVA	ABSORCION (%)	GRAVEDAD ESPECIFICA (GE)	PESO VOLUMETRICO PVV (kg/m ³)	% DE VACIOS (e%)	RES. AL DESGASTE (%)
MUESTRA 1	2.42	2.60	1426.47	40.44	22.48
MUESTRA 2	2.55	2.61	1464.53	40.79	20.92
MUESTRA 3	2.35	2.61	1465.22	40.64	22.78
PROMEDIO	2.44	2.61	1452.07	40.62	22.06

TABLA 4.3 RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS A AGREGADO GRUESO.

Los datos mostrados en la tabla anterior dan un indicio de que tan cerca están los resultados de los valores dados como aceptables por la PCA³⁹ en los estudios realizados, así tenemos que los valores de Peso Volumétrico aceptables para un concreto de comportamiento normal (CCN), tienen un valor que varía desde aproximadamente 1,200 a 1760 kg/m³ y el contenido de vacíos en los agregados gruesos varían de 30 a 45%; comparando éstos datos con los resultados obtenidos se puede observar que los datos se encuentran comprendidos dentro de los valores en el intervalo de datos, lo que indica que los valores son aceptables para el tipo de concreto que se diseñó.

La Resistencia al desgaste presentó valores que andan por debajo del aceptable que según la Norma ASTM C-131 es de un 50% de desgaste para el agregado de tamaño máximo nominal de 3/4", lo cual comparado con el 22.06% que se obtuvo indica que el agregado que se utilizará en la hechura del concreto presenta buenas condiciones para ser utilizado en Pavimentos o Pisos (losas en general), que son del interés en el estudio que se realiza.

³⁹ "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Steven Kosmatka y William Panarese miembros del Portland Cement Association (PCA), Ed. en español del IMCYC, 1ª ed., 1992, pp 38.

El valor de absorción promedio de **2.44**, es menor que el de 3% de referencia, del cual se hace mención en el Manual de Tecnología del Concreto⁴⁰; además haciendo una comparación con los valores límites de Gravedad Específica promedio de **2.4 a 2.9** que da como parámetro la PCA en su Diseño y Control de Mezclas de Concreto⁴¹, con el promedio obtenido de **2.61**, es un material también aceptable para el tipo de concreto que se hizo.

Es de aclarar que los valores límites dados por éstas dos instituciones, tanto para la absorción como para la gravedad específica, no son indicativos de la calidad del agregado, sino sólo parámetros que dan un indicio de que tan aceptables son los valores obtenidos; pero esto no hace que garanticen un buen resultado.

4.2.4 ADITIVOS

El Aditivo Inclusor de Aire utilizado, fué el **SIKA-AER** de la fábrica **SIKA**, el cual cumple con la Norma ASTM C-260. A éste Aditivo no se le realizaron pruebas, contándose sólo con los valores dados por la empresa distribuidora, tomándose como confiables quedando la responsabilidad de los resultados obtenidos en los datos proporcionados en su hoja técnica.

⁴⁰ Comisión federal de Electricidad, "Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1, Ed. Limusa, Preedición 1994, México, pp.128.

⁴¹ "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, AC. Steven H. Kosmatka y William C. Panarese, (traducción directa del libro "Design and Control of Concrete Mixtures", Portland Cement Association, PCA), 1992, pp 38-39.

La dosificación varió de $\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$ onzas fluidas (14.2 a 42.5 grs.) por bolsa de cemento (42500 gr) para incorporar entre un 4 y un 6% de aire.

El contenido de aire se chequeó con el medidor de aire a presión **Press-Ur-Meter CT-129**, el cual es un medidor de aire de 0.007 m^3 ($1/4 \text{ pie}^3$), que se utilizó por su rapidez para medir el porcentaje de aire en el concreto fresco.

Los relaciones A/C se mantuvieron constantes durante los tres tipos de mezclas, para poder hacer así una comparación entre los diferentes tipos de mezclas que se hicieron para las diversas resistencias, aclarando que cada tipo de resistencia tenía su propia relación A/C, indicando que hubo tres diferentes tipos de relación A/C (una para cada tipo de resistencia).

4.3 MEZCLAS DE PRUEBA.

4.3.1 CONCRETO FRESCO.

Debido a los objetivos propuestos inicialmente, se tuvo que controlar de manera diferente algunos factores en el diseño y hechura del concreto fresco, todo ésto con la meta de lograr las condiciones deseadas en el concreto endurecido como son las variaciones en la resistencia debido al incremento de temperatura y de la inclusión de aire, así tenemos entre éstos factores que se controlaron:

- Un curado casi inmediato en el concreto a compresión para evitar así la alta velocidad de evaporación, ésto se logró colocando unas placas de acero de superficie lisa debidamente engrasadas para impedir éste efecto, logrando además una superficie lisa y plana que ayudó en el momento de cabecear los cilindros (puede utilizarse como alternativa para evitar el cabeceo de especímenes), aunque en el caso de éste trabajo debido al método utilizado no se hayan cabeceado los especímenes de la manera convencional con azufre o corte con sierra para concreto.
- En los concretos con incremento de temperatura se utilizó agua calentada previamente, éstas temperaturas del agua variaron así: desde la temperatura ambiente (aproximadamente 26 °C), para concretos entre 25 y 30 °C; hasta un incremento de temperatura respecto a la ambiente de 20 ± 5 °C, para concretos entre 30 y 35 °C. Todos los datos de temperaturas del

agua son empíricos y no de Norma, los cuales se obtuvieron en el laboratorio, solamente con la práctica.

- Las relaciones A/C se mantuvieron constantes durante los tres tipos de mezclas, para poder hacer así una comparación entre los diferentes tipos de mezclas que se hicieron para las diversas resistencias, aclarando que cada tipo de resistencia tenía su propia relación A/C , indicando que hubo tres diferentes tipos de relación A/C (una para cada tipo de resistencia), por lo que hubo que controlar la variación en las relaciones A/C , al hacer un tipo de resistencia diferente.
- Debido al uso de Aditivo Inclusor de Aire el color del agua de mezclado para concretos varió de un tono claro (de las mezclas testigos y con incremento de temperatura), a un café oscuro y de apariencia de liga (para mezclas con aire incluido), variando la coloración oscura del agua dependiendo del tipo de inclusión de aire, de la procedencia del aditivo que se esté utilizando (si se varía de marca) y del porcentaje en peso del cemento incluido en el diseño de mezcla.

La **tabla 4.4** muestra el resumen de resultados obtenidos, en la fabricación de especímenes de concreto, para las diferentes pruebas de Compresión, Tensión y Flexión:

CONCEPTO	TIPO DE MEZCLA								
	TESTIGA			INC. DE TEMPERATURA			AIRE INCLUIDO		
RELACION A/C*	0.55	0.465	0.395	0.55	0.465	0.395	0.55	0.465	0.395
ADITIVO** (gr/bolsa de cemento)	—	—	—	—	—	—	14.2 a 42.5	14.2 a 42.5	14.2 a 42.5
TEMPERATURA DEL AGUA***	ambiente	ambiente	ambiente	ambiente + 20 ± 5 °C	ambiente + 20 ± 5 °C	ambiente + 20 ± 5 °C	ambiente	ambiente	ambiente
REVENIMIENTO (pul)****	4.5	4.5	4.5	4	4	4	7.5	7.5	7.5

TABLA 4.4 RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS EN FABRICACION DE CONCRETO.

- Notas:**
- * La relación A/C dependerá del tipo de resistencia que se requiera
 - ** Las cantidades de Aditivo a colocar dependerán del porcentaje de aire que se requiera incluir, así será de 14.2 gr/bolsa de cemento para el 4% de aire incluido y de 42.5 gr/bolsa para el 6%
 - *** La temperatura variará dependiendo del incremento que se le quiera. Se tomará como temperatura ambiente la temperatura que se tuvo en el laboratorio, la cual fué de aproximadamente 23 °C.
 - **** Los valores de revenimiento son los promedios de los resultados obtenidos para cada uno de los tipos de mezclas que se hicieron.

4.3.2 MANEJO Y COLOCACION DEL CONCRETO.

- El concreto se fabricó en la concretera de gasolina con capacidad de 1 bolsa, los componentes fueron pesados en la balanza de 20 kg. y el aditivo fué medido en la balanza de 0.1 gr. de precisión.
- Los tiempos de revoltura variaron, dependiendo del tipo de concreto que se realizó, así los tiempos de las mezclas para concretos testigos y con incremento de aire fueron de aproximadamente 3 minutos luego de aplicárseles la última carga, y para concretos con aire incorporado fueron

de 5 minutos luego de la última carga con el fin de dar el tiempo suficiente para la creación de burbujas debido al Aditivo inclusor de aire.

- La compactación del concreto se realizó según la Norma ASTM C-192, usando vibrador con el objetivo de lograr una mezcla más homogénea, y mejorar así su comportamiento.
- La colocación se realizó mezclando previamente el concreto antes de ser depositado en los moldes, para evitar la segregación y el sangrado de las mezclas.

4.3.3 CONTROL

El control de los materiales, de la fabricación de la mezcla y de los ensayos realizados es de mucha importancia para obtener los resultados que se esperan.

Algunos de éstos aspectos son los que se mencionan a continuación:

- Para el diseño de la mezcla, previamente se tomaron los contenidos de humedad de los agregados, esto con el objeto de no introducir variación en el agua previamente diseñada.
- El revenimiento se tomó a cada una de las mezclas mediante el Cono de Abrams (ASTM C-143), el cual se adapta fácilmente a los CCN.
- La consolidación del concreto se logró mediante el Vibrador Mecánico, el cual logró que las partículas de agregado se acomodaran mejor junto al cemento y el agua.

4.4 CONCRETO ENDURECIDO

- Luego de desmoldados los especímenes se colocaron en la pila de curado del cuarto húmedo a una temperatura de 23 ± 1.7 °C, para que desarrollaran la resistencia en condiciones controladas.

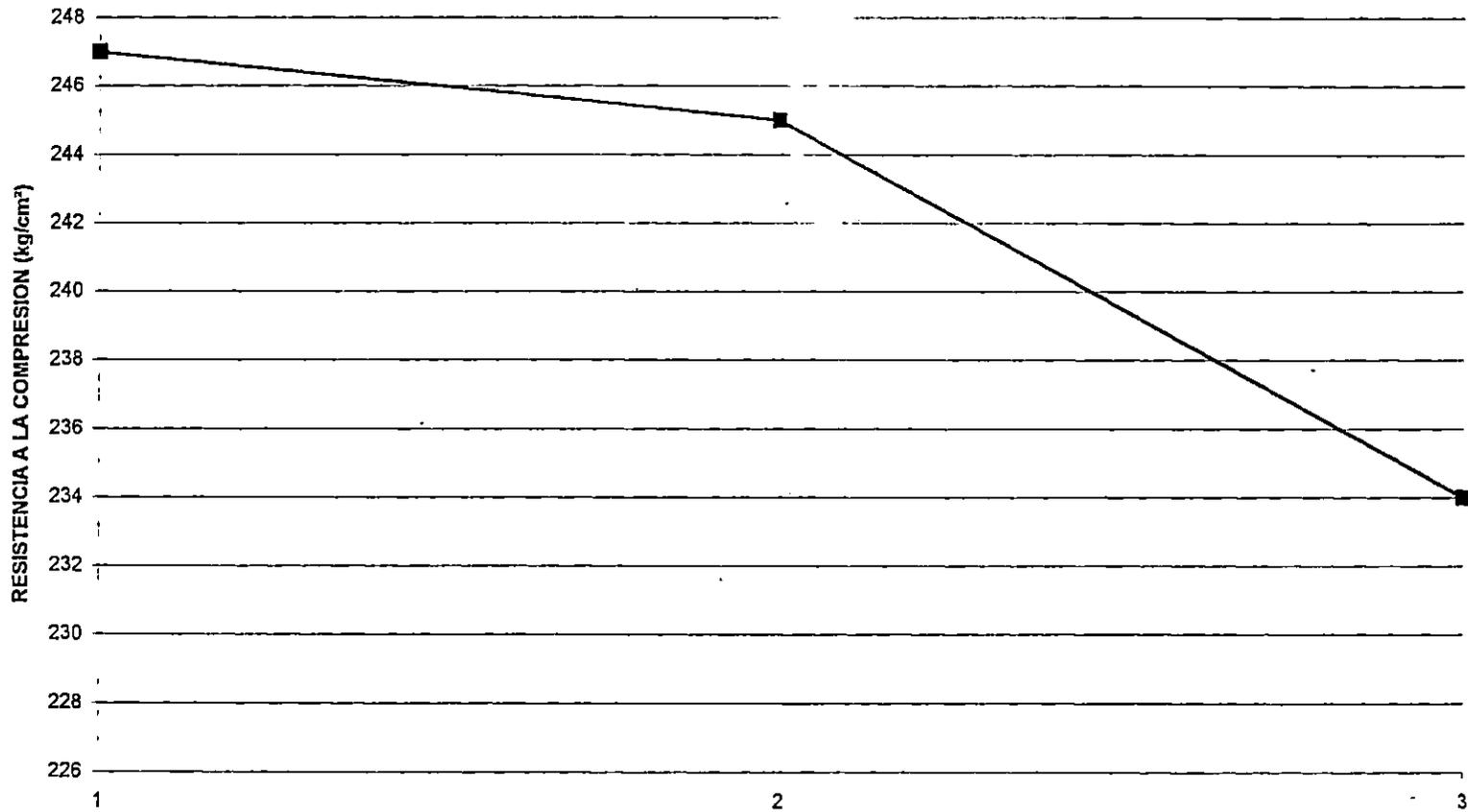
El cabeceo de especímenes a compresión se realizó sólo mediante la colocación de almohadillas de Neopreno (ASTM C-1231), el cual da una seguridad al operario, así como a las instalaciones del laboratorio, buena higiene y ocupan un espacio reducido.

4.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION

Las gráficas muestran el comportamiento de la resistencia a compresión promedio alcanzadas por los diferentes tipos de mezcla, todos a la edad de 28 días de ruptura.

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCREMENTO DE TEMPERATURA.

RESISTENCIA ESPERADA: 210 kg/cm²



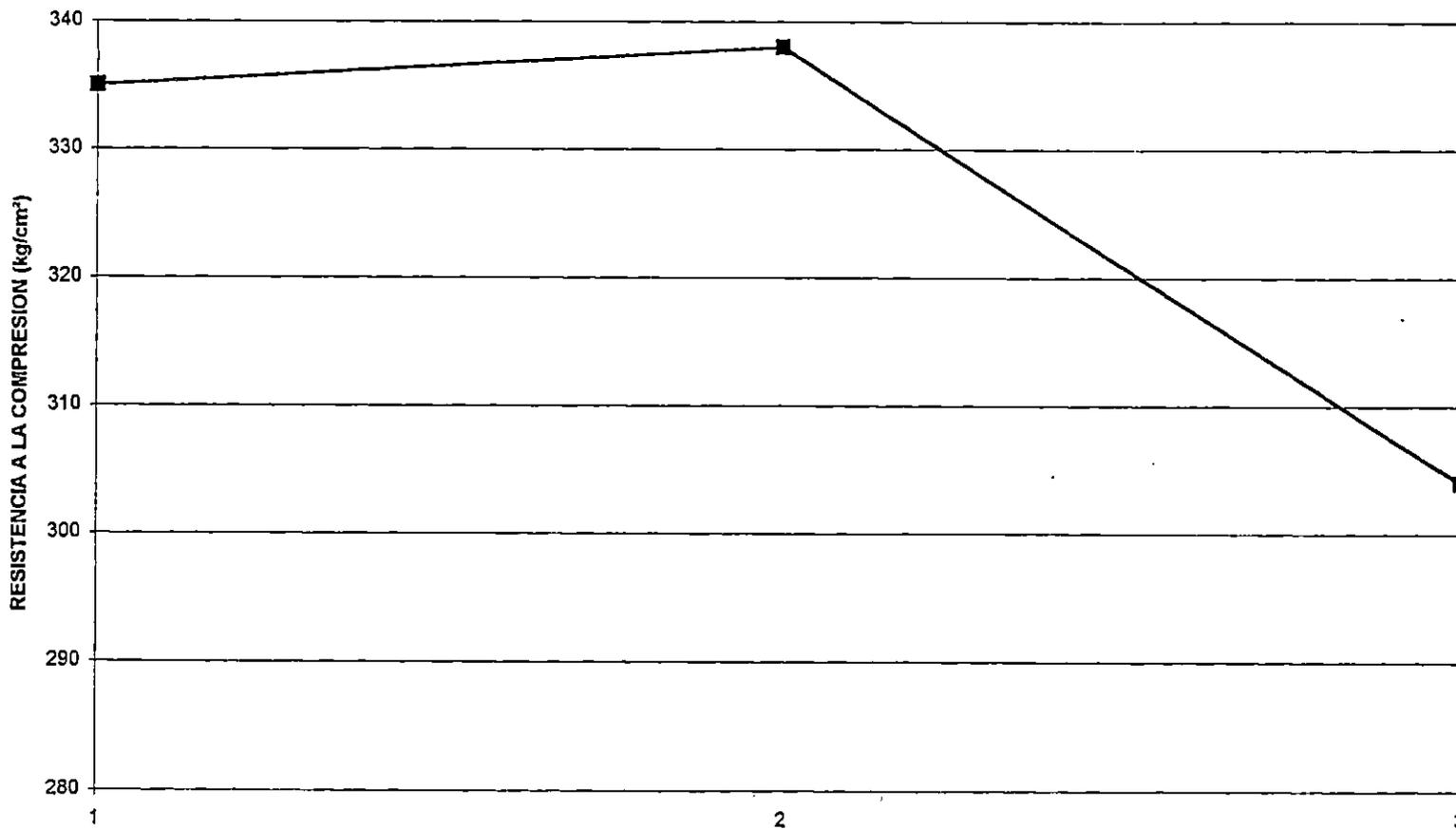
TIPO DE ESPECIMENES:

1- CILINDROS TESTIGOS

2- CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA DE 25-30 °C

3- CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA DE 30 A 35 °C

**GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCREMENTO DE TEMPERATURA.
RESISTENCIA ESPERADA: 280 kg/cm²**



TIPO DE ESPECIMENES:

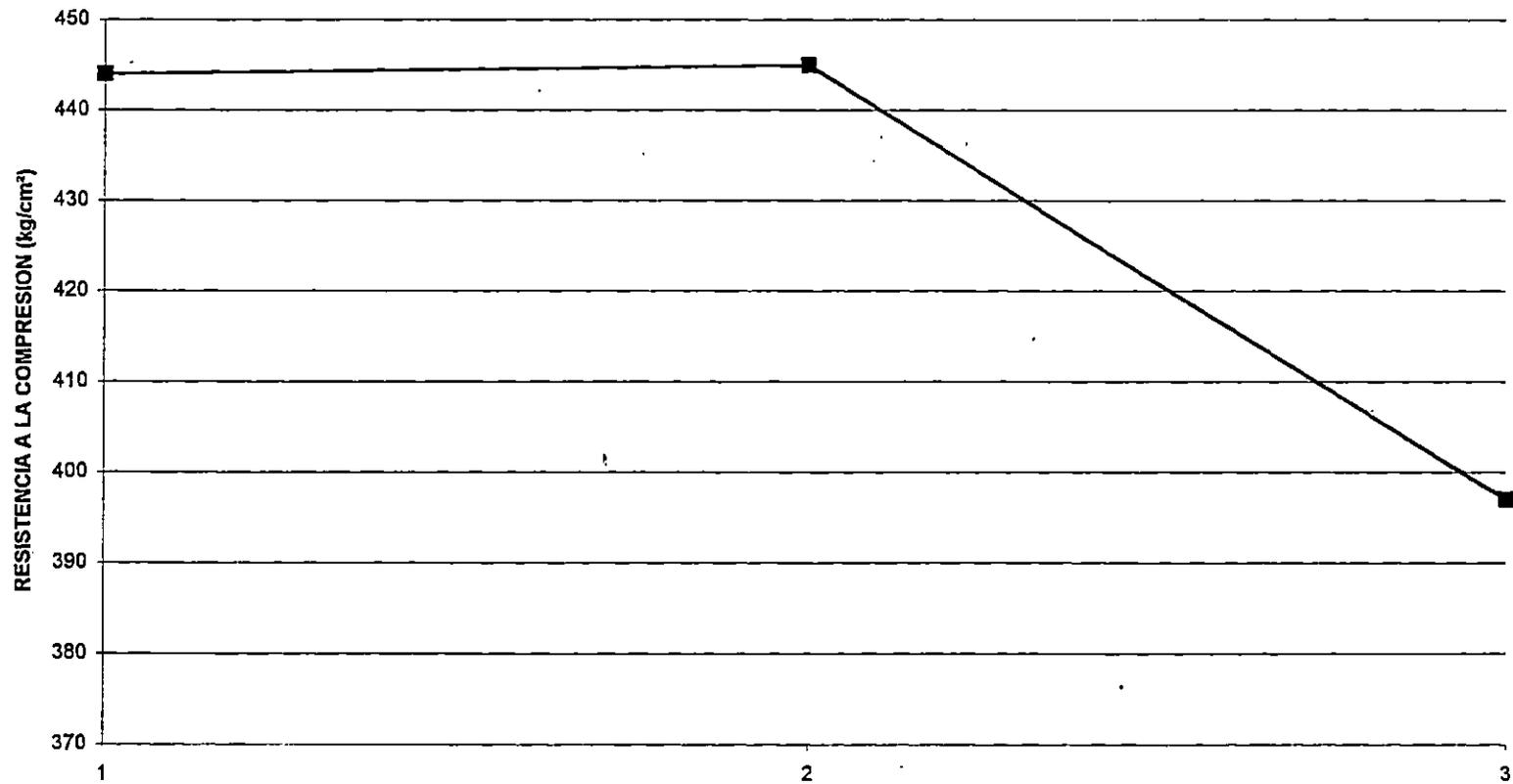
1- CILINDROTESTIGOS

2- CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA DE 25-30 °C

3- CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA DE 30 A 35 °C

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCREMENTO DE TEMPERATURA.

RESISTENCIA ESPERADA: 350 kg/cm²



TIPO DE ESPECIMENES:

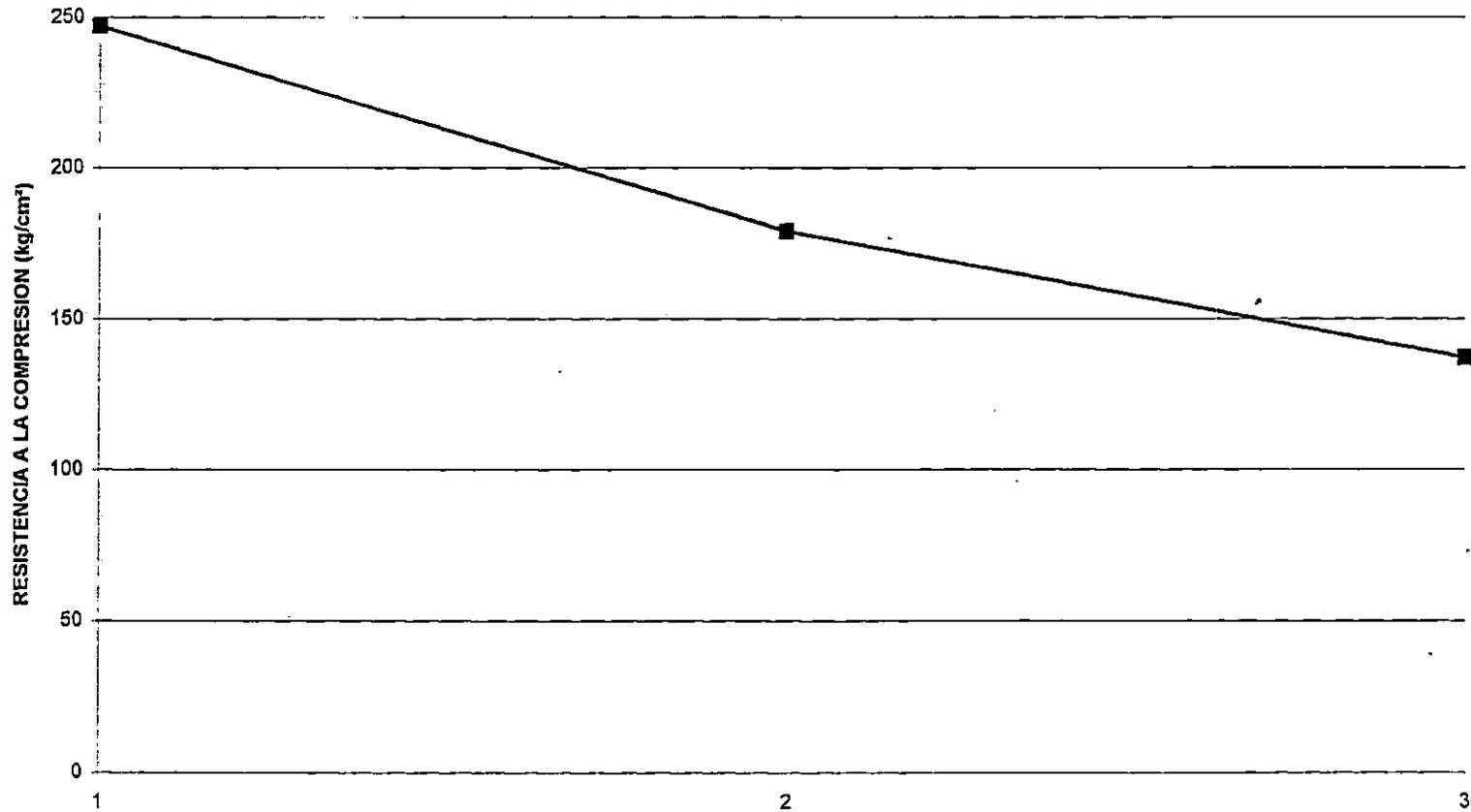
1- CILINDROS TESTIGOS

2- CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA DE 25-30 °C

3- CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA DE 30 A 35 °C

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCLUSION DE AIRE.

RESISTENCIA ESPERADA: 210 kg/cm²

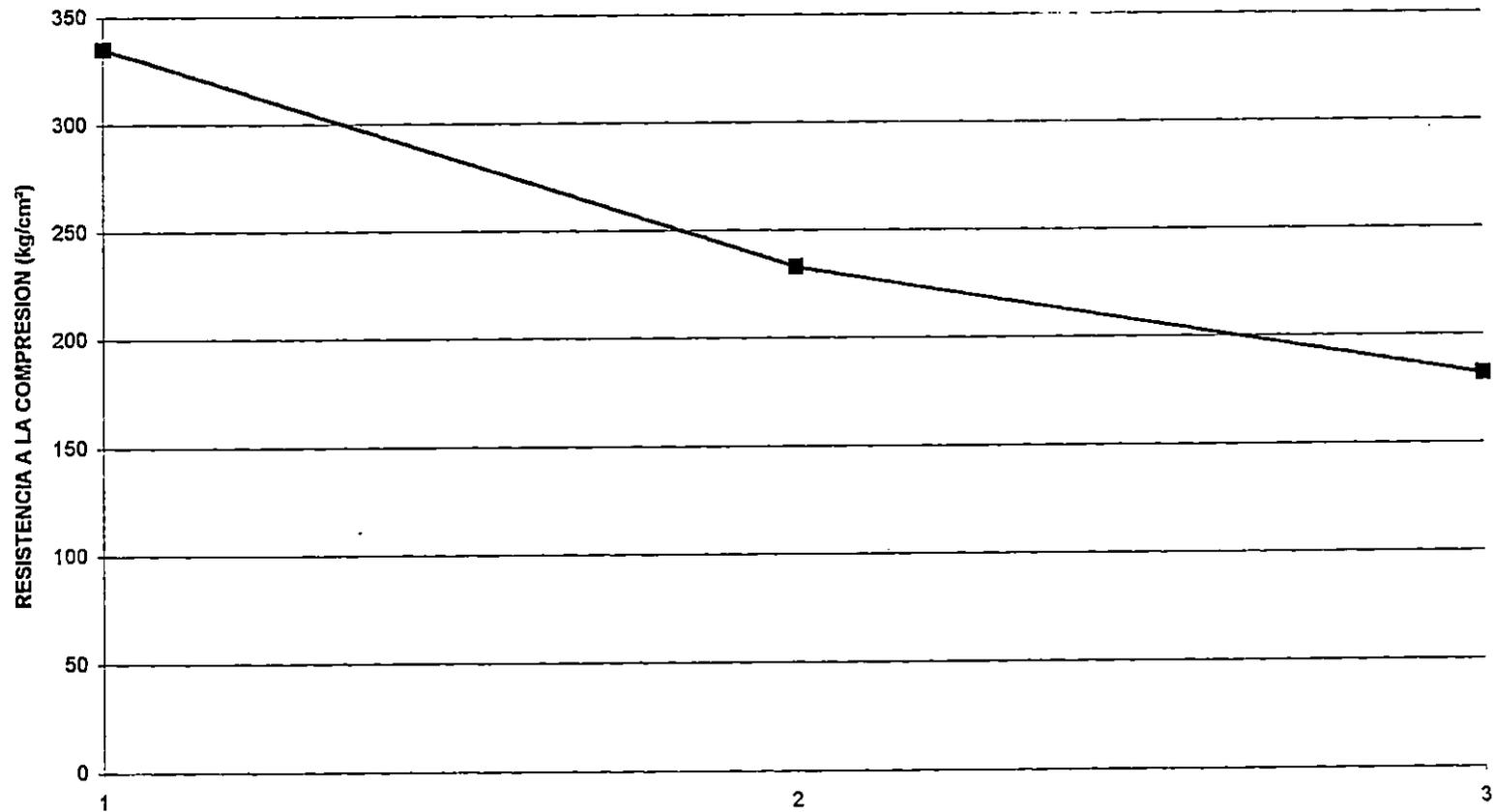


TIPO DE ESPECIMENES:

- 1- CILINDROS TESTIGOS CON AIRE ATRAPADO APROX. AL 2%
- 2- CILINDROS CON AIRE INCLUIDO AL 4% (AIRE TOTAL APROX. 6%)
- 3- CILINDROS CON AIRE INCLUIDO AL 6% (AIRE TOTAL APROX. 8%)

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCLUSION DE AIRE.

RESISTENCIA ESPERADA: 280 kg/cm²

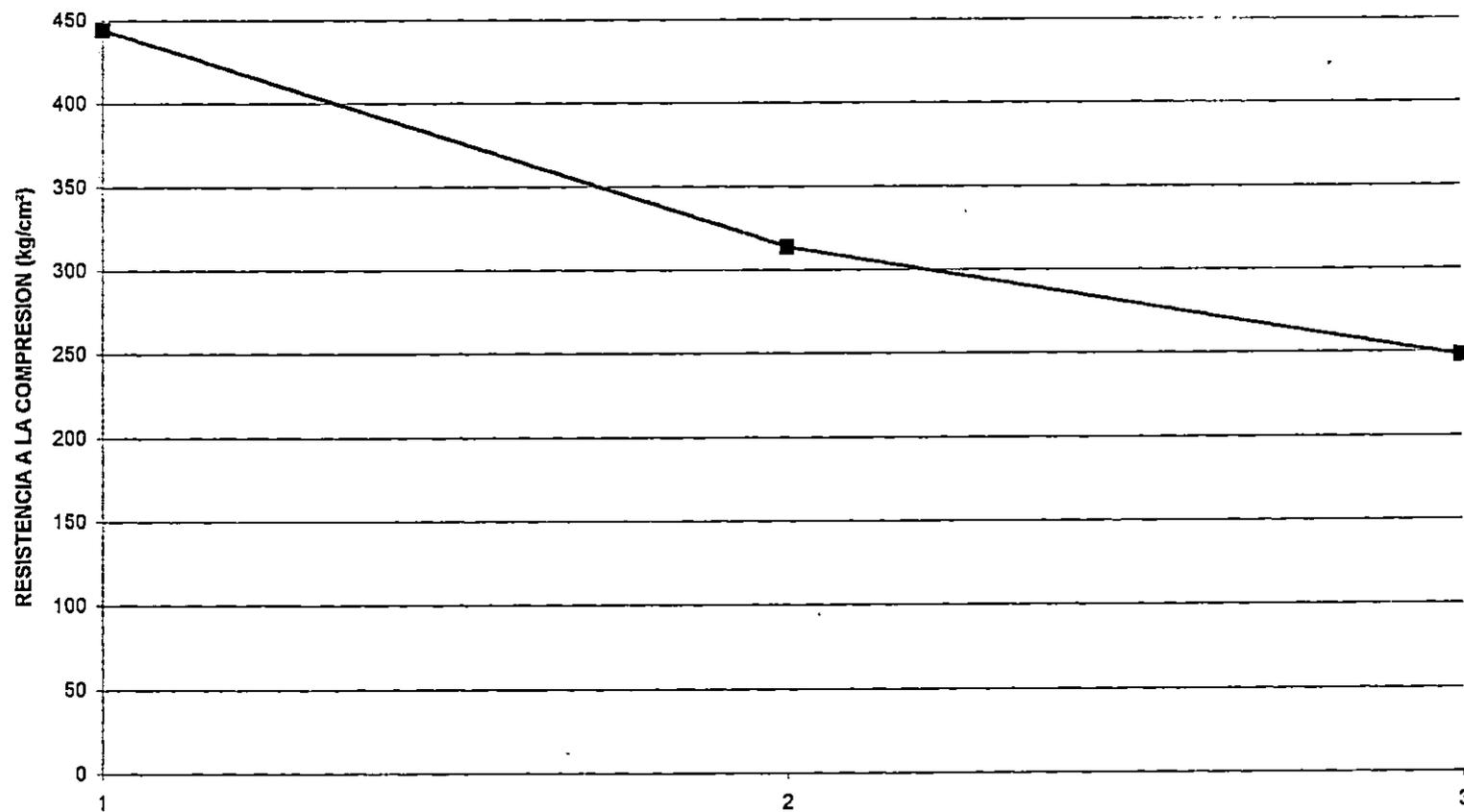


TIPO DE ESPECIMENES:

- 1- CILINDROS TESTIGOS CON AIRE ATRAPADO APROX. AL 2%
- 2- CILINDROS CON AIRE INCLUIDO AL 4% (AIRE TOTAL APROX. 6%)
- 3- CILINDROS CON AIRE INCLUIDO AL 6% (AIRE TOTAL APROX. 8%)

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCLUSION DE AIRE.

RESISTENCIA ESPERADA: 350 kg/cm²



TIPO DE ESPECIMENES:

- 1- CILINDROS TESTIGOS CON AIRE ATRAPADO APROX. AL 2%
- 2- CILINDROS CON AIRE INCLUIDO AL 4% (AIRE TOTAL APROX. 6%)
- 3- CILINDROS CON AIRE INCLUIDO AL 6% (AIRE TOTAL APROX. 8%)

Los cálculos se realizaron haciendo uso de las siguientes fórmulas:

- Esfuerzo a Compresión:

$$f_c = P/A \quad (\text{ASTM C-39})$$

Donde: f_c = Esfuerzo a compresión (kg/cm²)

P = Carga Máxima aplicada (kg)

A = Area (cm²)

4.4.1.1 ANALISIS DEL RESULTADOS EN PRUEBAS A COMPRESION

En éstos gráficos (4.26 al 4.26a y 4.26b), tanto como en la Tabla 4.5 es fácil notar la disminución en las resistencias a medida se incrementan las temperaturas del concreto y se le incluya aire extra al que se encuentra atrapado originalmente en la mezcla de concreto fresco.

La ganancia extra en la resistencia de los concretos a compresión de mezclas testigas y de temperatura entre los 25 y 30°C, son del orden del +22% aproximadamente, ésto debido a que la Resistencia de diseño (f_{cr}), es ligeramente mayor que la resistencia especificada, así para mezclas a Compresión los diseños se realizaron incrementando en 70 Kg/cm² las mezclas con resistencias de 210 kg/cm², y en 85 kg/cm² para 280 y 350 kg/cm².

En concretos con incremento de temperatura, aunque se observa aún una ganancia de resistencia, se observa ya una leve disminución de la resistencia, pues la ganancia es sólo de +11%, ésto debido a la acelerada velocidad de

evaporación que provoca pérdidas en la resistencia. Esto se observaría con mayor facilidad si se hicieran incrementos de temperatura mayores (leer recomendaciones).

Los concretos con aire incluido, reflejan de manera más sobresaliente la disminución de la resistencia puesto que se observan pérdidas bien marcadas en la resistencia obtenida, tomando como el 100% la resistencia esperada. La resistencia se redujo al -25% como promedio, siendo de -15% aproximadamente para concretos con 4% de aire incluido y de -35% para concretos con 6% de aire incluido.

TABLA 4.5

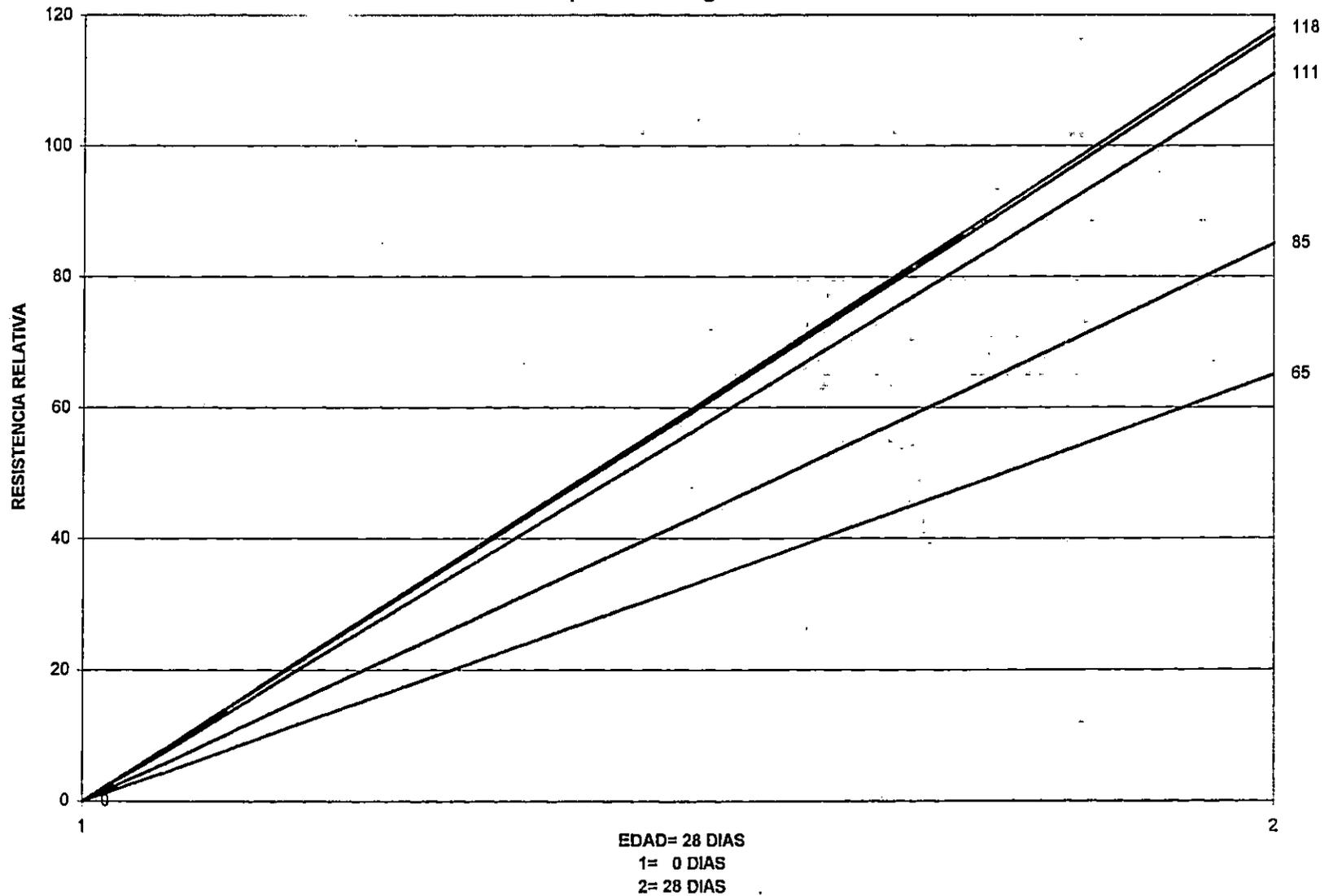
COMPARACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO OBTENIDA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPERADA

TIPO DE CILINDROS	RESISTENCIA ESPERADA (kg/cm ²)	RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	RESISTENCIA OBTENIDA* (%)
1- Testigos	210	247	248	118
2-Temperatura 25-30 °C	"	245	248	117
3-Temperatura 30-35 °C	"	234	246	111
4-Aire al 4%	"	179	186	85
5-Aire al 6%	"	137	138	65
1- Testigos	280	335	351	120
2-Temperatura 25-30 °C	"	338	351	121
3-Temperatura 30-35 °C	"	304	322	109
4-Aire al 4%	"	233	244	83
5-Aire al 6%	"	182	184	65
1- Testigos	350	444	473	127
2-Temperatura 25-30 °C	"	445	473	127
3-Temperatura 30-35 °C	"	397	401	113
4-Aire al 4%	"	314	322	90
5-Aire al 6%	"	248	248	71

* La resistencia obtenida en %, es un valor que indica cuanto es el valor de relación obtenida respecto a la resistencia esperada, o sea un valor de resistencia relativa.

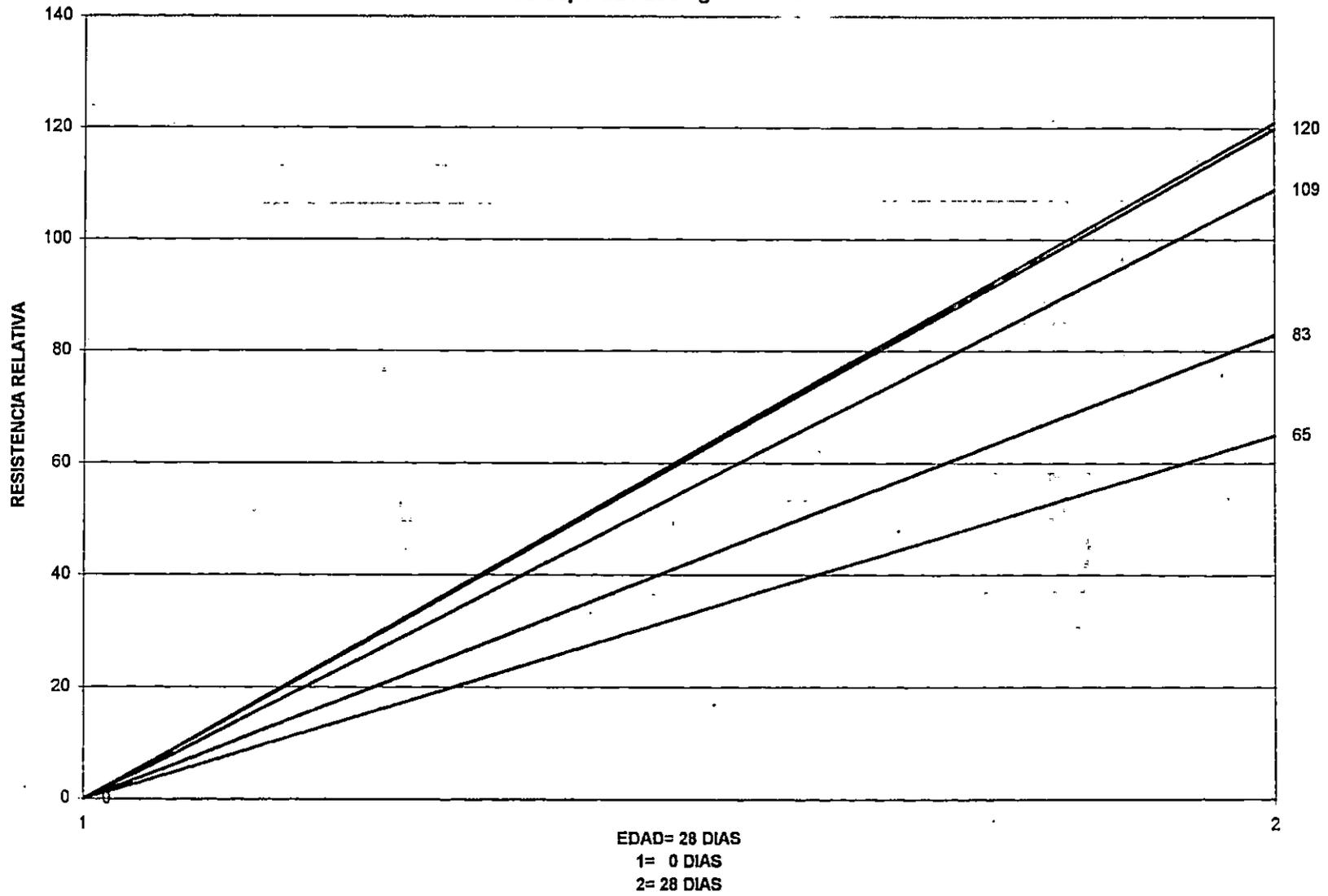
*** Todos estos especímenes se probaron a Compresión

GRAFICA 4.26
RESISTENCIA RELATIVA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO A COMPRESION.
f'c esperado 210 kg/cm² = 100%



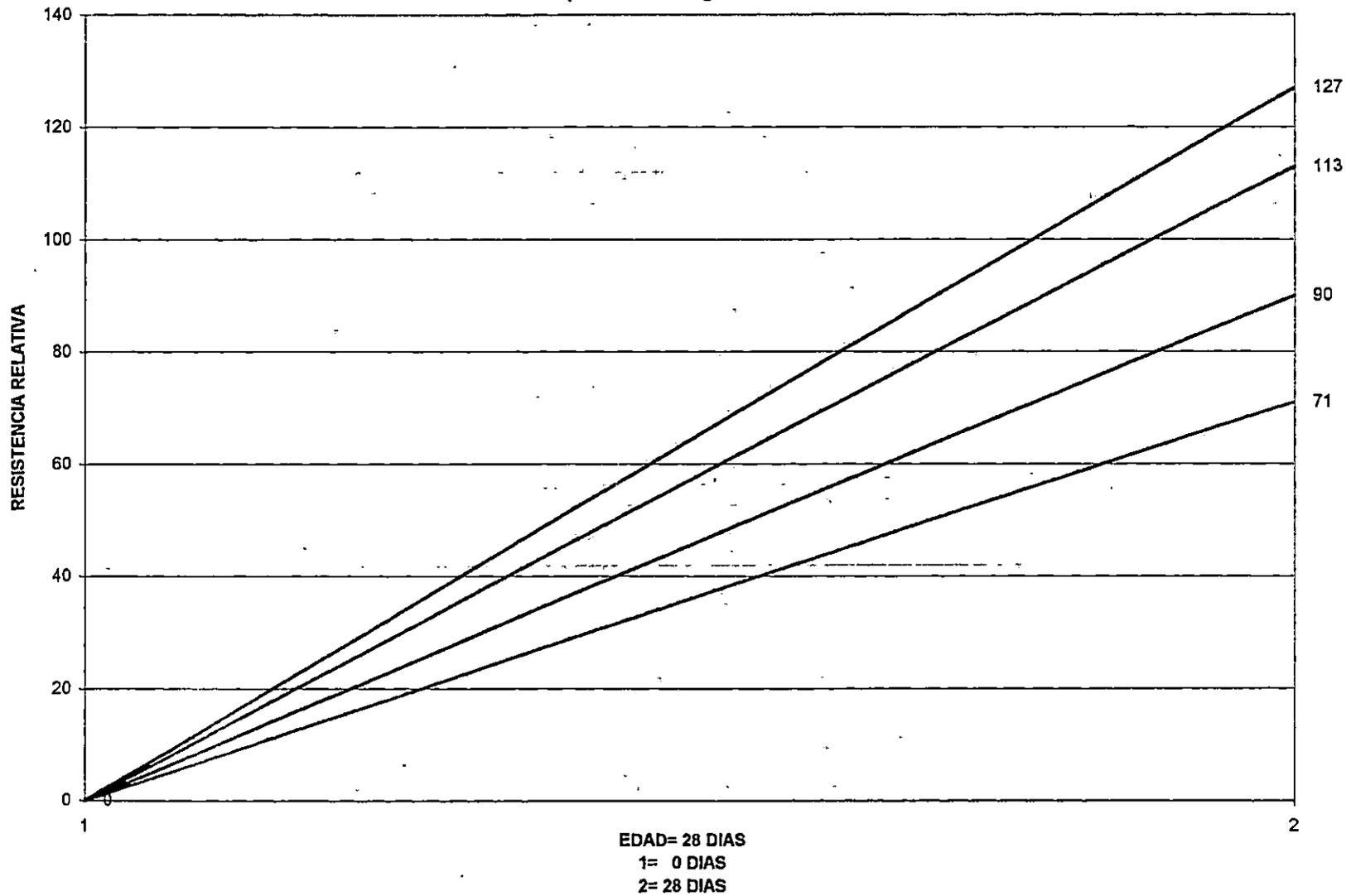
En orden descendente: Mezclas Testigas, entre 25 y 30 °C, entre 30 y 35 °C, al 4% de aire y al 6% de aire

GRAFICA 4.26 a
RESISTENCIA RELATIVA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO A COMPRESION.
f_c esperado 280 kg/cm² = 100%



EDAD= 28 DIAS
1= 0 DIAS
2= 28 DIAS
En orden descendente: Mezclas Testigas, entre 25 y 30 °C, entre 30 y 35 °C, al 4% de aire y al 6% de aire

GRAFICA 4.26 b
RESISTENCIA RELATIVA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO A COMPRESION.
f'c esperado 350 kg/cm² = 100%

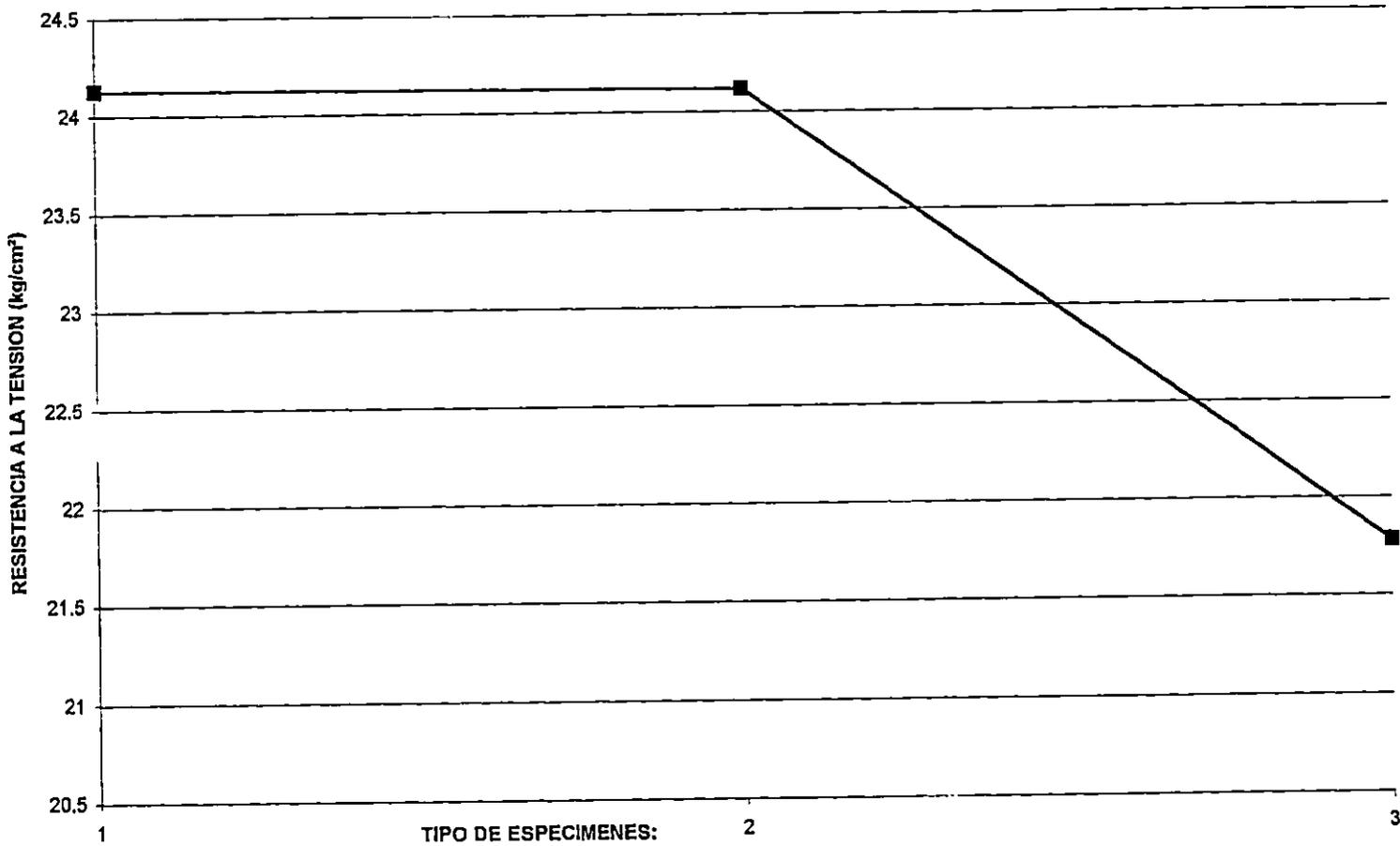


En orden descendente: Mezclas Testigas, entre 25 y 30 °C, entre 30 y 35 °C, al 4% de aire y al 6% de aire

4.4.2 RESISTENCIA A LA TENSION

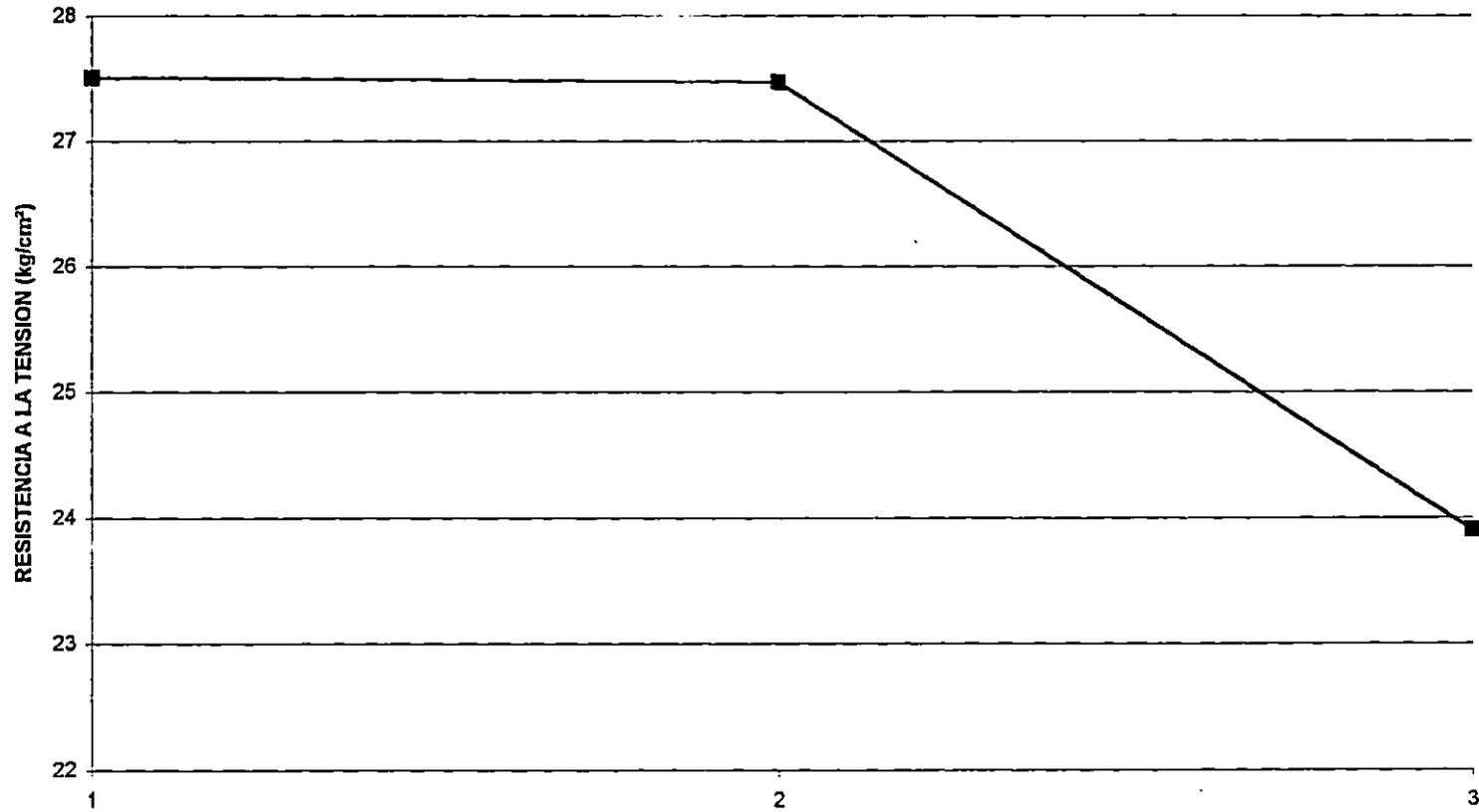
Los resultados obtenidos en la Prueba de Tensión se muestran en las gráficas 4.7 a 4.12, éstos son los resultados Promedios alcanzados por los diferentes tipos de mezcla.

**GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS -
INCREMENTO DE TEMPERATURA.
RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPERADA: 210 kg/cm²**



TIPO DE ESPECIMENES:
1- CILINDROS TESTIGOS
2- CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA DE 25-30 °C
3- CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA DE 30 A 35 °C

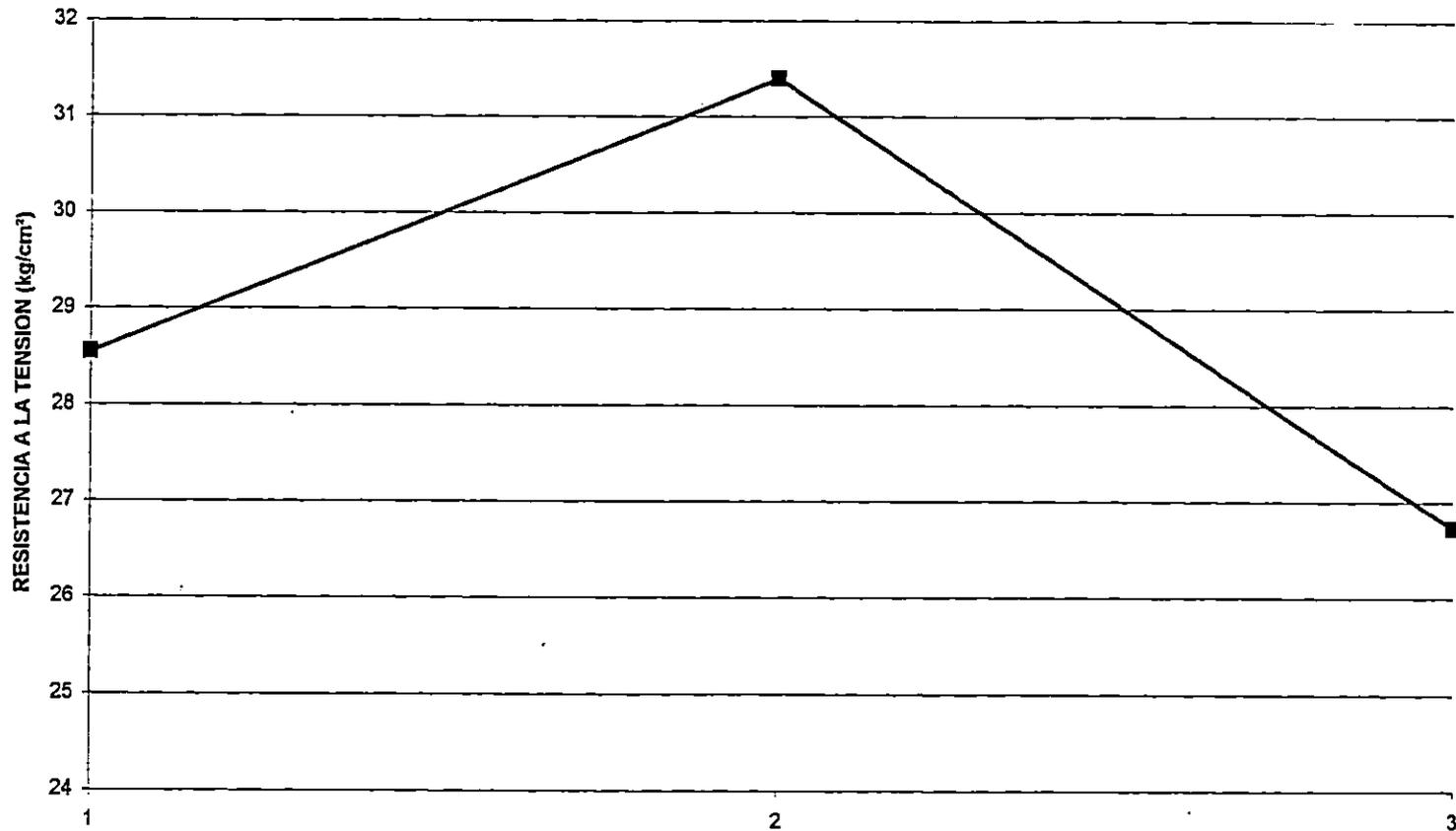
**GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS -
INCREMENTO DE TEMPERATURA.
RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPERADA: 280 kg/cm²**



TIPO DE ESPECIMENES:
1- CILINDROS TESTIGOS
2- CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA DE 25-30 °C
3- CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA DE 30 A 35 °C

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCREMENTO DE TEMPERATURA.

RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPERADA: 350 kg/cm²



TIPO DE ESPECIMENES:

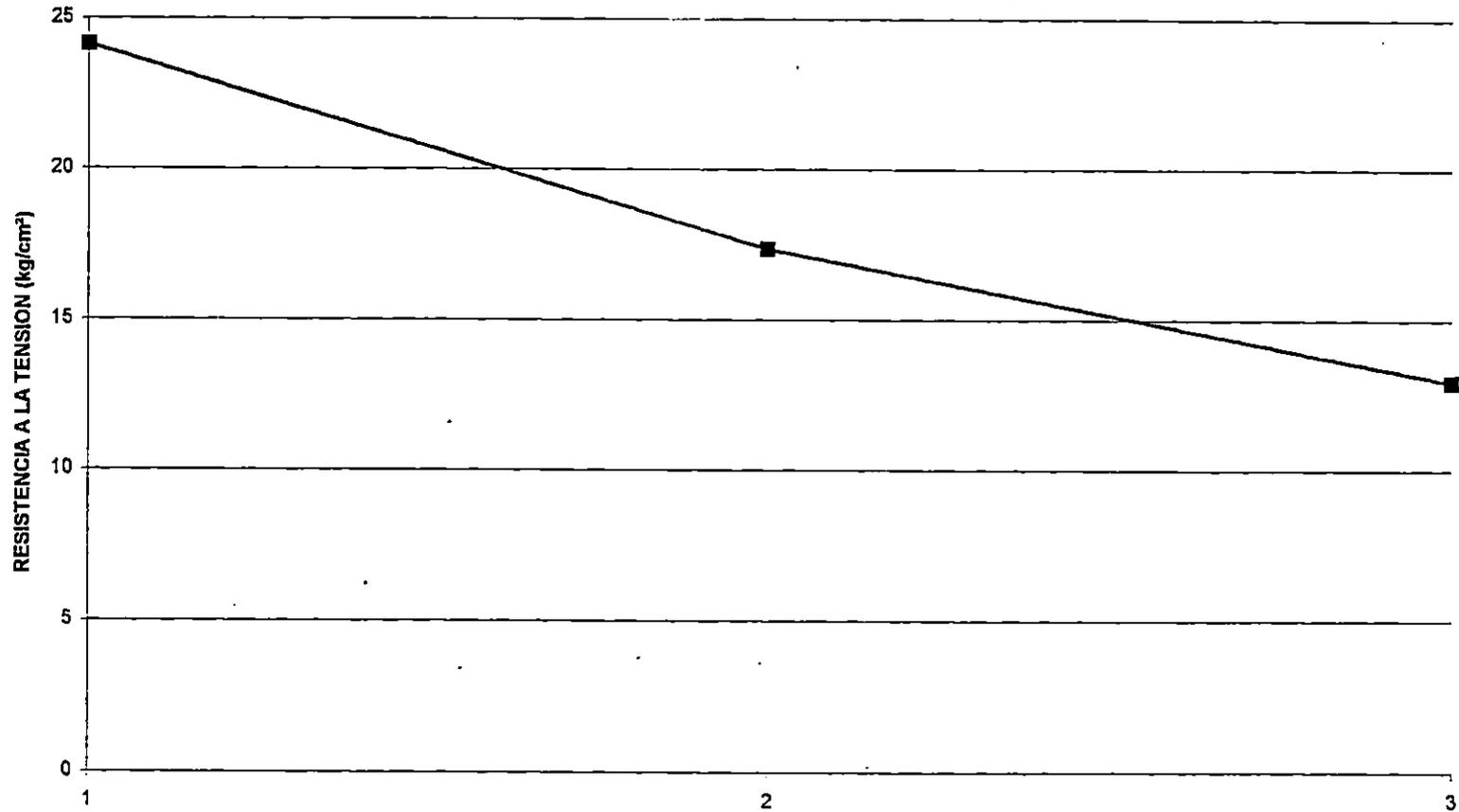
1- CILINDROS TESTIGOS

2- CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA DE 25-30 °C

3- CILINDROS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA DE 30 A 35 °C

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCLUSION DE AIRE.

RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPERADA: 210 kg/cm²

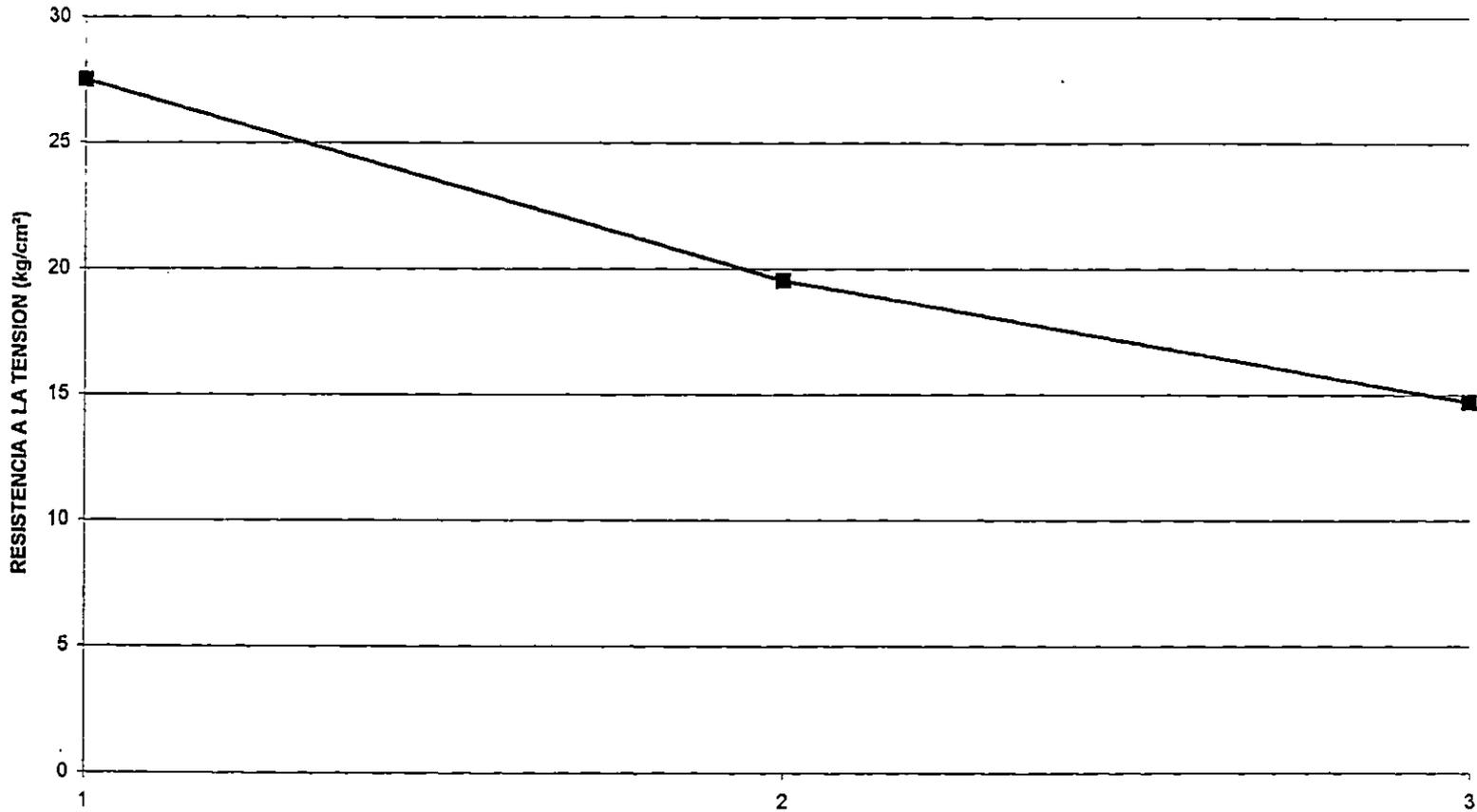


TIPO DE ESPECIMENES:

- 1- CILINDROS TESTIGOS CON AIRE ATRAPADO AL 2% APROXIMADAMENTE
- 2- CILINDROS CON INCLUSION DE AIRE AL 4% (AIRE TOTAL APROX. 6%)
- 3- CILINDROS CON INCLUSION DE AIRE AL 6% (AIRE TOTAL APROX. 8%)

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCLUSION DE AIRE.

RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPERADA: 280 kg/cm²

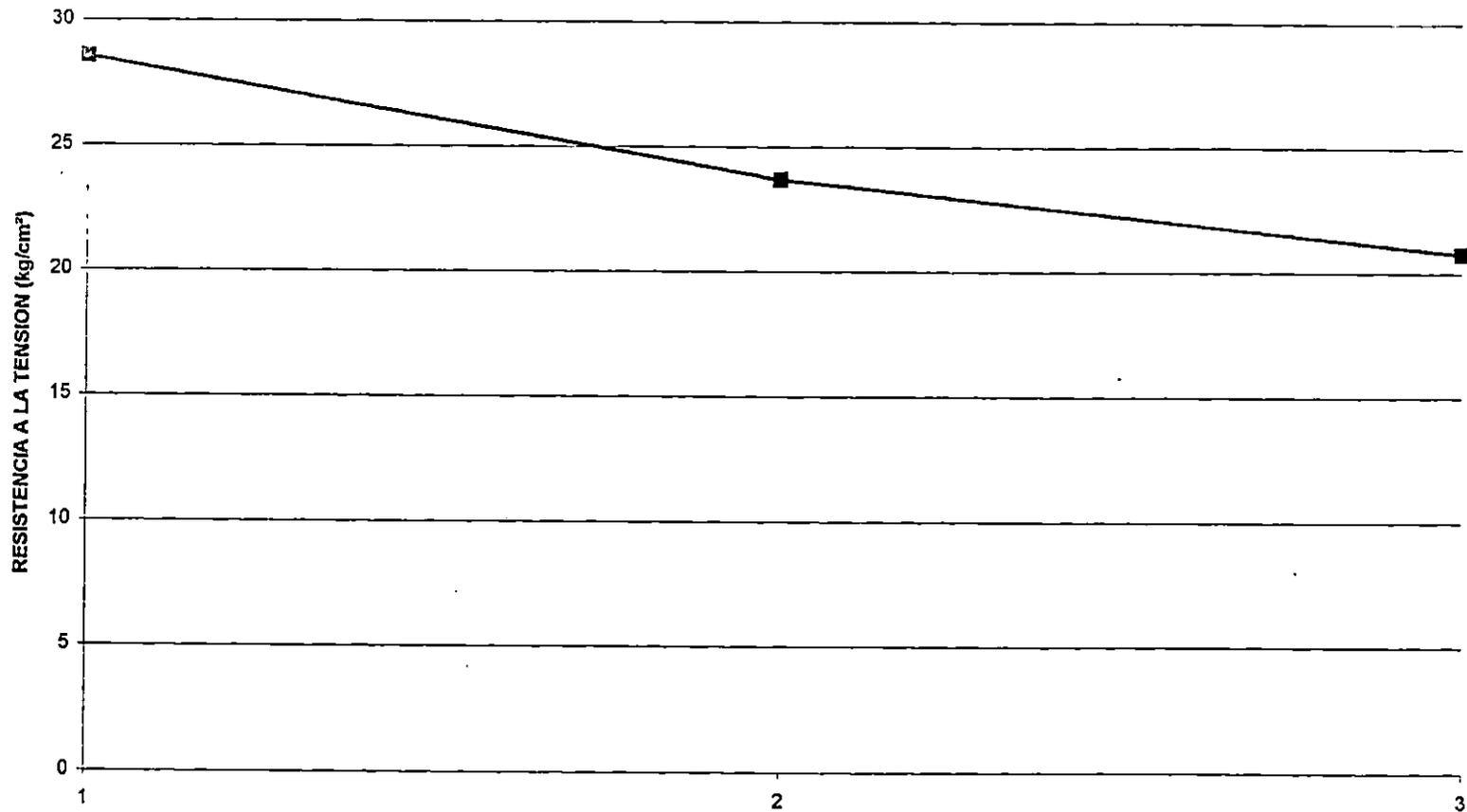


TIPO DE ESPECIMENES:

- 1- CILINDROS TESTIGOS CON AIRE ATRAPADO AL 2% APROXIMADAMENTE
- 2- CILINDROS CON INCLUSION DE AIRE AL 4% (AIRE TOTAL APROX. 6%)
- 3- CILINDROS CON INCLUSION DE AIRE AL 6% (AIRE TOTAL APROX. 8%)

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCLUSION DE AIRE.

RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPERADA: 350 kg/cm²



TIPO DE ESPECIMENES:

- 1- CILINDROS TESTIGOS CON AIRE ATRAPADO AL 2% APROXIMADAMENTE**
- 2- CILINDROS CON INCLUSION DE AIRE AL 4% (AIRE TOTAL APROX. 6%)**
- 3- CILINDROS CON INCLUSION DE AIRE AL 6% (AIRE TOTAL APROX. 8%)**

- Esfuerzo a Tensión:

$$T = 2P / \pi L d \quad (\text{ASTM C-496})$$

Donde: T= Esfuerzo a Tensión (kg/cm²)

P= Carga máxima aplicada (kg)

L= Longitud del espécimen (cm)

d= Diámetro del espécimen (cm)

4.4.2.1 CALCULOS DE LA RELACION QUE EXISTE ENTRE LA TENSION Y LA COMPRESION.

La resistencia característica a tracción del concreto en función de la compresión viene dada por: $T = 0.45 \times \sqrt{f_c^2}$

o $T = 0.45 \times f_c$

4.4.2.2 ANALISIS DE RESULTADOS EN PRUEBAS A TENSION

El análisis de los resultados de éstas pruebas es similar al de la Prueba a Compresión (observar gráficos 4.27, 4.27a y 4.27b, así como la Tabla 4.6), es fácil notar la disminución en las resistencias a medida se incrementan las temperaturas del concreto y se le incluya aire extra al que se encuentra atrapado originalmente en la mezcla de concreto fresco.

La ganancia extra en la resistencia de los concretos a tensión de mezclas testigas y de temperatura entre los 25 y 30°C, son del orden del +42% aproximadamente, ésto debido al incremento en resistencia a compresión que se le hace al concreto, según el reglamento ACI-211.

En concretos con incremento de temperatura, aunque se observa aún una ganancia de resistencia, se observa ya una leve disminución de la resistencia al +18%, ésto debido a la acelerada velocidad de evaporación que provoca pérdidas en la resistencia. Nuevamente se indica que ésto se observaría con mayor facilidad si se hicieran incrementos de temperatura mayores (leer recomendaciones).

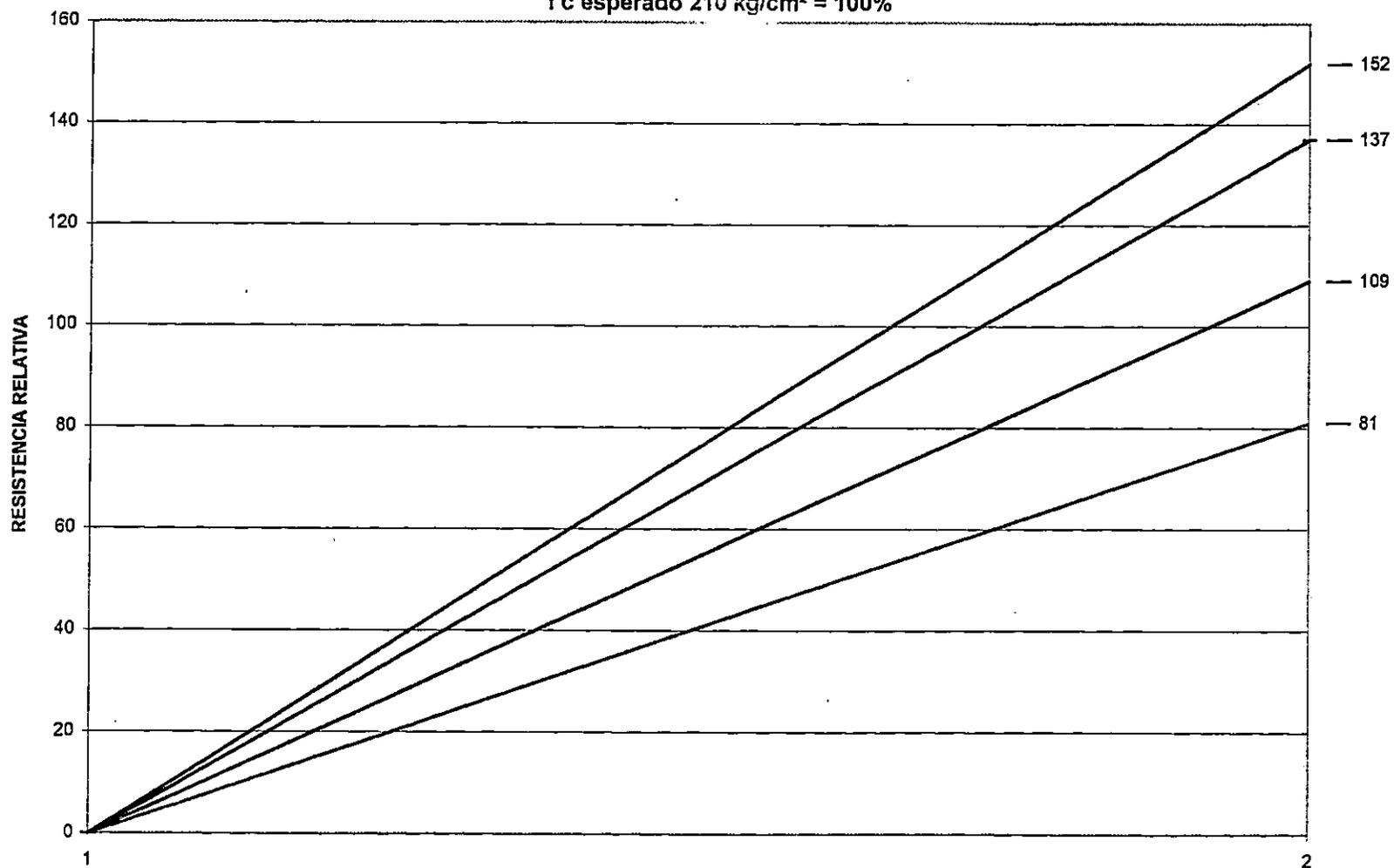
Los concretos con aire incluido, reflejan de manera más sobresaliente la disminución de la resistencia puesto que se observan pérdidas bien marcadas en la resistencia obtenida, tomando como el 100% la resistencia esperada. La resistencia se redujo al -5%, abajo del 100% como promedio, siendo del +2% aproximadamente para concretos con 4% de aire incluido y de -15% para concretos con 6% de aire incluido.

TABLA 4.6
COMPARACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA TENSION ESPERADA Y LA RESISTENCIA A LA TENSION OBTENIDA

TIPO DE CILINDROS	RESISTENCIA ESPERADA A COMPRESION (kg/cm ²)	RESISTENCIA ESPERADA A TENSION (kg/cm ²)	RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	RESISTENCIA OBTENIDA (%)
1- Testigos	210	15.90	24.13	24.88	152
2-Temperatura 25-30 °C	"	"	24.12	24.72	152
3-Temperatura 30-35 °C	"	"	21.78	22.45	137
4-Aire al 4%	"	"	17.36	17.38	109
5-Aire al 6%	"	"	12.94	13.15	81
1- Testigos	280	19.26	27.51	28.15	143
2-Temperatura 25-30 °C	"	"	27.47	28.24	143
3-Temperatura 30-35 °C	"	"	21.78	22.46	113
4-Aire al 4%	"	"	17.36	17.38	90
5-Aire al 6%	"	"	12.94	13.15	67
1- Testigos	350	22.35	28.55	29.55	132
2-Temperatura 25-30 °C	"	"	31.4	29.55	132
3-Temperatura 30-35 °C	"	"	26.73	27.26	122
4-Aire al 4%	"	"	23.68	24.04	108
5-Aire al 6%	"	"	20.77	23.83	107

***Todos estos especímenes se probaron a Tensión

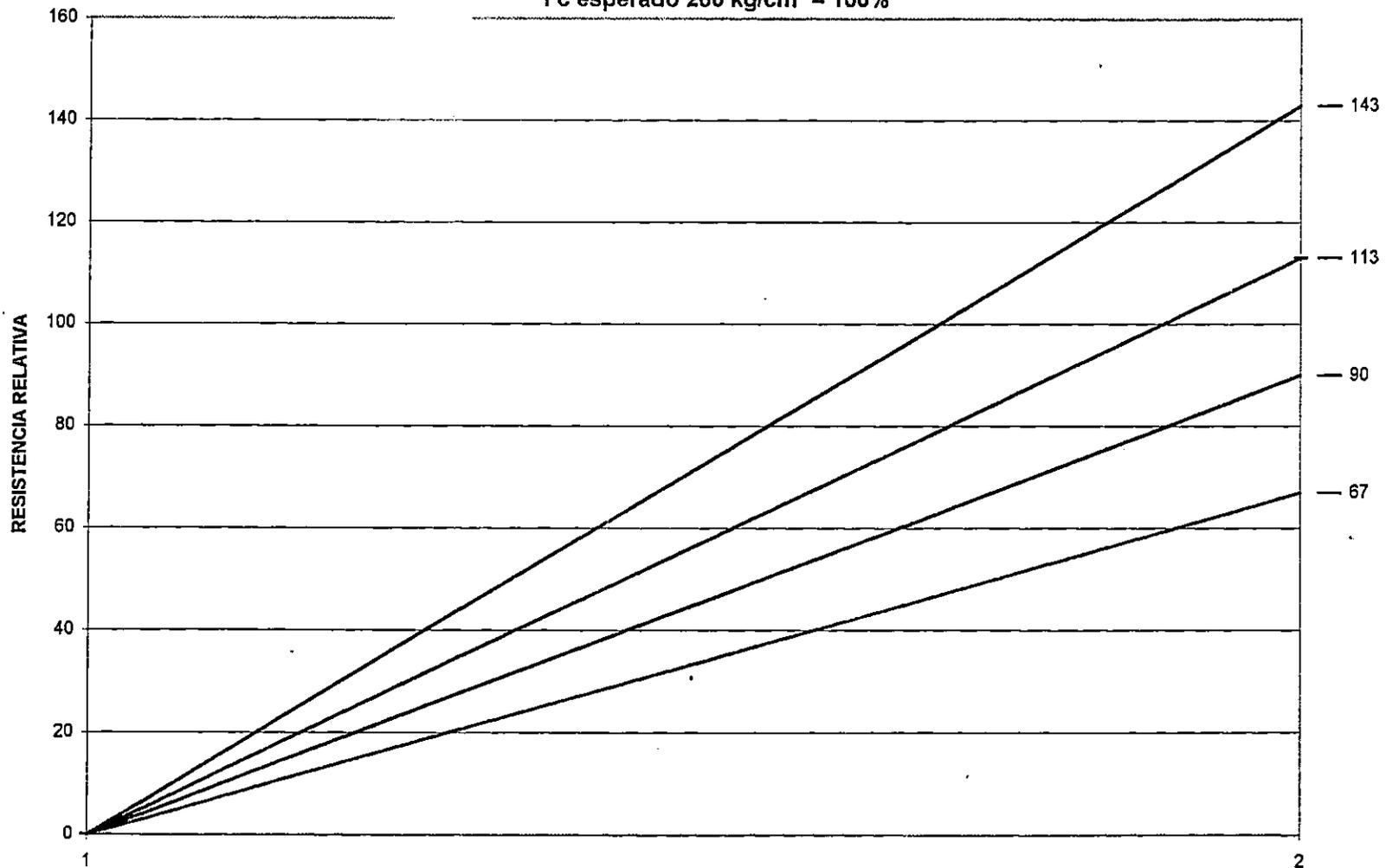
GRAFICA 1.27
RESISTENCIA RELATIVA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO A TENSION.
f'c esperado 210 kg/cm² = 100%



EDAD= 28 DIAS
1= 0 DIAS
2= 28 DIAS

En Orden descendente: Mezclas Testigas y entre 25 y 30 °C, entre 30 y 35 °C, al 4% de aire y al 6% de aire

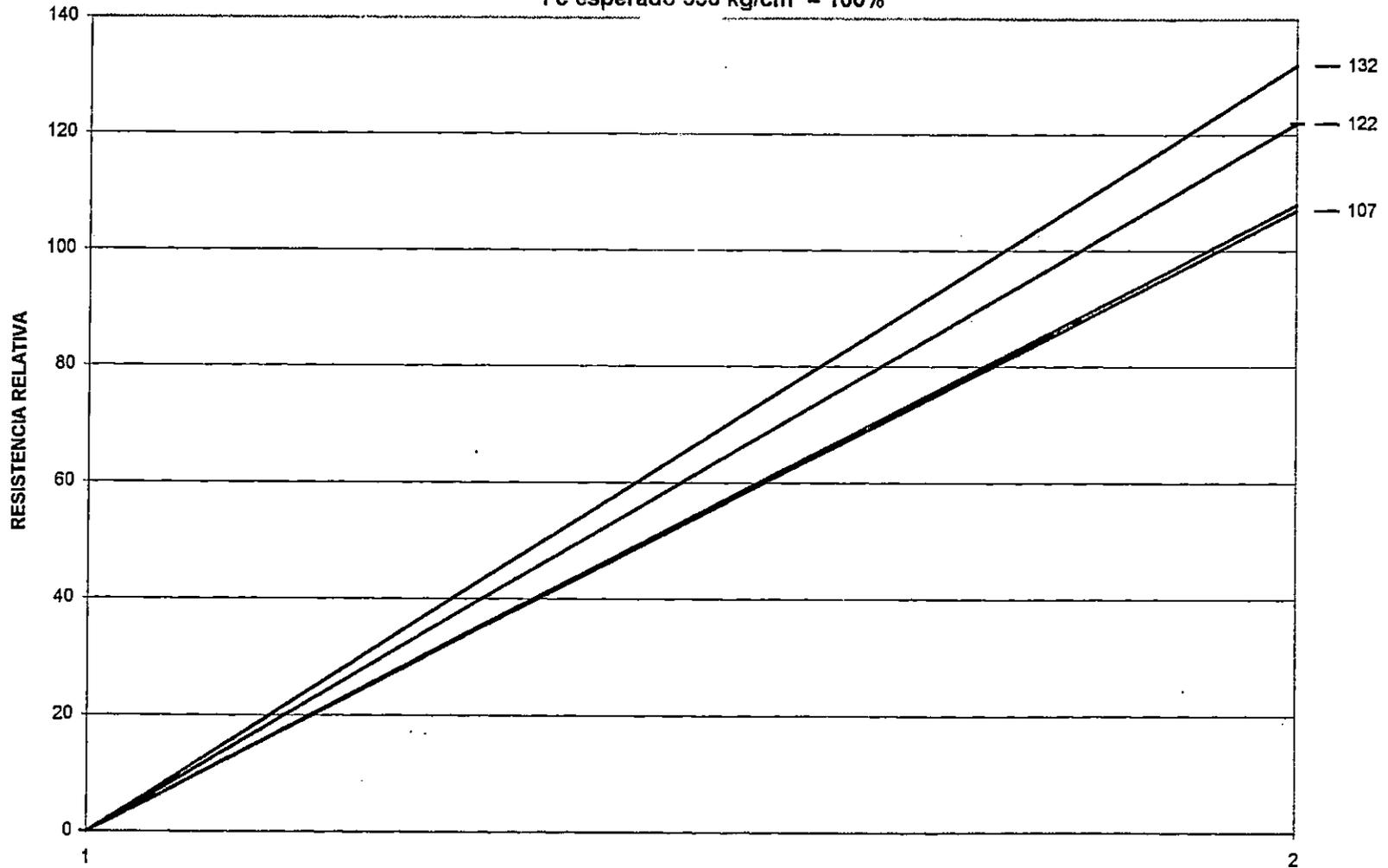
GRAFICA 4.27 a
RESISTENCIA RELATIVA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO A TENSION.
f'c esperado 280 kg/cm² = 100%



EDAD= 28 DIAS
1= 0 DIAS
2= 28 DIAS

En Orden descendente: Mezclas Testigas y entre 25 y 30 °C, entre 30 y 35 °C, al 4% de aire y al 6% de aire

GRAFICA 4.27 b
RESISTENCIA RELATIVA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO A TENSION.
f'c esperado 350 kg/cm² = 100%



EDAD= 28 DIAS
1= 0 DIAS
2= 28 DIAS

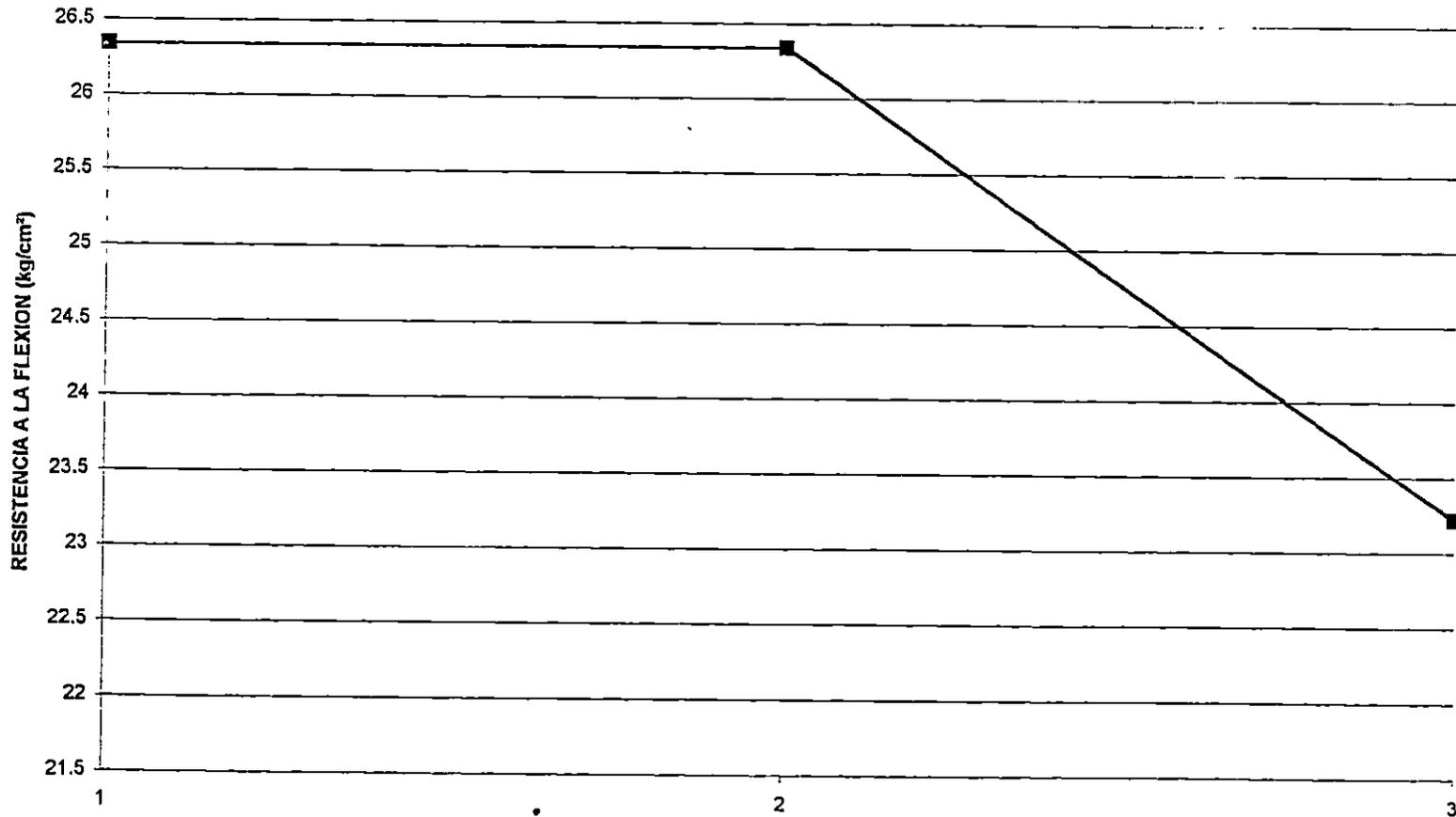
En Orden descendente: Mezclas Testigas y entre 25 y 30 °C, entre 30 y 35 °C, al 4% de aire y al 6% de aire

4.4.3 RESISTENCIA A LA FLEXION

Los resultados obtenidos en la Prueba de Flexión se muestran en las gráficas y en sus resultados Promedios alcanzados por los diferentes tipos de mezclas.

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCREMENTO DE TEMPERATURA.

RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPERADA: 210 kg/cm²



TIPO DE ESPECIMENES:

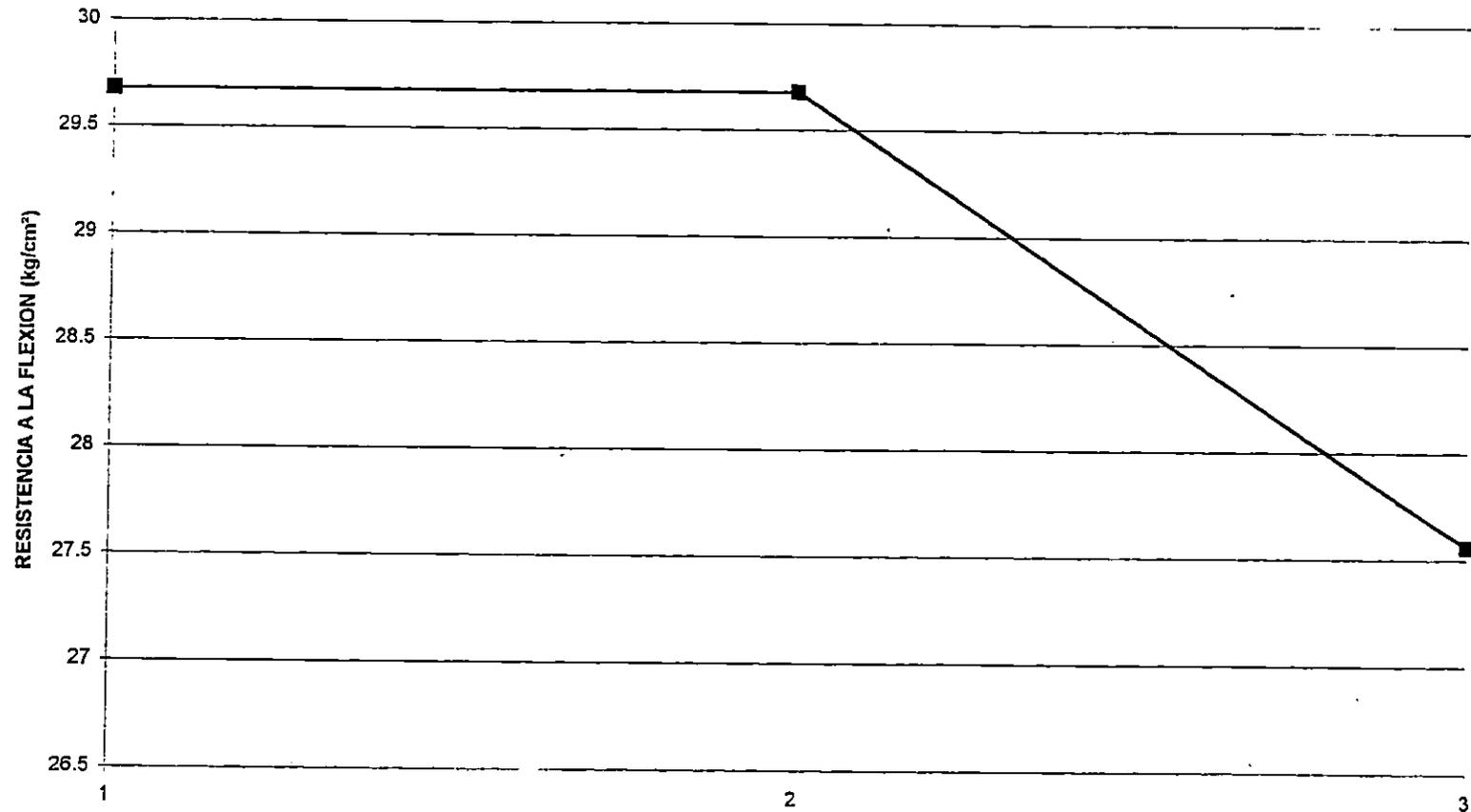
1- VIGAS TESTIGAS

2- VIGAS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA ENTRE 25 A 30

3- VIGAS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA ENTRE 30 A 35 °C

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCREMENTO DE TEMPERATURA.

RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPERADA: 280 kg/cm²



TIPO DE ESPECIMENES:

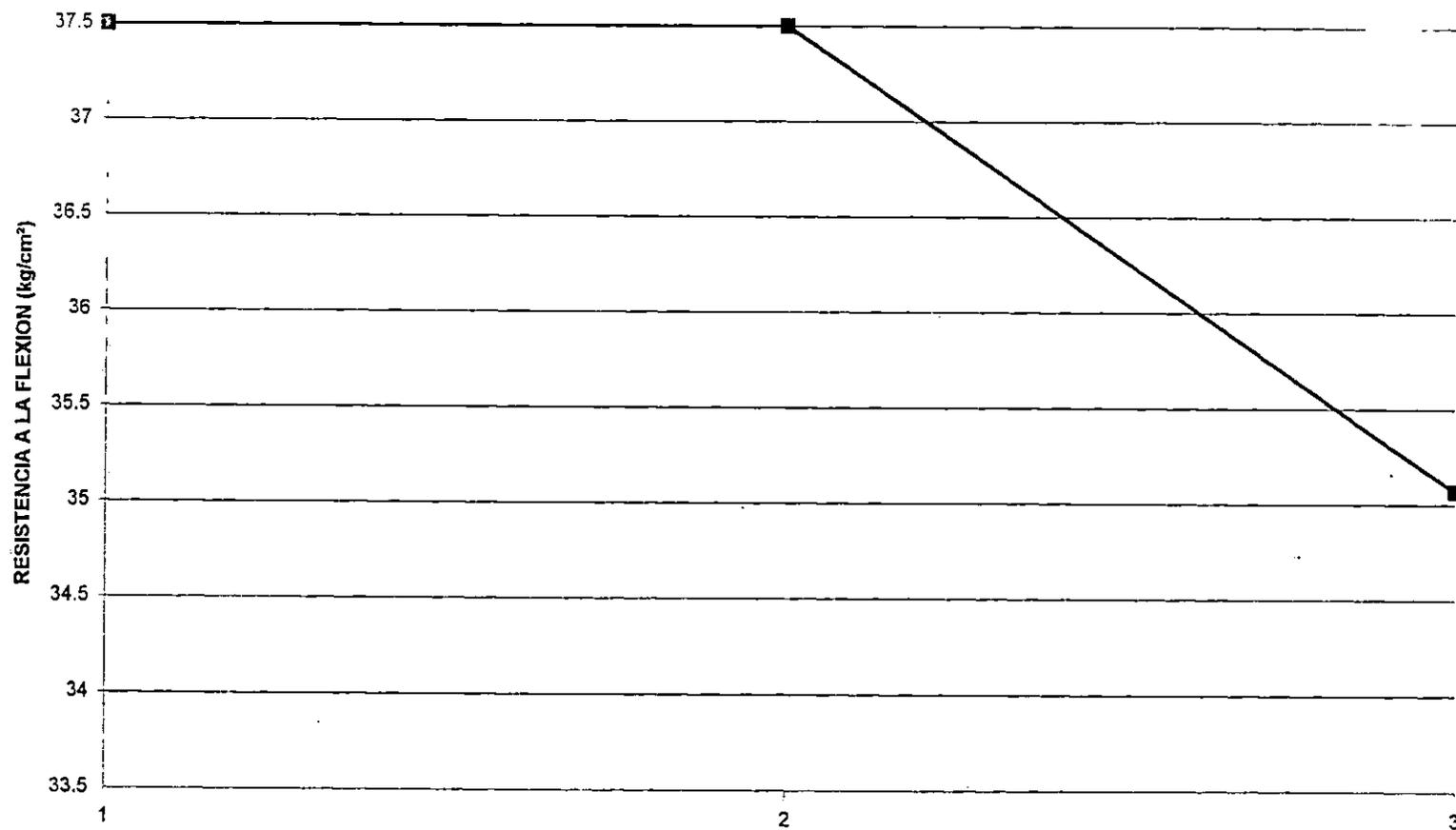
1- VIGAS TESTIGAS

2- VIGAS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA ENTRE 25 A 30

3- VIGAS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA ENTRE 30 A 35 °C

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCREMENTO DE TEMPERATURA.

RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPERADA: 350 kg/cm²



TIPO DE ESPECIMENES:

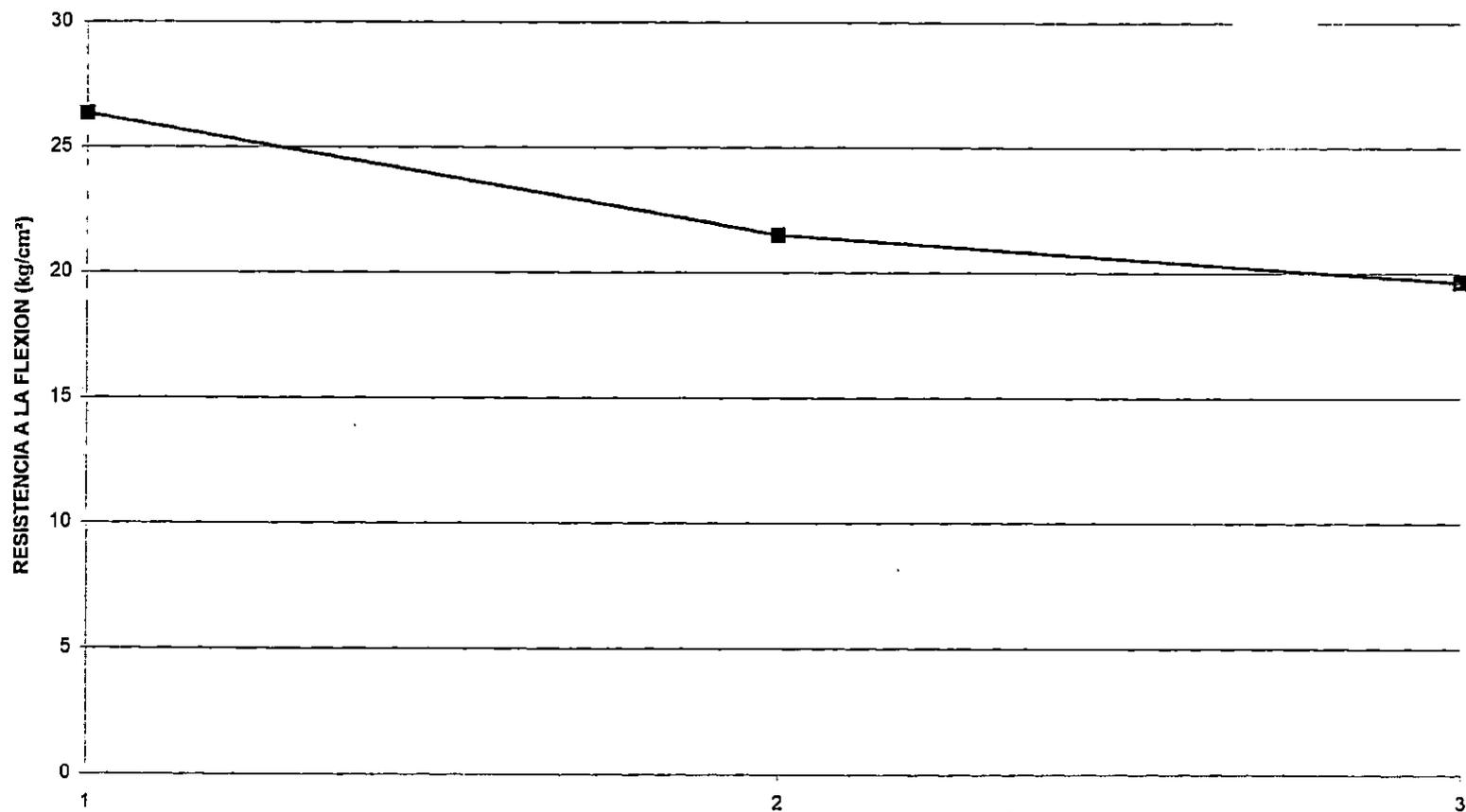
1- VIGAS TESTIGAS

2- VIGAS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA ENTRE 25 A 30

3- VIGAS CON INCREMENTO DE TEMPERATURA ENTRE 30 A 35 °C

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCLUSION DE AIRE.

RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPERADA: 210 kg/cm²



TIPO DE ESPECIMENES:

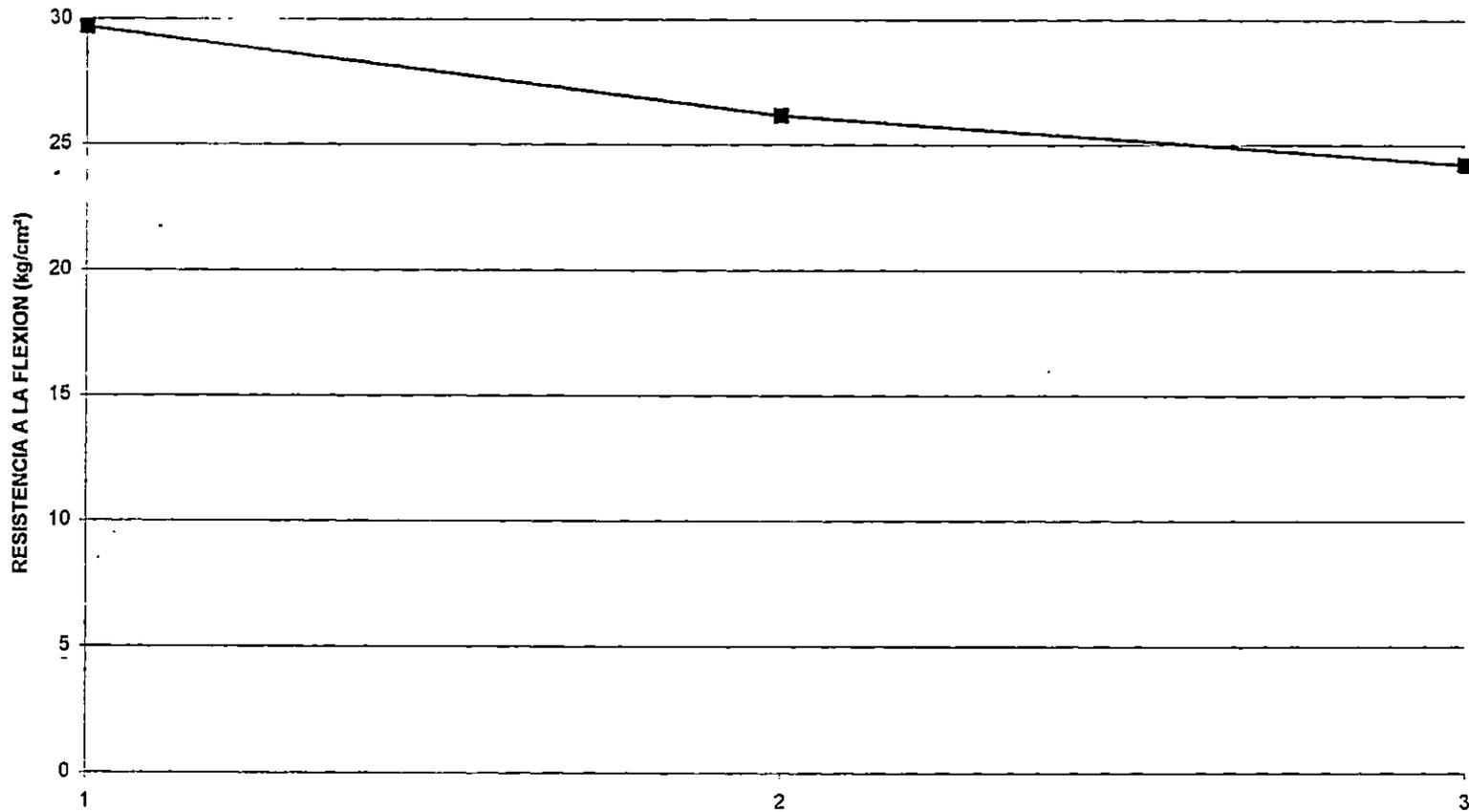
1- VIGAS TESTIGAS CON AIRE ATRAPADO AL 2% APROXIMADAMENTE

2- VIGAS CON INCLUSION DE AIRE AL 4% (AIRE TOTAL APROX. 6%)

3- VIGAS CON INCLUSION DE AIRE AL 6% (AIRE TOTAL APROX. 8%)

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCLUSION DE AIRE.

RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPERADA: 280 kg/cm²



TIPO DE ESPECIMENES:

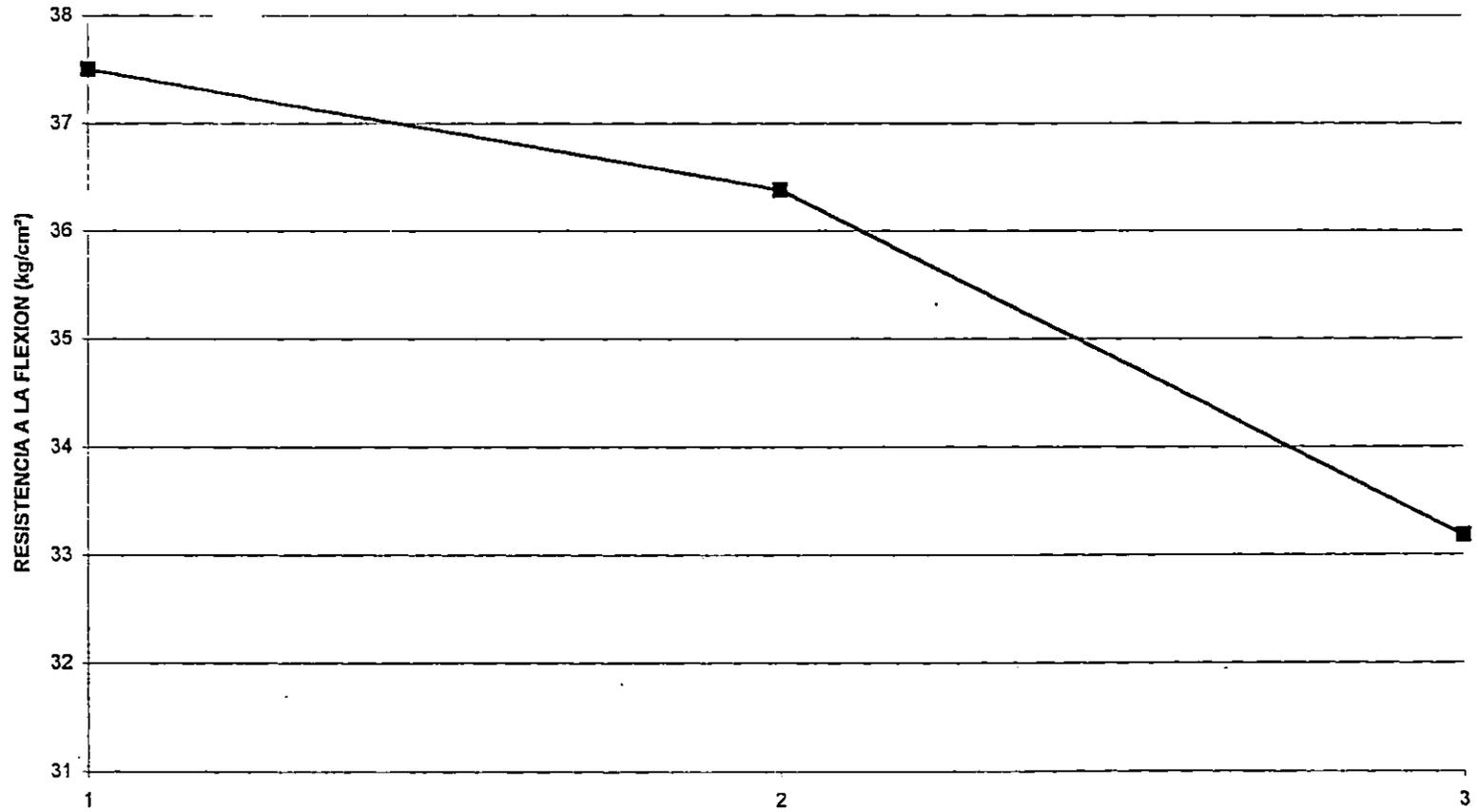
1- VIGAS TESTIGAS CON AIRE ATRAPADO AL 2% APROXIMADAMENTE

2- VIGAS CON INCLUSION DE AIRE AL 4% (AIRE TOTAL APROX. 6%)

3- VIGAS CON INCLUSION DE AIRE AL 6% (AIRE TOTAL APROX. 8%)

GRAFICA DE ESFUERZOS A LOS 28 DIAS DE PRUEBAS DE CILINDROS TESTIGOS - INCLUSION DE AIRE.

RESISTENCIA A LA COMPRESION ESPERADA: 350 kg/cm²



TIPO DE ESPECIMENES:

- 1- VIGAS TESTIGAS CON AIRE ATRAPADO AL 2% APROXIMADAMENTE
- 2- VIGAS CON INCLUSION DE AIRE AL 4% (AIRE TOTAL APROX. 6%)
- 3- VIGAS CON INCLUSION DE AIRE AL 6% (AIRE TOTAL APROX. 8%)

- Esfuerzo a Flexión:

$$M_R = P_x L / (b_x d^2) \quad (\text{ASTM C-78})$$

Donde: M_R = Módulo de Ruptura (kg/cm²)

P = Carga Máxima aplicada (kg)

L = Longitud de la viga (cm)

b y d = Secciones Transversales (cm)

4.4.3.1 CALCULOS DE LA RELACION QUE EXISTE ENTRE LA FLEXION Y LA COMPRESION.

La resistencia característica a flexión del concreto tiene un valor que oscila entre: $M_R = 0.75 \times \sqrt[3]{f_c^2}$ a $M_R = 1.00 \times \sqrt[3]{f_c^2}$; pero en nuestro caso las probetas prismáticas son de sección 15 x 15 cm, por lo que parece oportuno adoptar como valor aproximado de resistencia característica a flexión el mayor de ambos valores dados,

es decir: $M_R = 1.00 \times \sqrt[3]{f_c^2}$

4.4.3.2 ANALISIS DE RESULTADOS EN PRUEBAS A FLEXION

En éstos gráficos (4.28, 4.28a y 4.28b), tanto como en la Tabla 4.7 es fácil notar la disminución en las resistencias a medida se incrementan las temperaturas del concreto y se le incluya aire extra al que se encuentra atrapado originalmente en la mezcla de concreto fresco.

En esta prueba ocurre una notable variante, y es que las resistencias obtenidas se encuentran por abajo de los resultados esperados, y la respuesta puede encontrarse en que generalmente suele ocuparse para el cálculo una resistencia a la flexión de 90 días de edad. Debe suponerse con seguridad que una resistencia a la flexión del concreto a los 90 días será mayor que la resistencia a los 28 días.

La falta de ganancia en la resistencia de los concretos a compresión de mezclas testigas y de temperatura entre los 25 y 30°C, son del orden del -25% aproximadamente.

En concretos con incremento de temperatura, se observa aún más la pérdida de resistencia en un -32%, esto debido a la acelerada velocidad de evaporación que provoca pérdidas en la resistencia. Esto se observaría con mayor facilidad si se hicieran incrementos de temperatura mayores (leer recomendaciones).

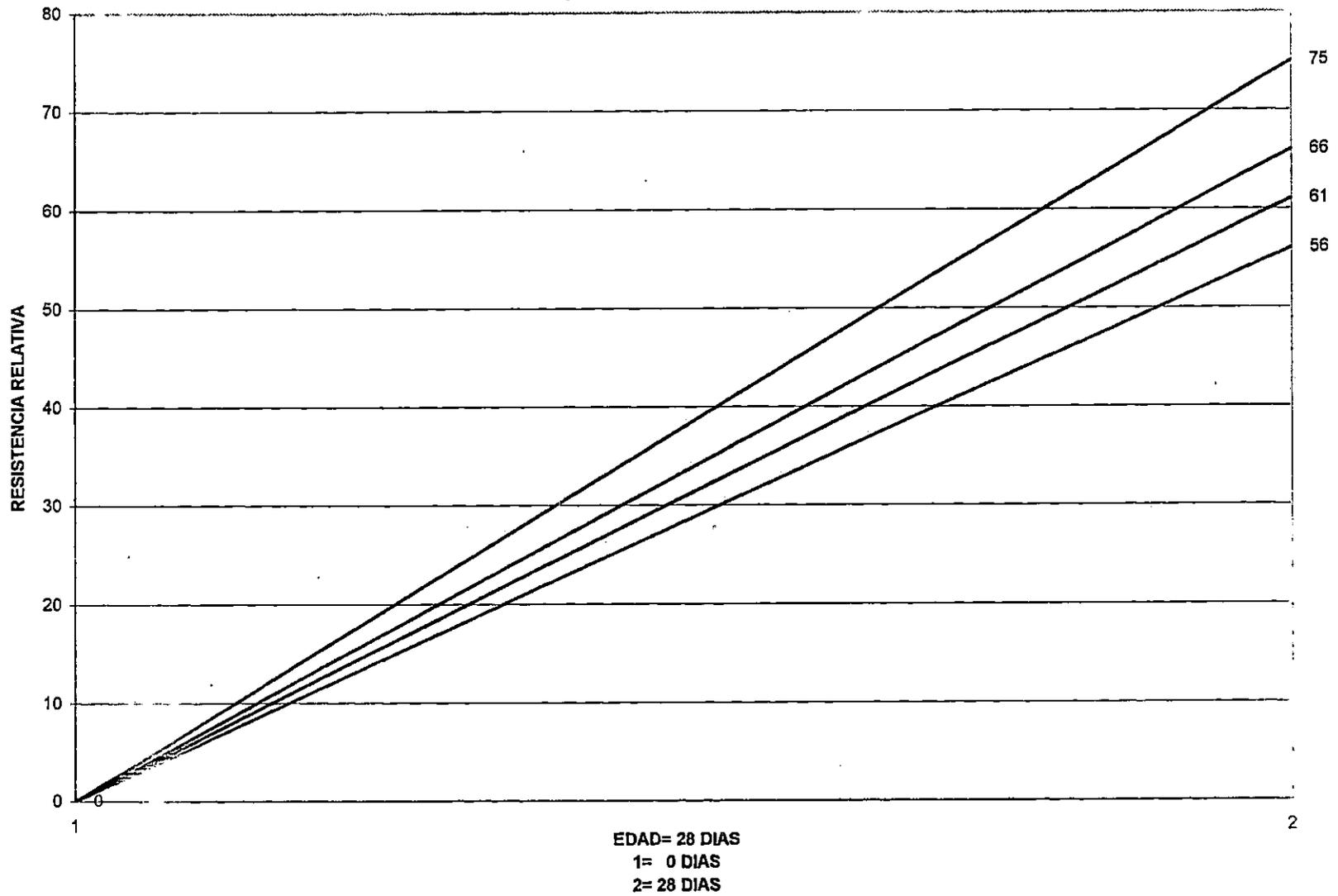
Los concretos con aire incluido, reflejan de manera más sobresaliente la disminución de la resistencia puesto que se observan pérdidas bien marcadas en la resistencia obtenida, tomando como el 100% la resistencia esperada. La resistencia se redujo en un -38% como promedio, siendo de -34% aproximadamente para concretos con 4% de aire incluido y de -40% para concretos con 6% de aire incluido.

TABLA 4.7
COMPARACION DE RESISTENCIA A LA FLEXION ESPERADA Y RESISTENCIA A LA FLEXION OBTENIDA

TIPO DE VIGAS	RESISTENCIA ESPERADA A COMPRESION (kg/cm ²)	RESISTENCIA ESPERADA A FLEXION (kg/cm ²)	RESISTENCIA OBTENIDA (kg/cm ²)	RESISTENCIA MAXIMA (kg/cm ²)	RESISTENCIA OBTENIDA (%)
1- Testigas	210	35.33	26.34	26.87	75
2-Temperatura 25-30 °C	"	"	26.34	26.87	75
3-Temperatura 30-35 °C	"	"	23.22	23.56	66
4-Aire al 4%	"	"	21.51	21.87	61
5-Aire al 6%	"	"	19.64	20.58	56
1- Testigas	280	42.80	29.68	30.46	69
2-Temperatura 25-30 °C	"	"	29.68	30.46	69
3-Temperatura 30-35 °C	"	"	27.56	28.10	64
4-Aire al 4%	"	"	26.17	26.39	61
5-Aire al 6%	"	"	24.23	24.50	57
1- Testigas	350	49.66	37.50	38.69	78
2-Temperatura 25-30 °C	"	"	37.50	38.64	78
3-Temperatura 30-35 °C	"	"	35.07	36.84	74
4-Aire al 4%	"	"	36.38	38.12	77
5-Aire al 6%	"	"	34.60	33.12	67

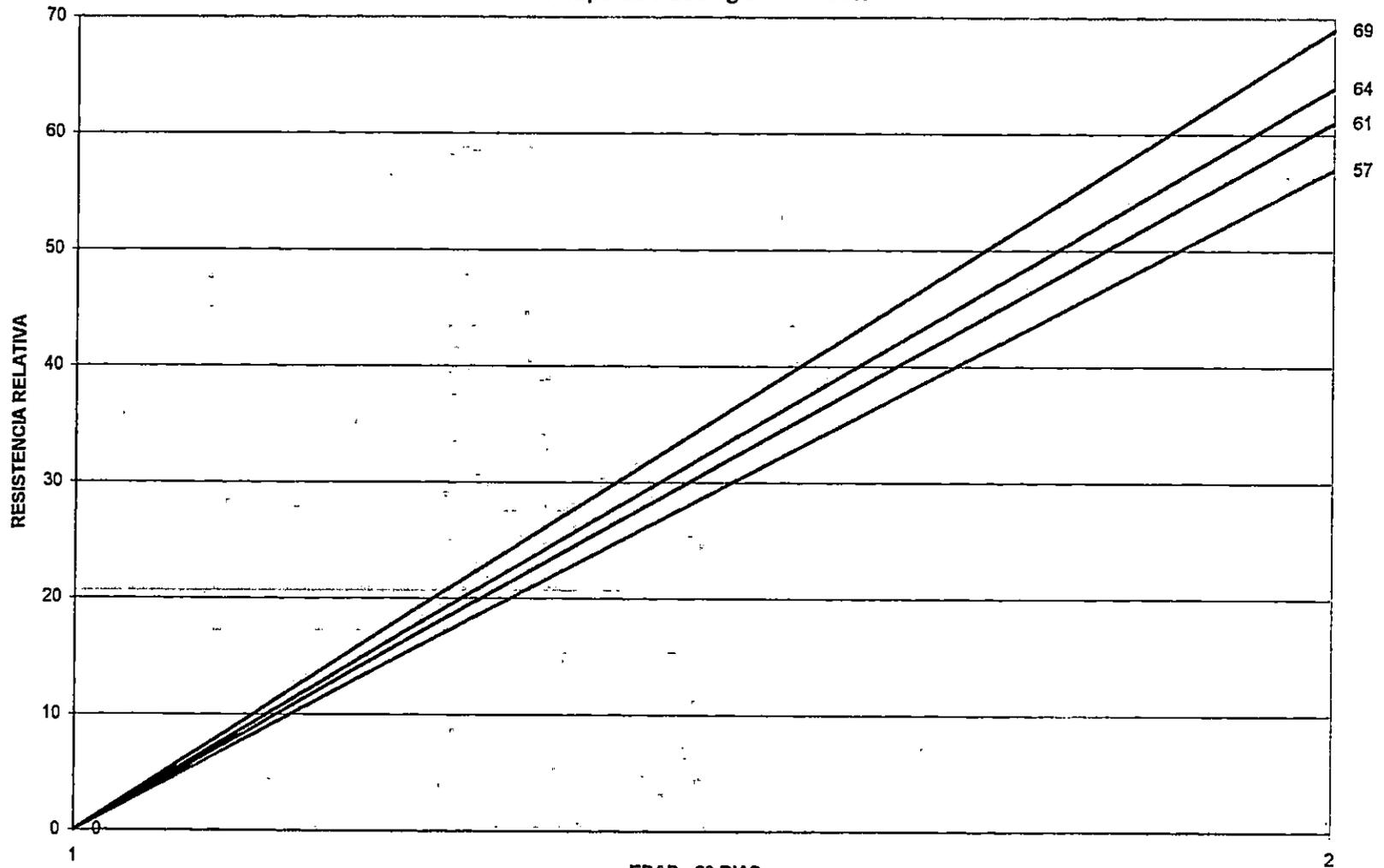
***Todos estos especímenes se probaron a Flexión

GRAFICA 4.28
RESISTENCIA RELATIVA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO A FLEXION.
f_c esperado 210 kg/cm² = 100%



En orden descendente: Mezclas Testigas y entre 25 y 30 °C, entre 30 y 35 °C, al 4% de aire y al 6% de aire

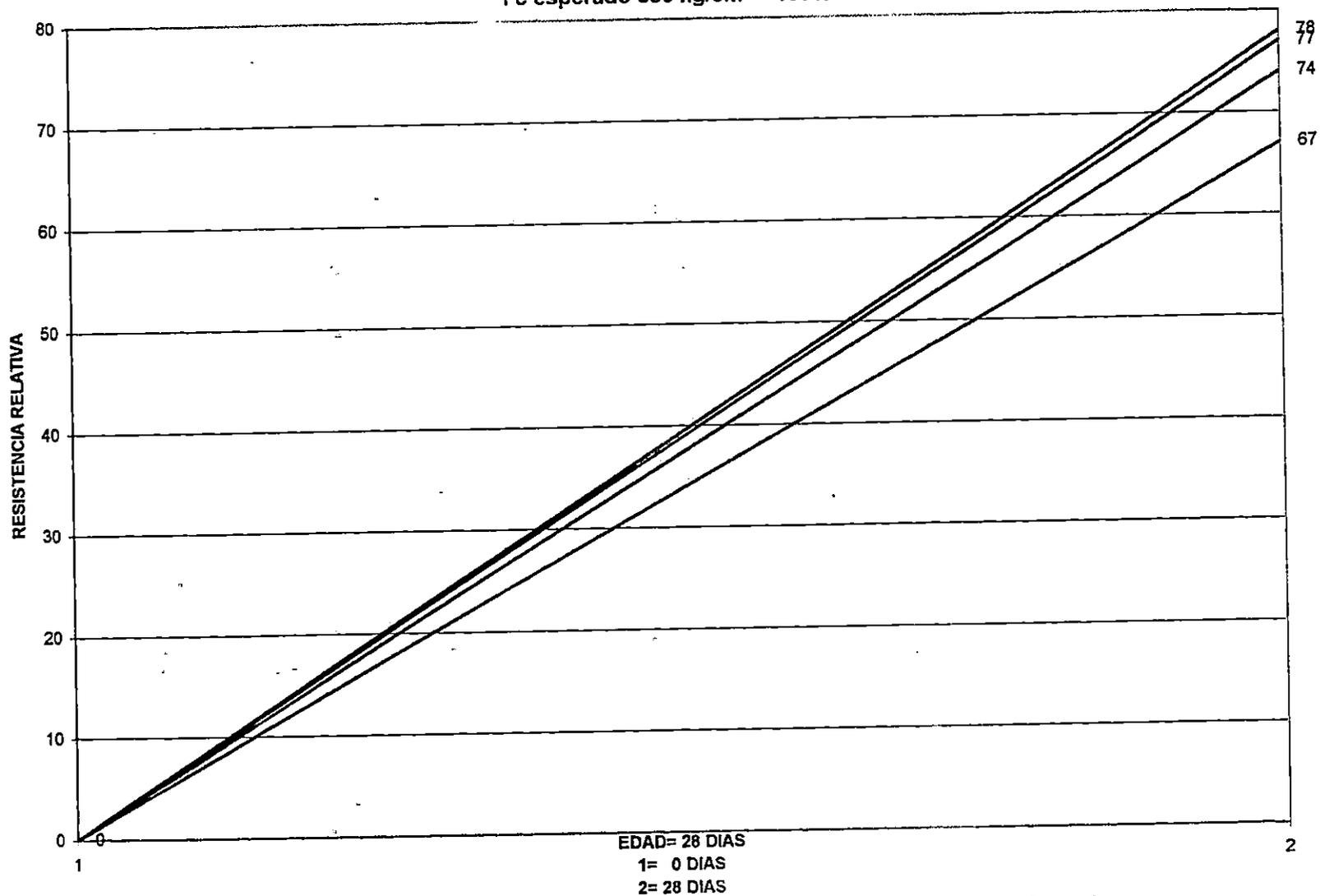
GRAFICA 4.28 a
RESISTENCIA RELATIVA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO A FLEXION.
 f_c esperado $280 \text{ kg/cm}^2 = 100\%$



EDAD= 28 DIAS
1= 0 DIAS
2= 28 DIAS

En orden descendente: Mezclas Testigas y entre 25 y 30 °C, entre 30 y 35 °C, al 4% de aire y al 10% de aire

GRAFICA 4.28 b
RESISTENCIA RELATIVA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO A FLEXION.
f'c esperado 350 kg/cm² = 100%



En orden descendente: Mezclas Testigas y entre 25 y 30 °C, entre 30 y 35 °C, al 4% de aire y al 6% de aire

CONCLUSIONES

1. La utilización del cemento Tipo I (PM), resultó ser la ideal como se tiene claro en la práctica en todo tipo de construcciones de concreto, pues su alto contenido de puzolana hacen que el concreto adquiera características especiales como la generación de menores cantidades de calor de hidratación y ser además de uso general.
2. El análisis granulométrico realizado a las arenas mostró una curva granulométrica que se ajusta a los límites establecidos por la ASTM C-33, además de que ésta es indicada para la utilización en la fabricación de concretos de comportamiento normal (CCN), ya que el MF obtenido de 2.55 es recomendable por encontrarse dentro del límite recomendado por la ASTM C-33 que recomienda lo siguiente: $2.3 < MF < 3.1$ (Ver pág. 162) . El resto de pruebas realizadas al agregado fino dieron como resultado una agregado de condiciones óptimas para su utilización.
3. El agregado grueso después de haber sido sometido a sus respectivas pruebas mostró los siguientes resultados: la granulometría no se apejó a lo indicado por la ASTM C-33, sin embargo esto no se alteró manteniendo las condiciones iniciales del agregado. El resto de pruebas mostraron un agregado de buenas condiciones para ser utilizado en CCN.
4. Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión y de tensión para mezclas de concretos testigos y con incremento de temperatura utilizando

agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4", en el cual se incrementó el porcentaje de diseño con relación al sugerido por el ACI 211, fueron satisfactorios. Así fué de 70 kg/cm² para 210, y de 85 kg/cm² para 280 y 350 kg/cm², según tabla.

5. La fabricación de concreto con incremento de temperatura requirió de calentar el agua con el objetivo de elevar las temperaturas hasta los límites establecidos, el clima de los días de prueba registró temperaturas ambientales no mayores a los 30 °C, así para la temperatura del agua de mezclado se estableció una relación empírica de $T^o = T^o_{\text{ambiente}} + 20 \pm 5$ °C, ésto según el valor de temperatura que se requiera y en las condiciones del ambiente de los días de Octubre - Noviembre.
6. Los revenimientos obtenidos en las diferentes pruebas fueron similares en las mezclas testigas y con incremento de temperatura, cuyos valores promedios fueron de 4.5" para mezclas testigas y de 4" para mezclas con incremento de temperatura, sin embargo y como era de esperar las mezclas con aire incorporado dieron como resultado mezclas mucho más fluidas, con revenimientos de 7.5" como promedio, ésto debido a la aplicación de aditivo inclusor de aire, sin hacer las reducciones de agua recomendadas por el fabricante con el fin de mantener las resistencias (esto indica que al no hacer las reducciones de agua las resistencias se redujeron hasta en un 30% aproximadamente).

7. Para el cabeceo de los especímenes a compresión se utilizó el método de reciente uso en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil de la UES, como es la colocación de almohadillas de Neopreno, que además de proporcionar buenos resultados, ofrecen mucho más seguridad tanto para el operario como para las instalaciones.
8. Las fallas de los cilindros con aire incluido se dieron por concentración de esfuerzos, debido a la reducción del área sólida del concreto.
9. La relación del esfuerzo a compresión y el esfuerzo a tensión esperado cumple con valores sobre lo indicado por la ecuación $T = 0.45 \times \sqrt[3]{(f_c)^2}$, con ganancias de resistencia del orden del 42% para concretos testigos y pérdidas del 15% para concretos con aire incluido.
10. La relación del esfuerzo a compresión y el Módulo de Ruptura de la prueba a flexión que debería cumplir con lo indicado por la ecuación es $MR = \sqrt[3]{(f_c)^2}$, sin embargo por no tener los especímenes una edad de 90 días, el resultado dió abajo de lo esperado, casi en un 25% para pruebas a flexión de vigas testigas y con incremento de temperatura.
11. Debido a que colar concretos en climas cálidos produce pérdidas aceleradas de revenimiento y alta velocidad de evaporación, no es una buena alternativa usar aditivos inclusores de aire para hacer más trabajable la mezcla, ya que de no controlarse de manera correcta el agua a utilizar se corre el riesgo de reducir la resistencia en alguna escala.

12. Las resistencias de los especímenes testigos diseñados para una resistencia esperada, resultaron ser mayores debido al f_{cr} que se agrega según el Comité ACI 211, lo mismo sucedió con los especímenes con incremento de temperatura, que aunque no igual tuvieron un comportamiento similar al de los testigos, esto debido a que los ciclos de temperatura se limitaron a temperaturas esperadas en el ambiente Salvadoreño.
13. En los concretos a compresión las resistencias para mezclas testigos y con incrementos de temperatura entre 25 y 30 °C se superaron en un 22% (+), en concretos con incrementos de temperatura entre los 30 y 35 °C se superó sólo en un 11%, para los concretos con aire incluido las pérdidas de resistencia fueron del 15% para concretos con 4% de aire incluido y de 35% para concretos con 6% de aire incluido.
14. Se comprobó con éste trabajo, la reducción de la resistencia del concreto con la incorporación del Aditivo Reductor de Agua, debido a que éste aumenta la porosidad.
15. La temperatura del concreto se redujo considerablemente con el incremento del Aditivo.

RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones establecidas se dan las siguientes recomendaciones:

1. Se recomienda para la fabricación de mezclas de concreto de prueba a temperaturas elevadas variables, calentar el agua para obtener el concreto con la temperatura deseada y no así los agregados, ya que es suficiente tratar sólo con el 20% del volumen del concreto, que es aproximadamente el volumen que el agua ocupa.
2. Las muestras cilíndricas de concreto, una vez estén consolidadas y enrasadas, es conveniente cubrirlas con placas metálicas previamente aceitadas, para evitar de ésta manera las pérdidas de humedad y además dejar una superficie plana y lisa en la parte superior de la muestra que facilita además el cabeceo de los especímenes, cuando éste se hiciera por los métodos convencionales utilizados en el laboratorio, así las muestras no cilíndricas es conveniente cubrirlas con bolsas de papel húmedas o cubiertas plásticas herméticas con el mismo objetivo.
3. El concreto colado en sitios calientes como en la costa, zona oriental, carreteras de larga extensión, etc., se recomienda después de colado cubrirlo con sacos de yute, bolsas de cemento húmedas o rociándolo constantemente con bastante agua, evitando así la pérdida de humedad

del concreto que provoca la creación de microfisuras en el concreto en tiempos relativamente cortos.

4. También es conveniente curar el concreto con compuestos químicos como Antisoles, los cuales rociados sobre el concreto forman una película plástica impermeable que evita las pérdidas aceleradas de humedad, protegiendo de ésta manera las mezclas de concreto de los intensos rayos de sol, en un país tan cálido como lo es El Salvador.
5. En futuros estudios se recomienda hacer pruebas de dosificación con otros tipos de aditivos inclusores de aire, para verificar y comparar en cuanto disminuye la resistencia del concreto y si es conveniente su uso en climas cálidos y que tipo de precauciones se deben tomar.
6. Usar aditivo incorporador de aire, sólo cuando éste sea realmente necesario y bajo la dirección de un personal técnico calificado, ya que éste dará la recomendación sobre el tipo de aditivo a usar.
7. Cuando se hacen mezclas de prueba es muy importante y necesario tomar los datos de temperatura, porcentaje de aire, hora fecha y temperatura del ambiente del día en que se están elaborando.
8. Cuando el concreto sufra de algún tipo de fisuración, debido al calor, viento y pérdida acelerada de humedad, es recomendable sanar dichas fisuras con algún epóxico disponible en el mercado y que pueda ser utilizado en

ese tipo de concreto, y si no se puede disponer de éste, utilizar una lechada de cemento y agua rociándola sobre ellas.

9. Continuar utilizando las Almohadillas de Neopreno como una alternativa más confiable de cabeceo de especímenes, debido a las altas medidas de seguridad que éstas ofrecen al personal de laboratorio, a las instalaciones del laboratorio, además de su economía, pues su uso está limitado a 100 veces, sin embargo en almohadillas de alta calidad se han llegado a utilizar hasta 400 veces cuando se reduce su dureza, además de la confiabilidad de sus resultados.
10. Continuar ésta investigación trabajando con más especímenes, con el fin de poder realizar un análisis estadístico, haciendo el número de muestras necesarias que conlleve a obtener resultados más precisos.
11. Trabajar con mezclas de prueba a temperaturas mucho más elevadas a las de éste estudio, con el fin de observar el comportamiento del concreto en climas extremadamente cálidos y que tanto varían respecto a nuestro clima promedio, ésto con el objeto de tener datos a la mano que puedan ser de utilidad en nuestro medio.
12. Para hacer un concreto en clima cálido se recomienda enfriar los componentes del concreto antes de mezclarlos, utilizando hielo finamente picado en el agua, utilizando agregados que se encuentren en zonas

protegidas de los rayos del sol, o cualquier otro factor alterante del clima y utilizando además cemento frío y no caliente o de reciente almacenaje.

13. Hacer un estudio de concretos con aire incluido colados en zonas de climas cálidos de las diferentes concreteiras salvadoreñas con el objetivo de analizar el comportamiento del concreto fabricado en El Salvador con el fin de contar con datos de interés para muchas instituciones.
14. Cuando se obtengan resultados de revenimientos arriba de los 7.5 pulg. se recomienda compactarlos con varilla debido a que el vibrador produce que los agregados gruesos se vayan al fondo (se segregan).

BIBLIOGRAFIA

- 1- Curso Teórico Práctico "Tecnología del Concreto", ASIA-FEPADE, Marzo, 1992, "Fabricación del Cemento en El Salvador".

- 1- "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Instituto Mexicano del cemento y del Concreto, 1992, 1ª edición, IMCYC.

- 1- Curso Teórico-Práctico "Tecnología y Aplicaciones del Concreto" , ASIA-FEPADE-CESSIC, Abril-Mayo 1994.

- 1- "Cartilla del Concreto", F. R. McMillan y Lewis h Tuthill, IMCYC, México D.F., 1989.

- 1- "Investigaciones y Tesis de Grado: Refrentado (cabeceado) con Neopreno", Hernán D. Pérez J., Revista Noticreto N° 1.

- 1- "Estudio de Concreto de Alta Resistencia a la agresión provocada por la contaminación del Medio Ambiente", Santos Fernando Alberto Santos (Trabajo de Graduación UES), Agosto de 1995, El Salvador.

- 1- "Standard Specifications for concrete aggregates". ASTM Designation C-33. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pa. (1986).
- 1- "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, AC. Steven H. Kosmatka y William C. Panarese, (traducción directa del libro "Design and Control of Concrete Mixtures", Portland Cement Association, PCA), 1992.
- 1- "Manual de Tecnología del Concreto", Comisión federal de Electricidad, , Sección 1, Ed. Limusa, Preedición 1994, México.
- 1- "Drying Shrinkage of Concrete as Affected by Many Factors". Carlson, R. W., Proceedings, ASTM, V 38, Part II (1938).
- 1- "Práctica para Dosificar Concreto normal, Concreto Pesado y Concreto Masivo", Comité ACI-211-1-87 , IMCYC.
- 1- "Guía para los constructores sobre incorporadores de aire y aditivos químicos", W. R. Malish, Revista ICPC enero-marzo, 1993
- 1- "El concreto en la Historia", Arq. Heraclio Esqueda Huidobro, Revista "Construcción y Tecnología" N° 16, sept. 1989

- 1- "Concreto Reforzado", Edward G. Nawy, 1ª ed. español. Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., México 1988.
- 1- "Aditivos Superfluidificantes para Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), Ed. Limusa.
- 1- "El Hormigón y sus Aditivos", Revista Sika-Technique, Ed. Sika-Andina S.A., 1968.
- 1- "Los Aditivos para el Concreto", Traducción del título original "Admixtures for Concrete" por Prof. José Enrique Brenes M, Revista A.C.C.
- 1- "Manual Técnico", Sika Aditivos, Sika Andina (Publicaciones Cultural, Bogotá - Colombia), abril de 1989.
- 1- "Resistencia y Calidad del Concreto", Héctor Gallegos, Revista "Construcción y Tecnología" Nº 42, nov. 1991.
- 1- "Concreto material de Leyenda", Ing. Celso A. Carbonell, Revista A.C.C., oct. 1973.
- 1- "Control del Agrietamiento del Concreto en Obras", Walter H. Price, Revista IMCYC Nº 134, junio 1982.

- 1- "Selección y uso de Agregados para Concreto", Informe del Comité ACI-621, Notas Técnicas ICPC N°7.

- 1- "Construcción de Losas y Pisos de Concreto", Comité ACI 302 IR-80, IMCYC, ED. Limusa.

ANEXOS



SIKA AER

ADITIVO INCLUSOR DE AIRE

DESCRIPCION

EL SIKA AER es un líquido café oscuro que se utiliza como agente atrapador de aire. No es tóxico, es una solución concentrada de resina Vinisol neutralizada. Es usado como un aditivo para incrementar la resistencia del hormigón al agua. De uso general en pavimentos, placas, hormigón arquitectónico, cubiertas. También incrementa la trabajabilidad de mezclas pobres y livianas.

Cumple con las siguientes especificaciones:

ASTM - C - 260-65 T

Corps of Engineers CRD - C - 13

Bureau of Public Roads (Feb. 1954)

Bureau of Reclamation (May 15, 1962)

VENTAJAS

- EL SIKA AER incrementa la resistencia del hormigón al deterioro por acción del agua.
 - Incrementa la trabajabilidad de mezclas con agregados ásperos.
 - Desarrolla superficies de hormigón con apariencia arquitectónica.
 - Aumenta la impermeabilidad del hormigón.
- Quando desee obtener mejores cualidades del hormigón estructural, use PLASTIMENT con SIKA AER.

MODO DE EMPLEO

Medir la cantidad requerida por mezclada. Agregar el SIKA AER al agua de la mezcla o a la arena, no al cemento. Puede agregarse manualmente o con equipo automático.

Reducir el contenido de agua y arenas, proporcional al volumen de aire introducido para aprovechar en su totalidad las ventajas del SIKA AER.

Minimizar la pérdida de resistencia en mezclas ricas.

Factores que afectan el contenido de aire incluido:

Tipo y marca de cemento, tipo, gradación y proporción de arena y agregados, tiempo y manera de mezcla, consistencia y temperatura del hormigón.

DOSIFICACION

Use 1/2 a 1 1/2 onzas fluidas por saco de cemento para incorporar entre un 40% y un 60% de aire. Mayores contenidos de aire pueden obtenerse incrementando las proporciones del SIKA AER. El contenido de aire de la mezcla debe ser chequeado con medidores de aire y la proporción de SIKA AER debe ser ajustada a las necesidades.

Proporciones de SIKA AER:

- Mezclas con PLASTIMENT o PLASTOCRETE 161 R: 1/2 oz. fl./saco
- Mezcla sin aditivo: 3/4 oz. fl./saco
- Mezcla liviana: 1 1/2 oz. fl./saco

RECOMENDACIONES

No premezclar SIKA AER con otros aditivos tales como PLASTIMENT o SIKACRETE. Agregar el SIKA AER al agua de mezclado y los otros a la arena. Asegúrese que cada aditivo es agregado separadamente y de diferentes dosificadores.

PRESENTACION

Tambores de 55 galones

CONSERVACION

Tiempo de almacenamiento ilimitado.

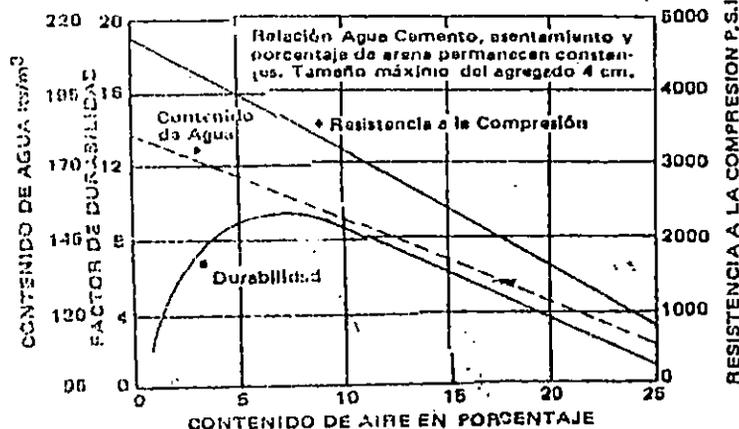
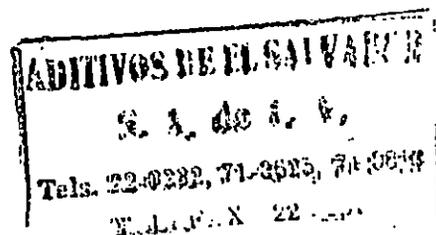


Figura 1 Efectos del contenido de aire sobre la durabilidad, resistencia a la compresión y cantidad de agua requerida para elaboración del hormigón. La durabilidad se incrementa rápidamente a un máximo y luego decrece a medida que el contenido de aire es incrementado, 288 - D - 1520.



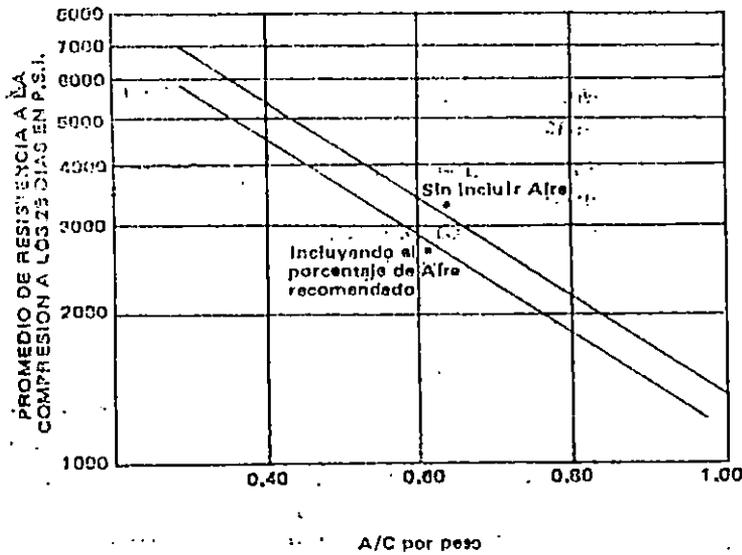


Figura 2 Resistencia según la relación A/C para un hormigón con aire incluido y un hormigón sin incluir de aire. La resistencia decrece cuando se incrementa la relación Agua - Cemento, o cuando la relación A/C se mantiene constante al usar incluser de aire, disminuye la resistencia aproximadamente un 20%.

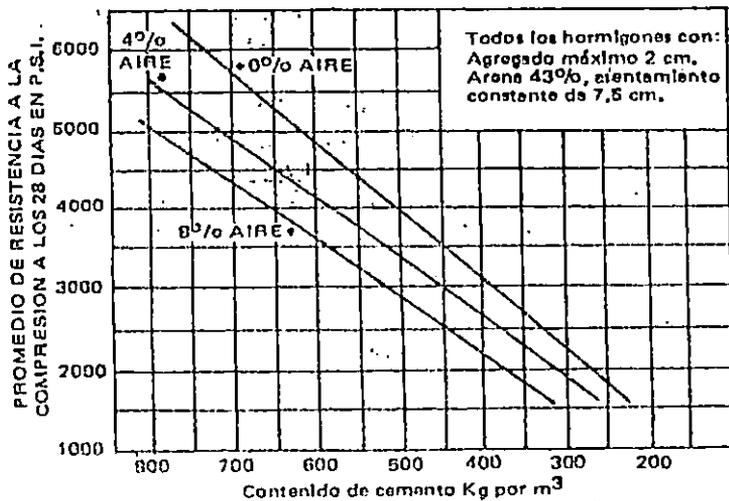


Figura 3 Resistencia en relación al contenido de cemento para hormigón con incluser de aire y sin incluser de aire, 288 - D - 2654.

Las gráficas son reproducidas de "Concrete Manual", séptima edición. Impreso por el Dpto. Americano del Interior, Bureau of Reclamation, 1963.

ADVERTENCIA:

Todos nuestros productos han sido fabricados de acuerdo a las normas de exactitud SIKKA y ejerciendo toda precaución razonable. La información que suministramos es correcta de acuerdo con nuestra experiencia; los productos, tal como se venden, cumplen los fines para los cuales han sido fabricados. No obstante, no se responde por variaciones en el método de empleo, condiciones en que se aplican o por utilizaciones en forma que afecten cualquier patente propiedad de otros.



LA QUIMICA AL SERVICIO
DE LA CONSTRUCCION



Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)¹

This standard is issued under the fixed designation C 78; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This test method has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the flexural strength of concrete by the use of a simple beam with third-point loading.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The SI equivalent of inch-pound units has been rounded where necessary for practical application.

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*:
 - C 31 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field²
 - C 42 Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete²
 - C 192 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²
 - C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens²
 - C 1077 Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation²
 - E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

3. Significance and Use

3.1 This test method is used to determine the flexural strength of specimens prepared and cured in accordance with Test Methods C 42 or Practices C 31 or C 192. Results are calculated and reported as the modulus of rupture. The strength determined will vary where there are differences in specimen size, preparation, moisture condition, curing, or where the beam has been molded or sawed to size.

3.2 The results of this test method may be used to determine compliance with specifications or as a basis for

proportioning, mixing and placement operations. It is used in testing concrete for the construction of slabs and pavements (Note 1).

4. Apparatus

4.1 The testing machine shall conform to the requirements of the sections on Basis of Verification, Corrections, and Time Interval Between Verifications of Practices E 4. Hand operated testing machines having pumps that do not provide a continuous loading in one stroke are not permitted. Motorized pumps or hand operated positive displacement pumps having sufficient volume in one continuous stroke to complete a test without requiring replenishment are permitted and shall be capable of applying loads at a uniform rate without shock or interruption.

4.2 *Loading Apparatus*—The third point loading method shall be used in making flexure tests of concrete employing bearing blocks which will ensure that forces applied to the beam will be perpendicular to the face of the specimen and applied without eccentricity. A diagram of an apparatus that accomplishes this purpose is shown in Fig. 1.

4.2.1 All apparatus for making flexure tests of concrete shall be capable of maintaining the specified span length and distances between load-applying blocks and support blocks constant within ± 0.05 in. (± 1.3 mm).

4.2.2 Reactions shall be parallel to the direction of the applied forces at all times during the test and the ratio of distance between the point of load application and nearest reaction to the depth of the beam shall not be less than one.

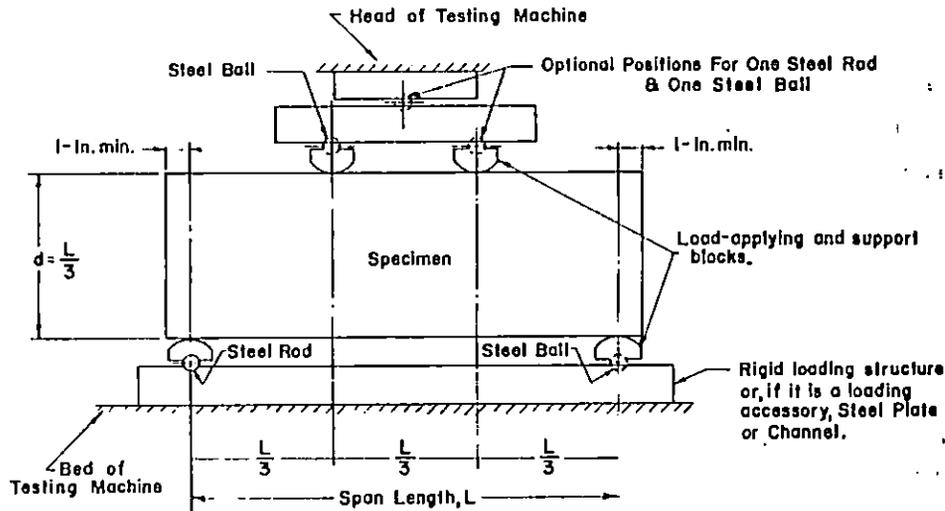
4.2.3 If an apparatus similar to that illustrated in Fig. 1 is used: the load-applying and support blocks should not be more than 2½ in. (64 mm) high, measured from the center or the axis of pivot, and should extend entirely across or beyond the full width of the specimen. Each case-hardened bearing surface in contact with the specimen shall not depart from a plane by more than 0.002 in. (0.05 mm) and shall be a portion of a cylinder, the axis of which is coincidental with either the axis of the rod or center of the ball, whichever the block is pivoted upon. The angle subtended by the curved surface of each block should be at least 45° (0.79 rad). The load-applying and support blocks shall be maintained in a vertical position and in contact with the rod or ball by means of spring-loaded screws that hold them in contact with the pivot rod or ball. The uppermost bearing plate and center point ball in Fig. 1 may be omitted when a spherically seated bearing block is used, provided one rod and one ball are used as pivots for the upper load-applying blocks.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing Concrete for Strength.

² Current edition approved April 15, 1994. Published June 1994. Originally published as C 78 - 30T. Last previous edition C 78 - 84.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.



NOTE 1—This apparatus may be used inverted. If the testing machine applies force through a spherically seated head, the center pivot may be omitted, provided one load-applying block pivots on a rod and the other on a ball.
 NOTE 2—1 in. = 25.4 mm.

FIG. 1 Diagrammatic View of a Suitable Apparatus for Flexure Test of Concrete by Third-Point Loading Method

5. Testing

5.1 The test specimen shall conform to all requirements of Test Method C 42 or Practices C 31 or C 192 applicable to beam and prism specimens and shall have a test span within 2 % of being three times its depth as tested. The sides of the specimen shall be at right angles with the top and bottom. All surfaces shall be smooth and free of scars, indentations, holes, or inscribed identification marks.

5.2 The technician performing the flexural strength test should be certified as an ACI Technician—Grade II, or by an equivalent written and performance test program.

NOTE 1—The testing laboratory performing this test method may be evaluated in accordance with Practice C 1077.

6. Procedure

6.1 Flexural tests of moist-cured specimens shall be made as soon as practical after removal from moist storage. Surface drying of the specimen results in a reduction in the measured flexural strength.

6.2 When using molded specimens, turn the test specimen on its side with respect to its position as molded and center it on the support blocks. When using sawed specimens, position the specimen so that the tension face corresponds to the top or bottom of the specimen as cut from the parent material. Center the loading system in relation to the applied force. Bring the load-applying blocks in contact with the surface of the specimen at the third points and apply a load of between 3 and 6 % of the estimated ultimate load. Using 0.004 in. (0.10 mm) and 0.015 in. (0.38 mm) leaf-type feeler gages, determine whether any gap between the specimen and the load-applying or support blocks is greater or less than each of the gages over a length of 1 in. (25 mm) or more. Grind, cap, or use leather shims on the specimen contact surface to eliminate any gap in excess of 0.004 in. (0.10 mm) in width. Leather shims shall be of uniform 1/4 in. (6.4 mm) thickness, 1 to 2 in. (25 to 50 mm) width, and shall extend across the full width of the specimen. Gaps in excess of 0.015 in. (0.38 mm) shall be eliminated only by capping or

grinding. Grinding of lateral surfaces should be minimized inasmuch as grinding may change the physical characteristics of the specimens. Capping shall be in accordance with the applicable sections of Practice C 617.

6.3 Load the specimen continuously and without shock. The load shall be applied at a constant rate to the breaking point. Apply the load at a rate that constantly increases the extreme fiber stress between 125 and 175 psi/min (0.86 and 1.21 MPa/min), when calculated in accordance with 8.1, until rupture occurs.

7. Measurement of Specimens After Test

7.1 Take three measurements across each dimension (one at each edge and at the center) to the nearest 0.05 in. (1 mm) to determine the average width, average depth, and line of fracture location of the specimen at the section of failure. If fracture occurs at a capped section, include the cap thickness in measurement.

8. Calculation

8.1 If the fracture initiates in the tension surface within the middle third of the span length, calculate the modulus of rupture as follows:

$$R = Pl/bd^2$$

where:

R = modulus of rupture, psi, or MPa,
 P = maximum applied load indicated by the testing machine, lbf, or N,

l = span length, in., or mm,

b = average width of specimen, in., or mm, at the fracture, and

d = average depth of specimen, in., or mm, at the fracture.

NOTE 2—The weight of the beam is not included in the above calculation.

8.2 If the fracture occurs in the tension surface outside of the middle third of the span length by not more than 5 % of the span length, calculate the modulus of rupture as follows:

$$R = 3Pa/bd^2$$

where:

a = average distance between line of fracture and the nearest support measured on the tension surface of the beam, in., (or mm).

NOTE 3—The weight of the beam is not included in the above calculation.

8.3 If the fracture occurs in the tension surface outside of the middle third of the span length by more than 5 % of the span length, discard the results of the test.

9. Report

9.1 Report the following information:

- 9.1.1 Identification number,
- 9.1.2 Average width to the nearest 0.05 in. (1 mm),
- 9.1.3 Average depth to the nearest 0.05 in. (1 mm),
- 9.1.4 Span length in inches (or millimeters),
- 9.1.5 Maximum applied load, in pound-force (or newtons),
- 9.1.6 Modulus of rupture calculated to the nearest 5 psi (0.05 MPa),
- 9.1.7 Curing history and apparent moisture condition of the specimens at the time of test,
- 9.1.8 If specimens were capped, ground, or if leather shims were used,

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

9.1.9 Whether sawed or molded and defects in specimens, and

9.1.10 Age of specimens.

10. Precision and Bias

10.1 *Precision*—The coefficient of variation of test results has been observed to be dependent on the strength level of the beams.⁴ The single operator coefficient of variation has been found to be 5.7 %. Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on beams made from the same batch sample should not differ from each other by more than 16 %. The multilaboratory coefficient of variation has been found to be 7.0 %. Therefore, results of two different laboratories on beams made from the same batch sample should not differ from each other by more than 19 %.

10.2 *Bias*—Since there is no accepted standard for determining bias in this test method, no statement on bias is made.

11. Keywords

11.1 beams; concrete; flexural strength testing; modulus of rupture

⁴ See "Improved Concrete Quality Control Procedures Using Third Point Loading" by P. M. Carrasquillo and R. L. Carrasquillo, Research Report 119-11, Project 3-9-87-1119, Center For Transportation Research, The University of Texas at Austin, November 1987, for possible guidance as to the relationship of strength and variability.



Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method¹

This standard is issued under the fixed designation C 231; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This test method has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers determination of the air content of freshly mixed concrete from observation of the change in volume of concrete with a change in pressure.

1.2 This test method is intended for use with concretes and mortars made with relatively dense aggregates for which the aggregate correction factor can be satisfactorily determined by the technique described in Section 6. It is not applicable to concretes made with lightweight aggregates, air-cooled blast-furnace slag, or aggregates of high porosity. In these cases, Test Method C 173 should be used. This test method is also not applicable to nonplastic concrete such as is commonly used in the manufacture of pipe and concrete masonry units.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. See Note A1.7 for a specific caution statement.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 138 Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete²
- C 172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete²
- C 173 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method²
- C 192 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods of Construction Materials²
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods³

3. Significance and Use

3.1 This test method covers the determination of the air

content of freshly mixed concrete. The test is intended to determine the air content of freshly mixed concrete exclusive of any air that may be inside voids within aggregate particles. For this reason, it is applicable to concrete made with relatively dense aggregate particles and requires determination of the aggregate correction factor (see 6.1 and 9.1).

3.2 This test method and Test Method C 138 and C 173 provide pressure, gravimetric, and volumetric procedures, respectively, for determining the air content of freshly mixed concrete. The pressure procedure of this test method gives substantially the same air contents as the other two test methods for concretes made with dense aggregates.

3.3 The air content of hardened concrete may be either higher or lower than that determined by this test method. This depends upon the methods and amount of consolidation effort applied to the concrete from which the hardened concrete specimen is taken; uniformity and stability of the air bubbles in the fresh and hardened concrete; accuracy of the microscopic examination, if used; time of comparison; environmental exposure; stage in the delivery, placement and consolidation processes at which the air content of the unhardened concrete is determined, that is, before or after the concrete goes through a pump; and other factors.

4. Apparatus

4.1 *Air Meters*—There are available satisfactory apparatus of two basic operational designs employing the principle of Boyle's law. For purposes of reference herein these are designated Meter Type A and Meter Type B.

4.1.1 *Meter Type A*—An air meter consisting of a measuring bowl and cover assembly (see Fig. 1) conforming to the requirements of 4.2 and 4.3. The operational principle of this meter consists of introducing water to a predetermined height above a sample of concrete of known volume, and the application of a predetermined air pressure over the water. The determination consists of the reduction in volume of the air in the concrete sample by observing the amount the water level is lowered under the applied pressure, the latter amount being calibrated in terms of percent of air in the concrete sample.

4.1.2 *Meter Type B*—An air meter consisting of a measuring bowl and cover assembly (see Fig. 2) conforming to the requirements of 4.2 and 4.3. The operational principle of this meter consists of equalizing a known volume of air at a known pressure in a sealed air chamber with the unknown volume of air in the concrete sample, the dial on the pressure gauge being calibrated in terms of percent air for the observed

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates, and is the direct responsibility of Subcommittee C09.60 on Fresh Concrete Testing.

Current edition approved Nov. 15, 1991. Published January 1992. Originally published as C 231 - 49 T. Last previous edition C 231 - 91a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

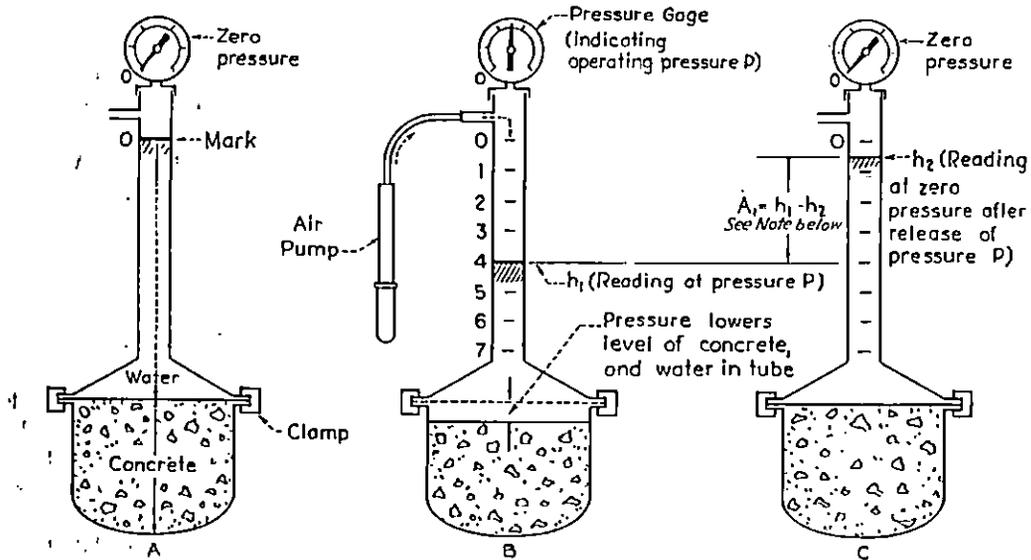


FIG. 1 Illustration of the Pressure Method for Air Content—Type-A Meter

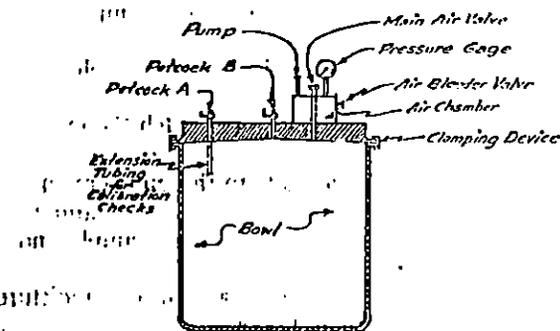


FIG. 2 Schematic Diagram—Type-B Meter

pressure at which equalization takes place. Working pressures of 7.5 to 30.0 psi (51 to 207 kPa) have been used satisfactorily.

4.2 Measuring Bowl—The measuring bowl shall be essentially cylindrical in shape, made of steel, hard metal, or other hard material not readily attacked by the cement paste, having a minimum diameter equal to 0.75 to 1.25 times the height, and a capacity of at least 0.20 ft³ (0.006 m³). It shall be flanged or otherwise constructed to provide for a pressure-tight fit between bowl and cover assembly. The interior surfaces of the bowl and surfaces of rims, flanges, and other component fitted parts shall be machined smooth. The measuring bowl and cover assembly shall be sufficiently rigid to limit the expansion factor, *D*, of the apparatus assembly (Annex A1.5) to not more than 0.1 % of air content on the indicator scale when under normal operating pressure.

4.3 Cover Assembly:

4.3.1 The cover assembly shall be made of steel, hard metal, or other hard material not readily attacked by the cement paste. It shall be flanged or otherwise constructed to provide for a pressure-tight fit between bowl and cover assembly and shall have machined smooth interior surfaces

contoured to provide an air space above the level of the top of the measuring bowl. The cover shall be sufficiently rigid to limit the expansion factor of the apparatus assembly as prescribed in 4.2.

4.3.2 The cover assembly shall be fitted with a means of direct reading of the air content. The cover for the Type A meter shall be fitted with a standpipe, which may be a transparent graduated tube or may be a metal tube of uniform bore with a glass water gage attached. In the Type B meter, the dial of the pressure gage shall be calibrated to indicate the percent of air. Graduations shall be provided for a range in air content of at least 8 % easily readable to 0.1 % as determined by the proper air pressure calibration test.

4.3.3 The cover assembly shall be fitted with air valves, air bleeder valves, and petcocks for bleeding off or through which water may be introduced as necessary for the particular meter design. Suitable means for clamping the cover to the bowl shall be provided to make a pressure-tight seal without entrapping air at the joint between the flanges of the cover and bowl. A suitable hand pump shall be provided with the cover either as an attachment or as an accessory.

4.4 Calibration Vessel—A measure having an internal volume equal to a percent of the volume of the measuring bowl corresponding to the approximate percent of air in the concrete to be tested; or, if smaller, it shall be possible to check calibration of the meter indicator at the approximate percent of air in the concrete to be tested by repeated filling of the measure. When the design of the meter requires placing the calibration vessel within the measuring bowl to check calibration, the measure shall be cylindrical in shape and of an inside depth ½ in. (13 mm) less than that of the bowl. A satisfactory measure of this type may be machined from No. 16 gage brass tubing, of a diameter to provide the volume desired, to which a brass disk ½ in. in thickness is soldered to form an end. When design of the meter requires withdrawing of water from the water-filled bowl and cover

assembly to check calibration, the measure may be an integral part of the cover assembly or may be a separate cylindrical measure similar to the above described cylinder.

4.5 The designs of various available types of airmeters are such that they differ in operating techniques and therefore, all of the items described in 4.6 through 4.16 may not be required. The items required shall be those necessary for use with the particular design of apparatus used to satisfactorily determine air content in accordance with the procedures prescribed herein.

4.6 *Coil Spring or Other Device for Holding Calibration Cylinder in Place.*

4.7 *Spray Tube*—A brass tube of appropriate diameter, which may be an integral part of the cover assembly or which may be provided separately. It shall be so constructed that when water is added to the container, it is sprayed to the walls of the cover in such a manner as to flow down the sides causing a minimum of disturbance to the concrete.

4.8 *Trowel*—A standard brick mason's trowel.

4.9 *Tamping Rod*—The tamping rod shall be a round straight steel rod $\frac{3}{8}$ in. (16 mm) in diameter and not less than approximately 16 in. (400 mm) in length, having the tamping end rounded to hemispherical tip the diameter of which is $\frac{3}{8}$ in. (16 mm).

4.10 *Mallet*—A mallet (with a rubber or rawhide head) weighing approximately 1.25 ± 0.50 lb (0.57 ± 0.23 kg) for use with measures of 0.5 ft³ (14 dm³) or smaller, and a mallet weighing approximately 2.25 ± 0.50 lb (1.02 ± 0.23 kg) for use with measures larger than 0.5 ft³.

4.11 *Strike-Off Bar*—A flat straight bar of steel or other suitable metal at least $\frac{1}{8}$ in. (3 mm) thick and $\frac{3}{4}$ in. (20 mm) wide by 12 in. (300 mm) long.

4.12 *Strike-Off Plate*—A flat rectangular metal plate at least $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) thick or a glass or acrylic plate at least $\frac{1}{2}$ in. (12 mm) thick with a length and width at least 2 in. (50 mm) greater than the diameter of the measure with which it is to be used. The edges of the plate shall be straight and smooth within a tolerance of $\frac{1}{16}$ in. (1.5 mm).

4.13 *Funnel*, with the spout fitting into spray tube.

4.14 *Measure for Water*, having the necessary capacity to fill the indicator with water from the top of the concrete to the zero mark.

4.15 *Vibrator*, as described in Practice C 192.

4.16 *Sieves*, $1\frac{1}{2}$ -in. (37.5-mm) with not less than 2 ft² (0.19 m²) of sieving area.

5. Calibration of Apparatus

5.1 Make calibration tests in accordance with procedures prescribed in the annex. Rough handling will affect the calibration of both Types A and B meters. Changes in barometric pressure will affect the calibration of Type A meter but not Type B meter. The steps described A1.2 to A1.6, as applicable to the meter type under consideration, are prerequisites for the final calibration test to determine the operating pressure, P , on the pressure gage of the Type A meter as described in A1.7, or to determine the accuracy of the graduations indicating air content on the dial face of the pressure gage of the Type B meter. Normally the steps in A1.2 to A1.6 need be made only once (at the time of initial calibration), or only occasionally to check volume constancy of the calibration cylinder and measuring bowl. On the other

hand, the calibration test described in A1.7 and A1.9, as applicable to the meter type being checked, must be made as frequently as necessary to ensure that the proper gage pressure, P , is being used for the Type A meter or that the correct air contents are being indicated on the pressure gage air content scale for the Type B meter. A change in elevation of more than 600 ft (183 m) from the location at which a Type-A meter was last calibrated will require recalibration in accordance with A1.7.

6. Determination of Aggregate Correction Factor

6.1 *Procedure*—Determine the aggregate correction factor on a combined sample of fine and coarse aggregate as directed in 6.2 to 6.4. It is determined independently by applying the calibrated pressure to a sample of inundated fine and coarse aggregate in approximately the same moisture condition, amount, and proportions occurring in the concrete sample under test.

6.2 *Aggregate Sample Size*—Calculate the weights of fine and coarse aggregate present in the sample of fresh concrete whose air content is to be determined, as follows:

$$F_s = (S/B) \times F_b \quad (1)$$

$$C_s = (S/B) \times C_b \quad (2)$$

where:

F_s = weight of fine aggregate in concrete sample under test, lb (kg),

S = volume of concrete sample (same as volume of measuring bowl), ft³ (m³),

B = volume of concrete produced per batch (Note 1), ft³ (m³),

F_b = total weight of fine aggregate in the moisture condition used in batch, lb (kg),

C_s = weight of coarse aggregate in concrete sample under test, lb (kg), and

C_b = total weight of coarse aggregate in the moisture condition used in batch, lb (kg).

NOTE 1—The volume of concrete produced per batch can be determined in accordance with applicable provisions of Test Method C 138.

NOTE 2—The term "weight" is temporarily used in this standard because of established trade usage. The word is used to mean both "force" and "mass," and care must be taken to determine which is meant in each case (SI unit for force = newton and for mass = kilogram).

6.3 *Placement of Aggregate in Measuring Bowl*—Mix representative samples of fine aggregate F_s and coarse aggregate C_s , and place in the measuring bowl filled one-third full with water. Place the mixed aggregate, a small amount at a time, into the measuring bowl; if necessary, add additional water so as to inundate all of the aggregate. Add each scoopful in a manner that will entrap as little air as possible and remove accumulations of foam promptly. Tap the sides of the bowl and lightly rod the upper 1 in. (25 mm) of the aggregate about ten times. Stir after each addition of aggregate to eliminate entrapped air.

6.4 *Aggregate Correction Factor Determination*

6.4.1 *Initial Procedure for Types A and B Meters*—When all of the aggregate has been placed in the measuring bowl, remove excess foam and keep the aggregate inundated for a period of time approximately equal to the time between introduction of the water into the mixer and the time of

forming the test for air content before proceeding with the determination as directed in 6.4.2 or 6.4.3.

6.4.2 *Type A Meter*—Complete the test as described in 2.1.1 and 8.2.2. The aggregate correction factor, G , is equal to $A_1 - Ah_2$ (see Fig. 1) (Note 3).

6.4.3 *Type B Meter*—Perform the procedures as described in 8.3.1. Remove a volume of water from the assembled and filled apparatus approximately equivalent to the volume of water that would be contained in a typical concrete sample of a size equal to the volume of the bowl. Remove the water in the manner described in A1.9 for the calibration tests. Complete the test as described in 8.3.2. The aggregate correction factor, G , is equal to the reading on the air-content scale minus the volume of water removed from the bowl expressed as a percent of the volume of the bowl (see Fig. 1).

NOTE 3—The aggregate correction factor will vary with different aggregates. It can be determined only by test, since apparently it is not directly related to absorption of the particles. The test can be easily made and must not be ignored. Ordinarily the factor will remain reasonably constant for given aggregates, but an occasional check test is recommended.

7. Preparation of Concrete Test Sample

7.1 Obtain the sample of freshly mixed concrete in accordance with applicable procedures of Practice C 172. If the concrete contains coarse aggregate particles that would be retained on a 2-in. (50-mm) sieve, wet-sieve a sufficient amount of the representative sample over a 1½-in. (37.5-mm) sieve, as described in Practice C 172, to yield somewhat more than enough material to fill the measuring bowl of the size selected for use. Carry out the wet-sieving operation with the minimum practicable disturbance of the mortar. Make no attempt to wipe adhering mortar from coarse aggregate particles retained on the sieve.

8. Procedure for Determining Air Content of Concrete

8.1 Placement and Consolidation of Sample:

8.1.1 Dampen the interior of the measuring bowl and place it on a flat, level, firm surface. Place a representative sample of the concrete, prepared as described in Section 7, in the measuring bowl in equal layers. Consolidate each layer by the rodding procedure (8.1.2) or by vibration (8.1.3). Strike-off the finally consolidated layer (8.1.4). Rod concretes with a slump greater than 3 in. (75 mm). Rod or vibrate concrete with a slump of 1 to 3 in. (25 to 75 mm). Consolidate concretes with a slump less than 1 in. (25 mm) by vibration.

8.1.2 *Rodding*—Place the concrete in the measuring bowl in three layers of approximately equal volume. Consolidate each layer of concrete by 25 strokes of the tamping rod evenly distributed over the cross section. After each layer is rodded, tap the sides of the measure smartly 10 to 15 times with the mallet to close any voids left by the tamping rod and to release any large bubbles of air that may have been trapped. Rod the bottom layer throughout its depth, but the rod shall not forcibly strike the bottom of the measure. In rodding the second and final layers, use only enough force to cause the rod to penetrate the surface of the previous layer about 1 in. (25 mm). Add the final layer of concrete in a manner to avoid excessive overfilling (8.1.4).

8.1.3 *Vibration*—Place the concrete in the measuring

bowl in two layers of approximately equal volume. Place all of the concrete for each layer before starting vibration of that layer. Consolidate each layer by three insertions of the vibrator evenly distributed over the cross section. Add the final layer in a manner to avoid excessive overfilling (8.1.4). In consolidating the bottom layer, do not allow the vibrator to rest on or touch the bottom or sides of the measuring bowl. Take care in withdrawing the vibrator to ensure that no air pockets are left in the specimen. Observe a standard duration of vibration for the particular kind of concrete, vibrator, and measuring bowl involved. The duration of vibration required will depend upon the workability of the concrete and the effectiveness of the vibrator. Continue vibration only long enough to achieve proper consolidation of the concrete. Overvibration may cause segregation and loss of intentionally entrained air. Usually, sufficient vibration has been applied as soon as the surface of the concrete becomes relatively smooth and has a glazed appearance. Never continue vibration long enough to cause escape of froth from the sample.

8.1.4 *Strike Off*—After consolidation of the concrete, strike off the top surface by sliding the strike-off bar across the top flange or rim of the measuring bowl with a sawing motion until the bowl is just level full. On completion of consolidation, the bowl must not contain a great excess or deficiency of concrete. Removal of approximately ⅛ in. (3 mm) during strike off is optimum. A small quantity of representative concrete may be added to correct a deficiency. If the measure contains a great excess, remove a representative portion of concrete with a trowel or scoop before the measure is struck off. When a strike-off plate is used, strike off concrete as prescribed in Test Method C 138.

NOTE 4—The use of the strike-off plate on cast aluminum or other relatively soft metal air meter bases may cause rapid wear of the rim and require frequent maintenance, calibration, and ultimately, replacement.

8.1.5 *Application of Test Method*—Any portion of the test method not specifically designated as pertaining to Type A or Type B meter shall apply to both types.

8.2 Procedure—Type A Meter:

8.2.1 *Preparation for Test*—Thoroughly clean the flanges or rims of the bowl and of the cover assembly so that when the cover is clamped in place a pressure-tight seal will be obtained. Assemble the apparatus and add water over the concrete by means of the tube until it rises to about the halfway mark in the standpipe. Incline the apparatus assembly about 30° from vertical and, using the bottom of the bowl as a pivot, describe several complete circles with the upper end of the column, simultaneously tapping the cover lightly to remove any entrapped air bubbles above the concrete sample. Return the apparatus assembly to a vertical position and fill the water column slightly above the zero mark, while lightly tapping the sides of the bowl. Bring the water level to the zero mark of the graduated tube before closing the vent at the top of the water column (see Fig. 1 A).

NOTE 5—Some Type A meters have a calibrated starting fill mark above the zero mark. Generally, this starting mark should not be used since, as noted in 8.2.3, the apparent air content is the difference between the water level reading H , at pressure P and the water level h_2 at zero pressure after release of pressure P .

8.2.2 The internal surface of the cover assembly shall be kept clean and free from oil or grease; the surface shall be wet

to prevent adherence of air bubbles that might be difficult to dislodge after assembly of the apparatus.

8.2.3 *Test Procedure*—Apply slightly more than the desired test pressure, P , (about 0.2 psi (1380 Pa) more) to the concrete by means of the small hand pump. To relieve local restraints, tap the sides of the measure sharply and, when the pressure gage indicates the exact test pressure, P , as determined in accordance with A1.7, read the water level, h_1 , and record to the nearest division or half-division on the graduated precision-bore tube or gage glass of the standpipe (see Fig. 1 B). For extremely harsh mixes it may be necessary to tap the bowl vigorously until further tapping produces no change in the indicated air content. Gradually release the air pressure through the vent at the top of the water column and tap the sides of the bowl lightly for about 1 min. Record the water level, h_2 , to the nearest division or half-division (see Fig. 1 C). Calculate the apparent air content as follows:

$$A_1 = h_1 - h_2 \quad (3)$$

where:

- A_1 = apparent air content,
- h_1 = water level reading at pressure, P (see Note 6), and
- h_2 = water level reading at zero pressure after release of pressure, P .

8.2.4 *Check Test*—Repeat the steps described in 8.2.3 without adding water to reestablish the water level at the zero mark. The two consecutive determinations of apparent air content should check within 0.2 % of air and shall be averaged to give the value A_1 to be used in calculating the air content, A_s , in accordance with Section 9.

8.2.5 In the event the air content exceeds the range of the meter when it is operated at the normal test pressure P , reduce the test pressure to the alternative test pressure P_1 and repeat the steps outlined in 8.2.2 and 8.2.3.

NOTE 6—See A1.7 for exact calibration procedures. An approximate value of the alternative pressure, P_1 , such that the apparent air content will equal twice the meter reading can be computed from the following relationship:

$$P_1 = P_a P / (2P_a + P) \quad (4)$$

where:

- P_1 = alternative test pressure, psi (or kPa),
- P_a = atmospheric pressure, psi (approximately 14.7 psi (101 kPa) but will vary with altitude and weather conditions) (or kPa), and
- P = normal test or operating gage pressure, psi (or kPa).

8.3 Procedure—Type B Meter

8.3.1 *Preparation for Test*—Thoroughly clean the flanges or rims of the bowl and the cover assembly so that when the cover is clamped in place a pressure-tight seal will be obtained. Assemble the apparatus. Close the air valve between the air chamber and the measuring bowl and open both petcocks on the holes through the cover. Using a rubber syringe, inject water through one petcock until water emerges from the opposite petcock. Jar the meter gently until all air is expelled from this same petcock.

8.3.2 *Test Procedure*—Close the airbleeder valve on the air chamber and pump air into the air chamber until the gage hand is on the initial pressure line. Allow a few seconds for the compressed air to cool to normal temperature. Stabilize the gage hand at the initial pressure line by pumping or bleeding-off air as necessary, tapping the gage lightly by hand. Close both petcocks on the holes through the cover.

Open the air valve between the air chamber and the measuring bowl. Tap the sides of the measuring bowl smartly with the mallet to relieve local restraints. Lightly tap the pressure gage by hand to stabilize the gage hand. Read the percentage of air on the dial of the pressure gage. Failure to close the main air valve before releasing the pressure from either the container or the air chamber will result in water being drawn into the air chamber, thus introducing error in subsequent measurements. In the event water enters the air chamber it must be bled from the air chamber through the bleeder valve followed by several strokes of the pump to blow out the last traces of water. Release the pressure by opening both petcocks (Fig. 1, A and B) before removing the cover.

9. Calculation

9.1 *Air Content of Sample Tested*—Calculate the air content of the concrete in the measuring bowl as follows:

$$A_s = A_1 - G \quad (5)$$

where:

- A_s = air content of the sample tested, %,
- A_1 = apparent air content of the sample tested, % (see 7.2.2 and 8.3.2), and
- G = aggregate correction factor, % (Section 6).

9.2 *Air Content of Full Mixture*—When the sample tested represents that portion of the mixture that is obtained by wet sieving to remove aggregate particles larger than a 1/2-in. (37.5-mm) sieve, the air content of the full mixture may be calculated as follows:

$$A_f = 100 A_s V_c / (100 V_f + A_s V_a) \quad (6)$$

where (Note 7):

- A_f = air content of the full mixture, %,
- V_c = absolute volume of the ingredients of the mixture, passing a 1/2-in. sieve, airfree, as determined from the original batch weights, ft³ (m³),
- V_f = absolute volume of all ingredients of the mixture, airfree, ft³ (m³), and
- V_a = absolute volume of the aggregate in the mixture coarser than a 1/2-in. sieve, as determined from original batch weights, ft³ (m³).

9.3 *Air Content of the Mortar Fraction*—When it is desired to know the air content of the mortar fraction of the mixture, calculate it as follows:

$$A_m = 100 A_s V_c / [100 V_m + A_s (V_c - V_m)] \quad (7)$$

where (Note 7):

- A_m = air content of the mortar fraction, %, and
- V_m = absolute volume of the ingredients of the mortar fraction of the mixture, airfree, ft³ (m³).

NOTE 7—The values for use in Eqs 6 and 7 are most conveniently obtained from data on the concrete mixture tabulated as follows for a batch of any size:

	Absolute Volume, ft ³ (m ³)
Cement	_____
Water	_____
Fine aggregate	_____
Coarse aggregate (No. 4 (4.75-mm) to 1/2-in. (37.5-mm))	_____
Coarse aggregate (1/2-in.)	_____
Total	_____

10. Precision and Bias

10.1 Precision:

10.1.1 *Single-Operator Precision*—The single-operator standard deviation cannot be established because the sampling requirements for this test, as established in Practice C 172, do not allow a single operator time to conduct more than one test on a sample.

10.1.2 *Multilaboratory Precision*—The multilaboratory standard deviation has not been established.

10.1.3 *Multioperator Precision*—The multioperator standard deviation of a single test result has been found to be 0.28 % air by volume of concrete for Type A air meters as long as the air content does not exceed 7 %. Therefore results of two tests properly conducted by different operators but on the same material should not differ by more than 0.8 % air by volume of concrete (see Practice E 177, Notes 8 and 9).

NOTE 8—These numbers represent, respectively, the (1s) and (d2s) limits as described in Practice C 670. The precision statements are based

on the variations in tests on three different concretes, each tested by eleven different operators.⁴

NOTE 9—The precision of this test method using Type B air meters has not been determined.

10.2 *Bias*—This test method has no bias because the air content of freshly mixed concrete can only be defined in terms of the test methods.

11. Keywords

11.1 air content; calibration; concrete; correction factor; measuring bowl; meter; pressure; pump; unit weight

⁴ Reidenour, D. R., and Howe, R. H., "Air Content of Plastic and Hardened Concrete," presented at the 2nd International Conference on "Durability of Building Materials and Components" Sept. 14-16, 1981. Reprints compiled by: G. Frohnsdorff and B. Horner, National Institute for Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, formerly National Bureau of Standards, Washington, DC 20234.

ANNEX

Mandatory Information

A1. CALIBRATION OF APPARATUS

A1.1 Calibration tests shall be performed in accordance with the following procedures as applicable to the meter type being employed.

A1.2 *Calibration of the Calibration Vessel*—Determine accurately the weight of water, *w*, required to fill the calibration vessel, using a scale accurate to 0.1 % of the weight of the vessel filled with water. This step shall be performed for Type A and B meters.

A1.3 *Calibration of the Measuring Bowl*—Determine the weight of water, *W*, required to fill the measuring bowl, using a scale accurate to 0.1 % of the weight of the bowl filled with water. Slide a glass plate carefully over the flange of the bowl in a manner to ensure that the bowl is completely filled with water. A thin film of cup grease smeared on the flange of the bowl will make a watertight joint between the glass plate and the top of the bowl. This step shall be performed for Type A and B meters.

A1.4 *Effective Volume of the Calibration Vessel, R*—The constant *R* represents the effective volume of the calibration vessel expressed as a percentage of the volume of the measuring bowl.

A1.4.1 For meter Types A, calculate *R* as follows (Note A1):

$$R = 0.98 w/W \quad (A1.1)$$

where:

w = weight of water required to fill the calibration vessel, and

W = weight of water required to fill the measuring bowl.

NOTE A1.1—The factor 0.98 is used to correct for the reduction in the volume of air in the calibration vessel when it is compressed by a depth of water equal to the depth of the measuring bowl. This factor is approximately 0.98 for an 8-in. (203-mm) deep measuring bowl at sea level. Its value decreases to approximately 0.975 at 5000 ft (1524 m) above sea level and 0.970 at 13 000 ft (3962 m) above sea level. The

value of this constant will decrease by about 0.01 for each 4-in. (102-mm) increase in bowl depth. The depth of the measuring bowl and atmospheric pressure do not affect the effective volume of the calibration vessel for meter Types B.

A1.4.2 For meter Types B calculate *R* as follows (Note A1.1):

$$R = w/W \quad (A1.2)$$

A1.5 *Determination of, or Check of, Allowance for Expansion Factor, D*:

A1.5.1 For meter assemblies of Type A determine the expansion factor, *D* (Note A1.2) by filling the apparatus with water only (making certain that all entrapped air has been removed and the water level is exactly on the zero mark (Note A1.3) and applying an air pressure approximately equal to the operating pressure, *P*, determined by the calibration test described in A1.7. The amount the water column lowers will be the equivalent expansion factor, *D*, for that particular apparatus and pressure (Note A1.5).

NOTE A1.2—Although the bowl, cover, and clamping mechanism of the apparatus must of necessity be sturdily constructed so that it will be pressure-tight, the application of internal pressure will result in a small increase in volume. This expansion will not affect the test results because, with the procedure described in Sections 6 and 8, the amount of expansion is the same for the test for air in concrete as for the test for aggregate correction factor on combined fine and coarse aggregates, and is thereby automatically cancelled. However, it does enter into the calibration test to determine the air pressure to be used in testing fresh concrete.

NOTE A1.3—The water columns on some meters of Type-A design are marked with an initial water level and a zero mark, the difference between the two marks being the allowance for the expansion factor. This allowance should be checked in the same manner as for meters not so marked and in such a case, the expansion factor should be omitted in computing the calibration readings in A1.7.

NOTE A1.4—It will be sufficiently accurate for this purpose to use an approximate value for *P* determined by making a preliminary calibra-



Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation C 496; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens, such as molded cylinders and drilled cores.

NOTE 1—For methods of molding cylindrical concrete specimens, see Practice C 192 and Practice C 31. For methods of obtaining drilled cores see Method C 42.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.3 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 31 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field²

C 39 Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens²

C 42 Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete²

C 192 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²

3. Significance and Use

3.1 This test method measures the splitting tensile strength of concrete by the application of a diametral compressive force on a cylindrical concrete specimen placed with its axis horizontal between the platens of a testing machine.

3.2 Splitting tensile strength is simpler to determine than direct tensile strength.

3.3 Splitting tensile strength is used to evaluate the shear resistance provided by concrete in reinforced lightweight aggregate concrete members.

4. Apparatus

4.1 *Testing Machine*—The testing machine shall conform to the requirements of Test Method C 39 and may be of any

type of sufficient capacity that will provide the rate of loading prescribed in 6.5.

4.2 *Supplementary Bearing Bar or Plate*—If the diameter or the largest dimension of the upper bearing face or the lower bearing block is less than the length of the cylinder to be tested, a supplementary bearing bar or plate of machined steel shall be used. The surfaces of the bar or plate shall be machined to within ± 0.001 in. (0.025 mm) of planeness, as measured on any line of contact of the bearing area. It shall have a width of at least 2 in. (51 mm), and a thickness not less than the distance from the edge of the spherical or rectangular bearing block to the end of the cylinder. The bar or plate shall be used in such manner that the load will be applied over the entire length of the specimen.

4.3 *Bearing Strips*—Two bearing strips of nominal $\frac{1}{8}$ in. (3.2 mm) thick plywood, free of imperfections, approximately 1 in. (25 mm) wide, and of a length equal to, or slightly longer than, that of the specimen shall be provided for each specimen. The bearing strips shall be placed between the specimen and both the upper and lower bearing blocks of the testing machine or between the specimen and supplementary bars or plates, if used (see 4.2). Bearing strips shall not be reused.

5. Test Specimens

5.1 The test specimens shall conform to the size, molding, and curing requirements set forth in either Practice C 31 (field specimens) or Practice C 192 (laboratory specimens). Drilled cores shall conform to the size and curing requirements set forth in Method C 42. Moist-cured specimens, during the period between their removal from the curing environment and testing, shall be kept moist by a wet burlap or blanket covering, and shall be tested in a moist condition as soon as practicable.

5.2 The following curing procedure shall be used for evaluations of light-weight concrete: specimens tested at 28 days shall be in an air-dry condition after 7 days moist curing followed by 21 days drying at $73 \pm 3^\circ\text{F}$ ($23.0 \pm 1.7^\circ\text{C}$) and $50 \pm 5\%$ relative humidity.

6. Procedure

6.1 *Marking*—Draw diametral lines on each end of the specimen using a suitable device that will ensure that they are in the same axial plane (see Figs. 1, 2 and Note 2), or as an alternative, use the aligning jig shown in Fig. 3 (Note 3).

NOTE 2—Figures 1 and 2 show a suitable device for drawing diametral lines on each end of the specimen in the same axial plane. The device consists of three parts as follows:

(1) A length of 4-in. (100-mm) steel channel, the flanges of which have been machined flat,

(2) A section of a tee bar, *B*, that is grooved to fit smoothly over the flanges of the channel and that includes a rectangular notch for

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing Concrete for Strength.

Current edition approved Feb. 9, 1990. Published April 1990. Originally published as C 496 - 62. Last previous edition C 496 - 86⁴.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02.

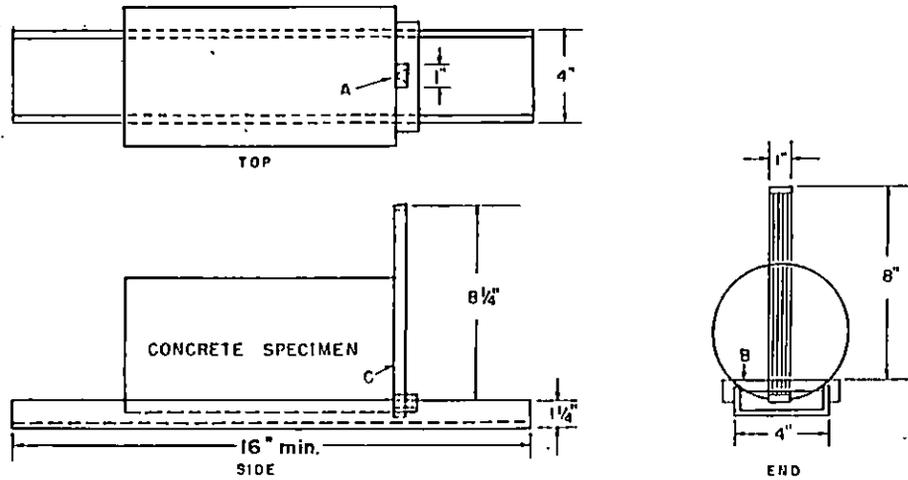
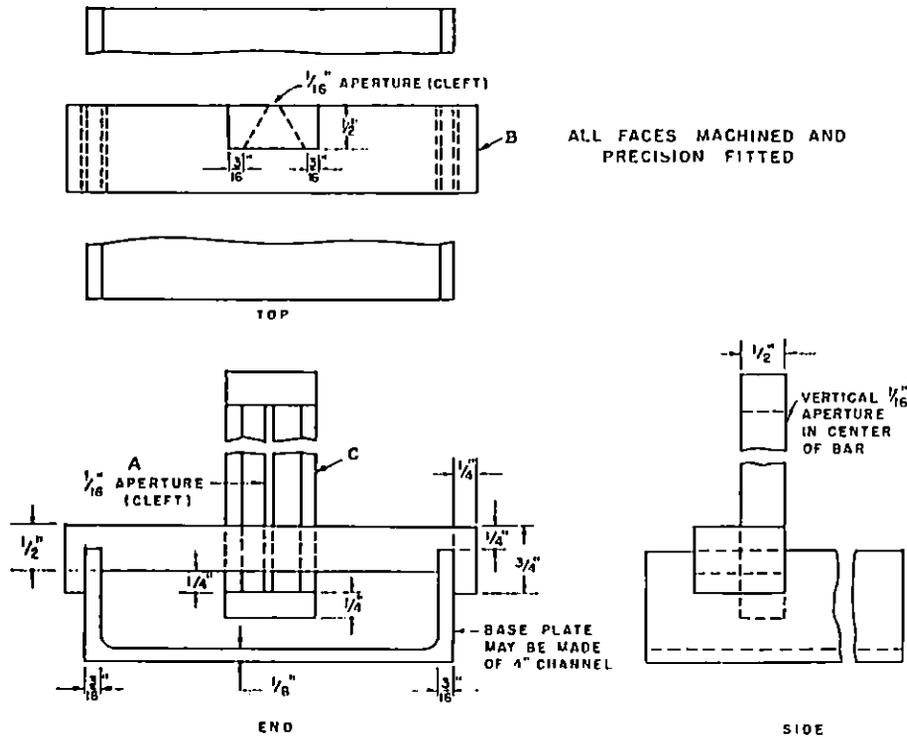


FIG. 1 General Views of a Suitable Apparatus for Marking End Diameters Used for Alignment of Specimen in Testing Machine



Metric Equivalents—Figs. 1, 2 and 4

In.	1/16	1/8	3/16	1/4	1/2	3/4	1	1 1/4	2	2 1/2	4	7 1/2	8	8 1/4	15	16
mm	1.6	3.2	4.8	6.4	13	19	25	32	50	65	100	190	200	205	375	400

FIG. 2 Detailed Plans for a Suitable Apparatus for Marking End Diameters Used for Aligning the Specimen

positioning the vertical member of the tee bar assembly, and
 (3) A vertical bar, C, containing a longitudinal aperture (cleft), A, for guiding a pencil.

The tee bar assembly is not fastened to the channel and is positioned at either end of the channel without disturbing the position of the specimen when marking the diametral lines.

NOTE 3—Figure 4 is a detailed drawing of the aligning jig shown in Fig. 3 for achieving the same purpose as marking the diametral lines. The device consists of:

(1) A base for holding the lower bearing strip and cylinder,

(2) A supplementary bearing bar conforming to the requirements in Section 3 as to critical dimensions and planeness, and
 (3) Two uprights to serve for positioning the test cylinder, bearing strips, and supplementary bearing bar.

6.2 Measurements—Determine the diameter of the test specimen to the nearest 0.01 in. (0.25 mm) by averaging three diameters measured near the ends and the middle of the specimen and lying in the plane containing the lines marked on the two ends. Determine the length of the

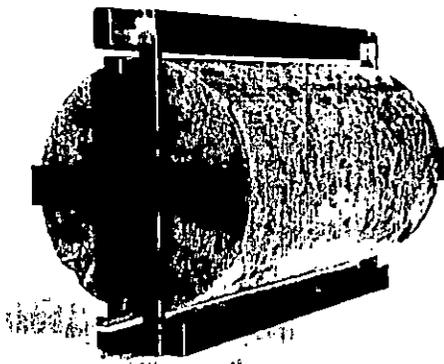


FIG. 3 Jig for Aligning Concrete Cylinder and Bearing Strips

specimen to the nearest 0.1 in. (2.5 mm) by averaging at least two length measurements taken in the plane containing the lines marked on the two ends.

6.3 Positioning Using Marked Diametral Lines—Center one of the plywood strips along the center of the lower bearing block. Place the specimen on the plywood strip and align so that the lines marked on the ends of the specimen are vertical and centered over the plywood strip. Place a second plywood strip lengthwise on the cylinder, centered on the lines marked on the ends of the cylinder. Position the assembly to ensure the following conditions:

6.3.1 The projection of the plane of the two lines marked on the ends of the specimen intersects the center of the upper bearing plate, and

6.3.2 The supplementary bearing bar or plate, when used, and the center of the specimen are directly beneath the center of thrust of the spherical bearing block (see Fig. 5).

6.4 Positioning by Use of Aligning Jig—Position the bearing strips, test cylinder, and supplementary bearing bar by means of the aligning jig as illustrated in Fig. 3 and center the jig so that the supplementary bearing bar and the center of the specimen are directly beneath the center of thrust of the spherical bearing block.

6.5 Rate of Loading—Apply the load continuously and without shock, at a constant rate within the range 100 to 200 psi/min (689 to 1380 kPa/min) splitting tensile stress until failure of the specimen (Note 4). Record the maximum applied load indicated by the testing machine at failure. Note the type of failure and the appearance of the concrete.

NOTE 4—The relationship between splitting tensile stress and applied load is shown in Section 7. The required loading range in splitting tensile stress corresponds to applied total load in the range of 11 300 to 22 600 lbf (50 to 100 kN)/min for 6 by 12-in. (152 by 305-mm) cylinders.

7. Calculation

7.1 Calculate the splitting tensile strength of the specimen as follows:

$$T = 2P/\pi ld$$

where

T = splitting tensile strength, psi (kPa),

P = maximum applied load indicated by the testing machine, lbf (kN),

l = length, in. (m), and

d = diameter, in. (m).

8. Report

8.1 Report the following information:

8.1.1 Identification number,

8.1.2 Diameter and length, in. (m),

8.1.3 Maximum load, lbf (kN),

8.1.4 Splitting tensile strength calculated to the nearest 5 psi (35 kPa),

8.1.5 Estimated proportion of coarse aggregate fractured during test,

8.1.6 Age of specimen,

8.1.7 Curing history,

8.1.8 Defects in specimen,

8.1.9 Type of fracture, and

8.1.10 Type of specimen.

9. Precision and Bias

9.1 The precision and bias of this test method has not yet been determined, but data are being collected and precision and bias statements will be included when formulated.

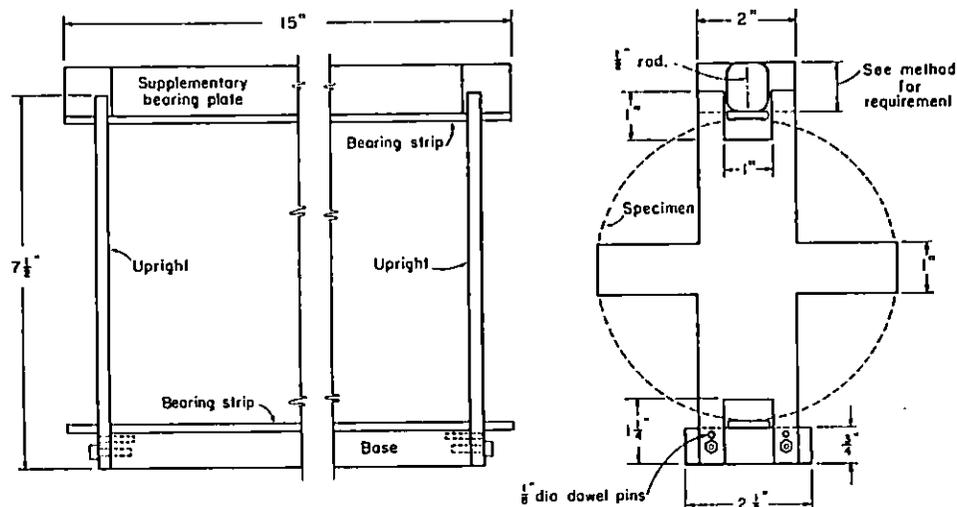


FIG. 4 Detailed Plans for a Suitable Aligning Jig

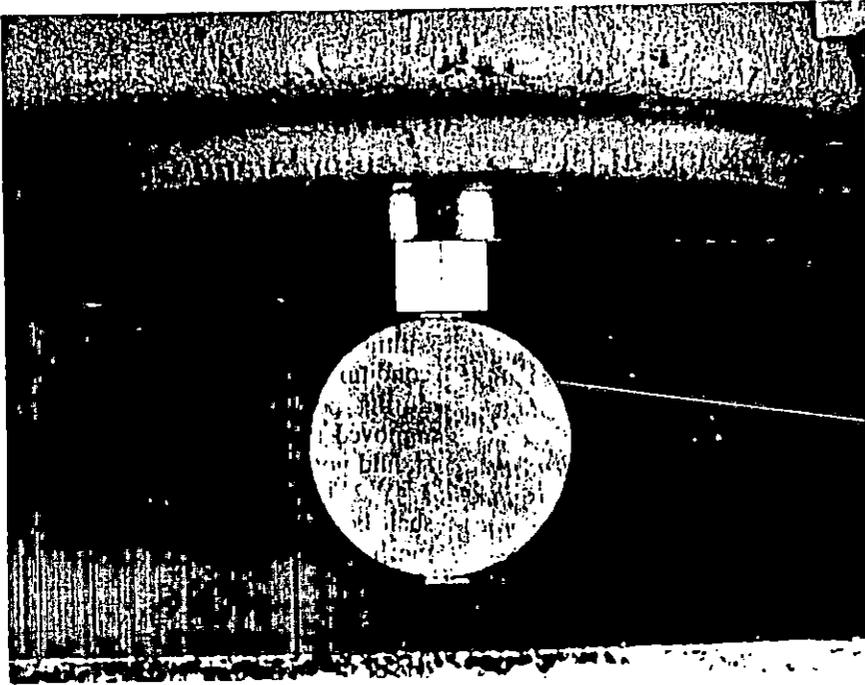


FIG. 5 Specimen Positioned in a Testing Machine for Determination of Splitting Tensile Strength

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.