

300615

1  
209



**UNIVERSIDAD LA SALLE**  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**AGUA RESIDUAL TRATADA EN LA  
ELABORACIÓN DE CONCRETO  
HIDRÁULICO**

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA:

**LUIS GUSTAVO BONILLA FERNÁNDEZ**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ASESOR:

**M. en I. FRANCISCO JAVIER RIBE MARTÍNEZ DE VELASCO**

**MÉXICO, D. F.**

**1996**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **AGRADECIMIENTO**

**Mi más sincero agradecimiento para los ingenieros:**

**M. en I. Francisco Javier Ribe Martínez de Velasco e**

**Ing. Marcial Rico Rico**

**que me apoyaron durante la realización de esta tesis**



UNIVERSIDAD LA SALLE

Al Presente Señor: Luis Gustavo Bonilla Fernández

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a Ud. a continuación el tema que aprobado por esta Dirección, propuso como Asesor de Tesis el M. en I. Francisco Javier Ribé Martínez de Velasco, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero Civil.

**"AGUA RESIDUAL TRATADA EN LA ELABORACION DE  
CONCRETO HIDRAULICO"**

con el siguiente índice:

	INTRODUCCION
CAPITULO I	ANTECEDENTES
CAPITULO II	EL AGUA EN EL CONCRETO
CAPITULO III	PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS
CAPITULO IV	ELABORACION DE MEZCLAS
CAPITULO V	RESULTADOS DE LOS CONCRETOS
CAPITULO VI	COMPARACIONES ENTRE RESULTADOS DE CONCRETOS
CAPITULO VII	CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES
	CONCLUSIONES
	BIBLIOGRAFIA

Puego a Ud., tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

**A T E N T A M E N T E**  
**"INDIVISA MANENT"**  
**ESCUELA DE INGENIERIA**  
México, D.F., a 19 de Marzo de 1996

M. en I. FRANCISCO JAVIER RIBE  
MARTINEZ DE VELASCO  
ASESOR DE TESIS

ING. EDMUNDO BARRERA MONSIVAIS  
D I R E C T O R

# I N D I C E

	<b>INTRODUCCIÓN</b>	6
<b>CAPÍTULO</b>	<b>I.- ANTECEDENTES</b>	8
<b>CAPÍTULO</b>	<b>II.- EL AGUA EN EL CONCRETO</b>	11
	<b>II.1 DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE AGUAS PARA CONCRETO</b>	11
	<b>II.1.a DEFINICIÓN</b>	11
	II.1.a1 AGUAS PURAS	11
	II.1.a2 AGUAS ÁCIDAS NATURALES	11
	II.1.a3 AGUAS FUERTEMENTE SALINAS	11
	II.1.a3.1 AGUAS ALCALINAS	11
	II.1.a3.2 AGUAS SULFATADAS	12
	II.1.a3.3 AGUAS CLORURADAS	12
	II.1.a3.4 AGUAS MAGNESIANAS	12
	II.1.a3.5 AGUAS DE MAR	12
	II.1.a4 AGUAS RECICLADAS	12
	II.1.a5 AGUAS INDUSTRIALES	12
	II.1.a6 AGUAS NEGRAS	13
	<b>II.1.b ACCIÓN AGRESIVA DE LAS AGUAS</b>	13
	II.1.b1 AGUAS PURAS	13
	II.1.b2 AGUAS ÁCIDAS NATURALES	13
	II.1.b3 AGUAS FUERTEMENTE SALINAS	13
	II.1.b3.1 AGUAS ALCALINAS	14
	II.1.b3.2 AGUAS SULFATADAS	14
	II.1.b3.3 AGUAS CLORURADAS	14
	II.1.b3.4 AGUAS MAGNESIANAS	14
	II.1.b3.5 AGUA DE MAR	15
	II.1.b4 AGUAS RECICLADAS	15
	II.1.b5 AGUAS INDUSTRIALES	15
	II.1.b6 AGUAS NEGRAS	15
	<b>II.2 NATURALEZA DEL AGUA EN EL CONCRETO</b>	17
	<b>II.2.a AGUA DE MEZCLADO</b>	17
	II.2.a1 AGUA DE HIDRATACIÓN	19
	II.2.a2 AGUA EVAPORABLE	19
	II.2.a3 AGUA DE ABSORCIÓN	19
	II.2.a4 AGUA CAPILAR	19
	II.2.a5 AGUA LIBRE	19
	<b>II.2.b AGUA DE CURADO</b>	20
	<b>II.2.c CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL AGUA DE MEZCLADO</b>	21
	II.2.c1 CARBONATOS Y BICARBONATOS ALCALINOS	22
	II.2.c2 CLORUROS Y SULFATOS	22
	II.2.c3 OTRAS SALES COMUNES	23
	II.2.c4 SALES DE HIERRO	23
	II.2.c5 SALES INORGÁNICAS	23
	II.2.c6 AGUAS ÁCIDAS	24
	II.2.c7 AGUAS ALCALINAS	24
	II.2.c8 AGUAS CON AZÚCAR	24
	II.2.c9 PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN	24
	II.2.c10 AGUA CON ACEITES	25
	II.2.c11 AGUA CON ALGAS	25
	II.2.c12 AGUAS NEGRAS	25
	II.2.c13 AGUA DE MAR	25

	II.2.d	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE CURADO	26
	II.2.e	ESPECIFICACIONES Y CALIDAD DEL AGUA	26
<b>CAPÍTULO</b>	<b>III.-</b>	<b>PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS</b>	<b>29</b>
	III.1	PLANTEAMIENTO	29
	III.1.a	MATERIALES A EMPLEAR	29
	III.1.a1	CEMENTO TIPO I	29
	III.1.a2	AGREGADOS	29
	III.1.a3	AGUA PARA LOS CONCRETOS	29
	III.1.b	DISEÑOS PROPUESTOS	33
	III.1.c	PRUEBAS	33
	III.2	JUSTIFICACIÓN (REQUISITOS POR CUMPLIR)	34
<b>CAPÍTULO</b>	<b>IV.-</b>	<b>ELABORACIÓN DE MEZCLAS</b>	<b>36</b>
	IV.1	MATERIALES	36
	IV.2	PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES	44
	IV.3	ELABORACIÓN DE MEZCLAS	44
<b>CAPÍTULO</b>	<b>V.-</b>	<b>RESULTADOS DE LOS CONCRETOS</b>	<b>52</b>
	V.1	CONCRETO FRESCO	52
	V.1.a	CONTENIDO DE AIRE	52
	V.1.b	PESO VOLUMÉTRICO	60
	V.1.c	REVENIMIENTO	60
	V.2	CONCRETO ENDURECIDO	60
	V.2.a	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	60
	V.2.b	MÓDULO DE ELASTICIDAD	60
	V.3	MORTEROS	63
	V.4	PRUEBAS ESPECIALES TENTATIVAS	66
<b>CAPÍTULO</b>	<b>VI.-</b>	<b>COMPARACIONES ENTRE RESULTADOS DE CONCRETOS</b>	<b>69</b>
	VI.1	COMPARATIVA DE CONCRETOS	69
	VI.2	CONDICIONES EN LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS	70
	VI.3	CONSIDERACIONES GENERALES	71
	VI.3.a	RELACIÓN GRAVA / ARENA Vs. CONSUMO DE AGUA	71
	VI.3.b	RELACIÓN agua / cemento Vs. PESO VOLUMÉTRICO	72
	VI.3.c	DISPERSIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO CON RESPECTO AL MODELO	72
	VI.3.d	CURVAS DE EDAD Vs. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	73

<b>CAPÍTULO</b>	<b>VII.- CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>77</b>
VII.1	MATERIALES	77
VII.2	PRUEBAS EN CONCRETO FRESCO	78
VII.3	PRUEBAS EN MORTEROS	82
VII.4	PRUEBAS ESPECIALES TENTATIVAS	82
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>83</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS</b>	<b>85</b>

## INTRODUCCIÓN

En el momento histórico actual, el acto de distribuir equitativamente el agua se ha transformado en una acción sumamente difícil, asimismo mantener el equilibrio entre demografía y disponibilidad del agua se ha transformado en una tarea intimidante por peculiar interacción entre el hombre y la naturaleza.

¿Por qué el hombre se obstina en desarrollar algunos de sus asentamientos más impresionantes en sitios donde existe poca disponibilidad de agua?

Por razones históricas, sociales, políticas y económicas, los mexicanos hemos tenido a concentrarnos en el altiplano; 65% de la población del país se ubica principalmente en regiones escasas de agua y esta indica que para el año 2000, se elevará al 76%.

Para tratar de lograr que el reparto del agua no sólo sea equitativo sino también productivo, el hombre ha apelado a los más variados recursos: obras monumentales de ingeniería (Presa Aguamilpa), intentos de ingeniería social (descentralización) o prodigios tecnológicos (obtención de agua a partir del hidrógeno del aire).

Sin embargo, estos recursos son válidos sólo en la medida en que contribuyen a solucionar el problema del hombre, pero no completan las cuestiones más agudas como:

- ¿A quién se les va a solucionar sus problemas y para qué propósitos?.
- ¿Cuál es el uso social más ventajoso del agua?.

Desde 1975 se había señalado que México tenía agua suficiente para apoyar su desarrollo siempre y cuando:

- a) Se la utilizara racionalmente. La precipitación pluvial promedio es de 410 millones de m<sup>3</sup> anuales, pero existe una desigual distribución de este vital recurso.
- b) Que se conservara la calidad del agua al nivel que tenía entonces y
- c) Aprovechar las aguas residuales para disminuir la demanda de agua limpia y contribuir a reducir la contaminación.

Sin embargo, estas metas no se han cumplido.



Es evidente que la contaminación del agua del país ha ido avanzando rápidamente, que no se han realizado acciones de la magnitud requerida y que el agua residual no se utiliza a nivel masivo.

En los consumos urbanos, el ahorro del agua es una meta importante, sobre todo si se considera que la inversión por m<sup>3</sup>/seg. para abastecer con agua en bloque a los grandes asentamientos urbano - industriales es superior a los diez millones de dólares y que se estima que en promedio, cada 100 litros entregados a las ciudades, los usuarios solamente reciben sesenta; por lo cual, el tratamiento y reutilización del agua constituirá en los próximos años la salida más viable para reducir el crecimiento de la demanda del líquido en zonas críticas de nuestro país, tal es el caso de la zona metropolitana del Valle de México.

El candidato más viable para utilizar el agua residual tratada es la industria ubicada en los grandes centros urbanos, ya que es un usuario de demanda continua, no estacional, que facilita el proceso de tratamiento y en la medida en que el agua constituye un insumo más, no se aplicaría el esquema prevaleciente de subsidio, ya que paradójicamente en nuestro país, en donde el agua constituye un recurso caro y escaso, la política de tarifas desalienta el consumo de aguas tratadas.

Ante el esquema general muy someramente descrito en párrafos anteriores, la industria del concreto premezclado como parte de la industria de la construcción, ¿qué contribución puede hacer para sumarse al programa nacional de agua limpia y rescate ecológico de las áreas en que opera?

Para contestar esta pregunta, hay que ubicarla regionalmente para definir las prioridades a resolver en cada caso, por ejemplo, la ausencia de agua potable en algunas zonas, que hace económicamente viable una planta desalinizadora.

Pero limitando a la acción dentro de una planta productora de concreto premezclado, debemos puntualizar ¿cómo? y ¿donde? se utiliza el agua, para establecer la posibilidad de sustitución de agua limpia por agua residual tratada.

La Ciudad de México enfrenta grandes problemas en materia de agua, por una parte debe desalojar grandes volúmenes de agua y por la otra debe satisfacer las necesidades de agua potable a la población en continuo crecimiento. La problemática para satisfacer este último requerimiento se complica por el crecimiento acelerado de la población la dependencia de fuentes de suministro cada vez más lejanas. esta sobre explotación de agua conduce a consecuencias tales como el hundimiento del subsuelo y el deterioro de la calidad física, química y biológica del agua en algunas zonas de la ciudad. El Gobierno del Distrito Federal, está llevando a cabo acciones que permitan reducir la sobre explotación y preservar la calidad del agua.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales se ubican en diferentes puntos de la zona Metropolitana de la Ciudad de México cuyos fines principales son para riego e industrias, por lo que se está viendo la manera de utilizarla en la elaboración de concreto hidráulico entre otras aplicaciones, para que de esta manera el agua potable se destine para el consumo humano.

Las aguas tratadas tienen una calidad similar comparativamente con las Normas correspondientes, por lo que ya se estudian los efectos que ocasionan en el concreto.

Para lo anterior, la Dependencia del Gobierno del Distrito Federal encargada de la administración del agua, se abocó al estudio de los efectos del agua tratada en el concreto premezclado, a esta tarea se unieron nueve reconocidas firmas premezcladoras y dos laboratorios de empresas igualmente prestigiadas.

En esta Tesis, se presentan los resultados de las pruebas realizadas en especímenes de concreto elaborados con agua residual tratada, siguiendo como patrón comparativo los especímenes elaborados con agua potable.

Se comienza con la descripción de los distintos tipos de aguas susceptibles de emplearse en los concretos así como los efectos nocivos que cada una de las distintas aguas pueda tener en el concreto. Se muestra la naturaleza del agua en el concreto y cómo es que trabaja en la mezcla. Posteriormente, se hace el planteamiento de los trabajos que se realizaron, así como las causas que justifican los requisitos por cumplir de las mezclas y se muestran los resultados de las muestras de concretos elaborados con los distintos tipos de aguas y finalmente las comparaciones entre los resultados obtenidos incluyendo las recomendaciones y conclusiones resultado de ésta tesis.

## I.- ANTECEDENTES

La Ciudad de México, una de las urbes más pobladas del mundo, enfrenta gran cantidad de problemas de muy diversa índole. El abastecimiento de agua potable a la ciudadanía es sin duda uno de los problemas más agudos y de más difícil solución.

El Gobierno del Distrito Federal, en su afán por optimizar el uso de tan preciado recurso, ha implementado programas que aumenten la eficiencia en el sistema hidráulico de la ciudad. Es indudable que la escasez de agua potable se incrementará en el futuro a niveles alarmantes; por lo cual, es imperativo dar prioridades en el consumo de este elemento vital, restringiendo cada vez más su uso.

Dentro de los consumidores de agua potable afectados están las empresas que se dedican a la elaboración del concreto premezclado.

Como es sabido, la elaboración de concretos demanda grandes cantidades de agua, cuya calidad debe ser la especificada, de manera que no produzca reacciones anormales que pudieran ejercer efectos dañinos en el concreto.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, se integró un comité para estudiar la influencia adversa que el agua residual tratada, empleada como agua de mezclado pueda tener en el comportamiento y en la producción de concretos. Dicho comité se integró con:

- El Área Técnica del Organismo que administra el agua en el D.F. Dos laboratorios particulares, el de una empresa contratada por el Organismo y el de una A.C. a la que pertenecen algunas empresas premezcladoras, además de los laboratorios independientes de nueve empresas premezcladoras interesadas.

El objetivo común del comité es precisamente, definir la influencia del agua tratada usada como agua de mezclado para la elaboración de concretos en la zona metropolitana de la ciudad de México.

Sin embargo, cabe destacar que las empresas premezcladoras integrantes del comité, están afiliadas en una Asociación Civil, por lo que fueron estas empresas las que aportaron mayores datos al estudio, además de ser ellas mismas las que resultan ser las beneficiarias directas por los consumo directos del agua potable o bien la residual tratada, por esta razón, la Dependencia encargada del reparto del agua, tuvo que contratar los servicios y consultoría de un laboratorio particular, que no formara parte de las empresas consumidoras, para que se integrara al

comité y conjuntamente realizara las mismas pruebas y le informara del desarrollo de los estudios a la Dependencia.

El aprovechamiento de las aguas residuales tratadas, es una actividad que se viene efectuando desde 1955, principalmente para riego de áreas verdes, termoeléctricas, compactación de terracerías y lavado de pisos industriales y automotrices, dicha actividad se ha intensificado en los años subsecuentes hasta sumar trece las instalaciones de tratamiento de aguas ubicadas en diferentes puntos de la zona metropolitana de la ciudad de México, las que son:

- 1.- **Chapultepec**
- 2.- **Ciudad Deportiva**
- 3.- **Coyoacán**
- 4.- **San Juan de Aragón**
- 5.- **Cerro de la Estrella**
- 6.- **Bosques de las Lomas**
- 7.- **Acueducto de Guadalupe**
- 8.- **Tlatelolco**
- 9.- **Rosario Azcapotzalco**
- 10.- **San Luis Tlaxialtemalco**
- 11.- **Reclusorio Sur**
- 12.- **Colegio Militar e**
- 13.- **Iztacalco**

Actualmente se aprovecha un caudal de 1951 l/seg. para contribuir al suministro total de agua al Distrito Federal, utilizandose las aguas tratadas en los procesos que no requieren la calidad potable.

Ante el constante aumento de la demanda de agua en la ciudad de México, el Departamento del Distrito Federal, estableció la meta de diversificar al máximo los usos del agua residual tratada. Estructurando para ello en 1980 un Plan Maestro de Tratamiento y Reuso.

Como resultado de esta planeación, la planta de tratamiento Cerro de la Estrella , que es la mayor del sistema de tratamiento y reuso, es uno de los proyectos más ambiciosos en lo que se refiere a la ampliación de su capacidad y el desarrollo de la tecnología requerida, con el fin de alcanzar los niveles de calidad requeridos para ampliar el uso del agua residual tratada en diferentes aplicaciones, entre los que no se descarta lograr su potabilización.

El Sistema de Tratamiento y Reuso (STR) en el Distrito Federal está comprendido por un conjunto de instalaciones equipo y personal, cuyo objetivo principal es incrementar y diversificar el aprovechamiento de las aguas residuales, previo tratamiento.

Actualmente el STR está formado por trece plantas de tratamiento de aguas residuales cuya capacidad total instalada es de entre 4.450 m<sup>3</sup>/seg. una red primaria de distribución de 119 km. aproximadamente y una red secundaria de aproximadamente 500 km.

El proceso de tratamiento de aguas residuales que utiliza la Dependencia, se efectúa mediante el proceso biológico de lodos activados, cabe hacer mención que antes de iniciar este proceso se realiza un tratamiento preliminar con el propósito de retirar el material sólido de gran tamaño y el inorgánico, como las arenas. El agua pasa a continuación por un tratamiento primario, que consiste en la separación por gravedad de la materia en suspensión y el retiro de grasas, aceites y natas, por flotación.

Posteriormente, el agua pasa a la fase de tratamiento secundario o de lodos activados que se desarrolla en un tanque de aeración, al que se inyecta aire comprimido por medio de difusores. De esta manera se suministra el oxígeno disuelto necesario para degradar la materia orgánica presente en las aguas residuales formándose agrupaciones esponjosas denominadas "Flóculos", los que constituyen los llamados lodos activados.

Por otra parte, la aeración permite mantener en suspensión a los flóculos y favorece el contacto de estos con la materia orgánica, por lo que el medio líquido existente en el tanque de aeración se le denomina licor mezclado. Posteriormente el agua pasa a la etapa de sedimentación secundaria, para separar por gravedad los lodos activados y reciclar una parte de ellos hacia el tanque de aeración con la finalidad de mantener un nivel constante de microorganismos en el proceso.

La parte restante se dispone hacia el drenaje de la planta y el sobrante clarificado se envía hacia un tanque de contacto, donde se le agrega Cloro (gas) o Hipoclorito de sodio (NaClO) para eliminar bacterias patógenas que pudieran causar problemas durante el reuso.

## II.- EL AGUA EN EL CONCRETO

### II.1 DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE AGUAS PARA CONCRETO.

Tomando como base los requisitos y determinaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM C-122- 1982<sup>(21)</sup> , a continuación se clasifican los tipos de aguas que pueden emplearse en la elaboración y curado de los concretos hidráulicos.

#### a) DEFINICIÓN

##### a.1 Aguas puras (Lluvia, deshielo de glaciares, manantiales y pozos).

Bajo un punto de vista práctico, son aquellos cuyo grado hidrométrico es inferior a 6 y cuyo pH es aproximadamente 7. En general son aguas que no tienen sustancias disueltas o las tienen en cantidad mínima y en lo particular aquellas en las que el ion calcio se encuentra en cantidades mínimas. Estas generalmente provienen de la lluvia, del deshielo de glaciares, nieve o granizado o de manantiales y pozos, de terrenos montañosos cuyas rocas son resistentes al poder disolvente del agua, tales como las profiríticas, basálticas y granitos entre otras.

##### a.2 Aguas ácidas naturales.

Son aquellas que contienen una cantidad notable de gas carbónico libre agresivo, ácido nítrico o ácidos húmicos cuyo valor pH es inferior a 6. Estas en general, son de lluvia en zonas urbanas que disuelven el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) u óxidos nítricos del aire o que provienen de turbas o pantanos que por descomposición de la materia vegetal son ricas en ácidos húmicos.

##### a.3 Aguas fuertemente salinas.

Son aquellas que tienen alta concentración de una o varias sales; tienen su origen en el alto poder disolvente de las aguas ácidas y de las puras al atravesar diferentes terrenos, estas son:

##### a.3.1 Aguas alcalinas.

Aguas con concentraciones de hidróxido de sodio del 0.5% por peso de cemento (6,000 a 10,000 ppm) no afectan la resistencia a los fraguados. Sin embargo, más altas concentraciones pueden reducir la resistencia del concreto o mortero.

El hidróxido de potasio en concentraciones por encima del 1.2% por peso del cemento (18,000 a 24, 000 ppm) tienen pequeños efectos sobre el desarrollo de resistencia de algunos cementos, y en otros la pueden reducir substancialmente.

#### **a.3.2** Aguas sulfatadas (selenitosas).

Son las que contienen gran cantidad de sulfatos alcalinos de litio, sodio, potasio, calcio o magnesio. Algunas de ellas tienen su origen en el ataque de terrenos dolomíticos y/o con yeso, por las aguas puras o las ácidas.

#### **a.3.3** Aguas cloruradas.

Son las que contienen en mayor proporción cloruros de elementos alcalinos y alcalinotérreos, se originan por la acción disolvente de las aguas puras o las ácidas que atraviesan yacimientos de Sal Gema o antiguos lechos marinos.

#### **a.3.4** Aguas magnesianas.

Son aquellas que contienen cantidades apreciables de sales solubles, de magnesio, tales como cloruros, sulfatos y principalmente bicarbonatos. Estas aguas provienen de terrenos dolomíticos que por acción del gas carbónico disuelto en el agua los hacen solubles por la transformación de los carbonatos en bicarbonatos; estos últimos cuando reaccionan con el sulfato de calcio y de magnesio forman los carbonatos correspondientes y el ácido sulfúrico.

#### **a.3.5** Agua de mar.

Estas tienen una gran cantidad de sales disueltas (aproximadamente 35,000 ppm o más), en la cual predominan el cloruro de sodio, el cloruro de magnesio, el sulfato de magnesio y el sulfato de calcio; su origen se remonta al período terciario.

#### **a.4** Aguas recicladas.

Se consideran como tales las que se usan para el lavado de unidades revolventoras de concreto y que después de un proceso incompleto de sedimentación, se emplean en la elaboración del concreto hidráulico. Estas por lo general, tienen una suspensión alto porcentaje de finos del cemento y de los agregados y sales solubles de aditivos, cuando son empleados.

#### **a.5** Aguas industriales.

Las aguas industriales provienen de los desechos de las industrias y dependiendo de su origen pueden ser ácidas, Básicas o salinas.

Las más perjudiciales para el concreto son aquellas que contienen sulfatos, sulfuros, sales amoniacas, azúcares, ácidos sulfúrico, clorhídrico, fluorhídrico, nítrico, ácido láctico, acético, fórmico u otros ácidos orgánicos y álcalis cáusticos.

#### **a.6 Aguas negras.**

Provenientes de los desagües de las poblaciones, su composición es muy compleja y varía en función de la distancia de su punto de descarga original.

Las aguas negras domésticas se recogen en las unidades de vivienda, edificios comerciales, e instituciones de la comunidad. Pueden incluir desechos de procesos industriales, así como la infiltración del agua subterránea y otros desechos líquidos.

Está compuesta principalmente del agua ya usada procedente del suministro del agua de los edificios, a los que se han unido los materiales de desecho de los baños, cocinas y lavanderías.

Las alcantarillas sanitarias llevan principalmente residuos domésticos, pueden recibir también algunos desechos industriales; pero no están diseñados para las aguas pluviales o las aguas subterráneas. de acuerdo al nivel económico y a las necesidades que se tienen en las zonas urbanas, se tienen alcantarillas pluviales, alcantarillas combinadas, registros, colectores etc.

### **b) ACCIÓN AGRESIVA DE LAS AGUAS**

La agresividad de las aguas para la elaboración y curado del concreto está en función de la ausencia de compuestos en ellas o de la presencia de substancias químicas perjudiciales disueltas o en suspensión, en concentraciones que sobrepasan determinados límites. A continuación, se describe la forma en que actúan.

#### **b.1 Aguas puras.**

Son agresivas por su acción disolvente e hidrolizante sobre los compuestos cálcicos del concreto.

#### **b.2 Aguas cálcicas naturales.**

Su acción se debe a la presencia de gas carbónico libre ( $\text{CO}_2$ ) y ácidos húmicos que disuelven rápidamente los compuestos del cemento, de los agregados calizos y del cemento.

#### **b.3 Aguas fuertemente salinas.**



Cuando estas aguas contienen fuerte concentración de ciertas sales, estas propician que otras muy agresivas se vuelvan más solubles antes de la saturación.

Como aguas de mezclado, su acción sobre la cal es la que interrumpe las reacciones de fraguado del cemento y cuando se emplean para curado, pueden ejercer una acción disolvente sobre los componentes cálcicos del concreto.

#### **b.3.1 Aguas alcalinas.**

Estas producen la hidratación alcalina de ciertos compuestos del cemento por los cationes alcalinos y pueden ser nocivas para toda una gama de cementos diferentes al aluminoso, los cuales sufren un ataque corrosivo con aguas de esta naturaleza, ya que los cationes alcalinos tienen una acción sobre los aluminatos cálcicos hidratados y sobre los iones de calcio.

#### **b.3.2 Aguas sulfatadas (Selenitosas).**

Estas aguas pueden considerarse muy agresivas, en lo particular para los cementos ricos en cal total y aluminato tricálcico y en lo general para aquellos concretos o morteros fabricados con cementos de reacción básica tales como los portland. En general, estas aguas propician la formación de una sal doble fuertemente hidratada, conocida como Sal de Candlot, que es un sulfuro aluminato tricálcico bajo una forma pulvurulenta y expansiva.

#### **b.3.3 Aguas cloruradas.**

Estas aguas deben considerarse agresivas puesto que la solubilidad de la cal y el yeso en ellas es mayor que en las aguas puras y en particular, este efecto se incrementa fuertemente en las aguas cloruradas que con la presencia de cloruros alcalinos favorecen la solubilidad de varias sales agresivas. Por otra parte, en determinadas concentraciones pueden ejercer una acción disolvente sobre los componentes del cemento y del concreto y su agresividad es aún mayor en el caso del concreto armado, porque favorecen el intercambio iónico entre las moléculas de oxígeno del aire con las del acero de refuerzo produciéndole corrosión.

#### **b.3.4 Aguas magnesianas.**

Las aguas magnesianas que contienen sulfato de magnesio, son las más agresivas por la gran solubilidad de este y su tendencia a fijar la cal formando hidróxido de magnesio y yeso insoluble.

Cuando el sulfato de magnesio se encuentra disuelto en el agua de mezclado en fuertes dosis, su acción sobre la cal es la que interrumpe el fraguado y esta acción es mayor en el caso de los cementos portland con alto contenido de aluminato tricálcico.

**b.3.5** La acción de las aguas de mar es muy compleja, se parece al de las aguas selenitosas naturales y aunque su contenido de sulfatos es superior al de estos últimos, su proceso de ataque es lento y menos agresivo debido a la acumulación superficial de calcita, formada por la reacción de la cal del cemento con el bicarbonato de calcio que contiene el agua de mar.

Por otra parte, el sulfato de calcio no está en el estado de saturación debido a la presencia de otros sulfatos tales como el de magnesio, que forma un depósito de magnesio insoluble en los poros del concreto, también contribuye a disminuir su agresividad, la acción inhibitoria no despreciable de los cloruros sobre el ataque de los sulfatos. Sin embargo, el empleo del agua de mar en los concretos simples produce fluorescencias y en el concreto reforzado o presforzado aumenta el peligro de la corrosión del acero, por lo que no debe usarse para estos fines.

#### **b.4** Aguas recicladas.

El Agua reciclada puede ser agresiva si contiene sulfatos, cloruros y álcalis en concentraciones considerables. Por otra parte, si tienen gran cantidad de sólidos en suspensión y si estos no son tomados en consideración, el concreto puede acusar los efectos propios del exceso de finos.

#### **b.5** Aguas industriales.

Las aguas residuales de las instalaciones industriales (industria química), generalmente son perjudiciales para el concreto ya que contienen iones sulfatos ( $\text{SO}_4$ ), ácidos orgánicos que son los que atacan a todos los tipos de cemento, de éstos, los más resistentes son los que prácticamente no contienen cal libre o no tienen posibilidad de liberarla, tales como: los aluminosos, los puzolánicos y los de escoria de alto horno con bajo contenido de clinker.

#### **b.6** Aguas negras.

Dada la complejidad de la composición de las aguas negras no es recomendable el uso de ellas, ya que sus efectos son impredecibles. Las aguas negras domésticas en general, contienen menos del 0.1% de materias sólidas. Gran parte del flujo luce como el afluyente del baño de la lavandería y flotando por encima basuras de todo tipo incluyendo las orgánicas. Pasadas unas horas, a temperatura por encima de  $5^\circ\text{C}$ , las aguas negras se vuelven rancias y más tarde pueden volverse sépticas, predominando a menudo los olores del ácido

sulfhídrico y otros compuestos de azufre. Mientras más compuestos putrescibles haya en las aguas negras, mayor será su concentración o fuerza. En general, la fuerza variará con la cantidad de materia orgánica, consumo de agua per capita y la cantidad de desperdicios industriales.

El contenido orgánico de las aguas negras puede clasificarse como nitrogenado y no nitrogenado. Los principales compuestos nitrogenados incluyen proteínas, urea, aminas y aminoácidos..

Los principales compuestos no nitrogenados incluyen jabones y detergentes, grasas y carbohidratos.

## **II.2 NATURALEZA DEL AGUA EN EL CONCRETO**

Debido a que el agua ocupa un papel preponderante en las reacciones del cemento durante el estado plástico, el proceso de fraguado y el estado endurecido de un concreto o mortero, es importante dar una visión generalizada acerca de las características que debe tener este vital elemento de la naturaleza desde el punto de vista de la tecnología del concreto.

El agua se puede definir como aquel componente del concreto en virtud del cual, el concreto experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. Para ello, se clasifican en agua de mezclado y agua de curado.

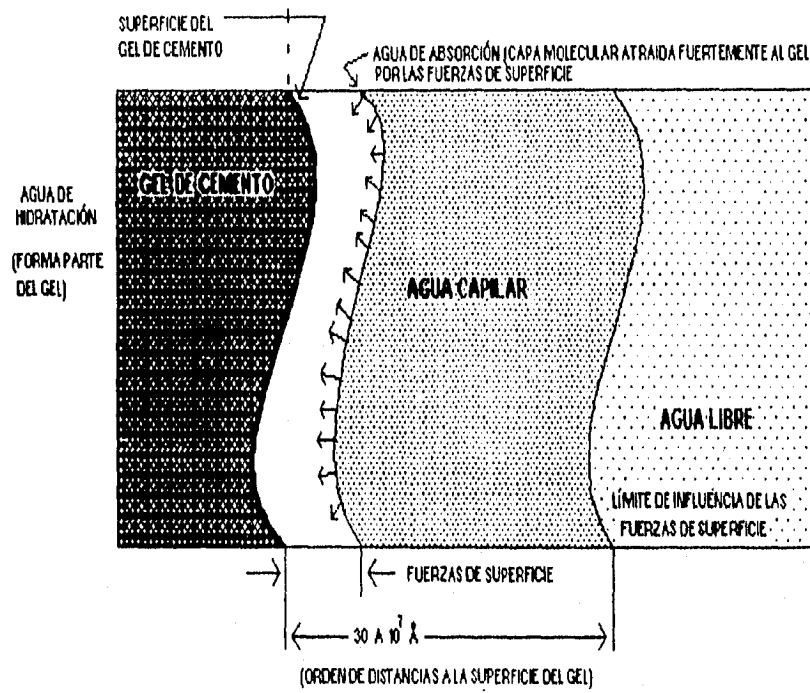
### **a) AGUA DE MEZCLADO**

El agua de mezclado, se define como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentre en estado plástico.

La pasta de cemento, es una mezcla plástica de cemento y agua que va adquiriendo nueva estructura conforme se produce la hidratación del cemento. Esta nueva estructura es la formación del llamado gel del cemento y la redistribución del agua dentro de la pasta. En una porción de pasta hidratada, el agua se encuentra en dos formas básicas a saber: agua de hidratación (no evaporable) y agua evaporable, Figura No. 1.

FIGURA No 1

ESQUEMA DE LA UBICACIÓN DEL AGUA EN LA PASTA  
DEL CEMENTO HIDRATADO



#### **a.1** Agua de hidratación

El agua de hidratación es aquella parte de agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase sólida del gel. Es también llamada no evaporable porque en una porción de pasta hidratada se conserva a 0% de humedad del ambiente y 110 °C de temperatura.

#### **a.2** Agua evaporable.

El agua restante que existe en la pasta, es agua que puede evaporarse a 0% de humedad relativa del ambiente y 110 °C de temperatura, pero no se encuentra libre en su totalidad. El gel de cemento cuya característica sobresaliente es un enorme desarrollo superficial interno, ejerce atracción molecular sobre una parte del agua evaporable y la mantiene atraída. En la figura No. 1 se puede observar que el agua evaporable puede estar en tres condiciones distintas, de acuerdo con su proximidad a la superficie del gel, agua de absorción, agua capilar y agua libre.

#### **a.3** Agua de absorción.

Es una capa molecular de agua, que se halla fuertemente adherida a las superficies del gel por fuerzas intermoleculares, de atracción. El agua absorbida, cuyas distancias con respecto a la superficie del gel están en el intervalo de 0 a 30 Å ( un Angstrom, Å=0.0000001 mm), es llamada también "agua activa" por su influencia en el comportamiento del concreto bajo carga.

#### **a.4** Agua capilar.

Es el agua que ocupa los poros capilares de la pasta, a distancias que suelen estar comprendidas en el intervalo de 30 a  $10^7$  Å, de manera que parte de ella está sujeta aunque débilmente, a la influencia de las fuerzas de tensión en la superficie del gel.

#### **a.5** Agua libre.

Es la que se encuentra fuera de la influencia de las fuerzas de superficie, de tal modo que tiene completa movilidad y puede evaporarse con facilidad.

Con cierta aproximación, la porción de agua no evaporable que existe en la pasta, puede ser una medida del grado de hidratación que ha alcanzado. Durante el proceso de hidratación de los granos de cemento, se produce una especie de desplazamiento de agua del exterior al interior de estos. Ya que lo primero que se hidrata es la superficie, formándose en la periferia de cada grano una estructura hidratada o gel. Para que la hidratación continúe hacia el núcleo de los granos, es necesaria la aportación de agua que se obtiene de los poros capilares y que a su

vez es respuesta por una parte, del agua libre. Mientras permanece vigente este suministro de agua, la hidratación del grano puede continuar hasta el final, suspendiéndose en el momento que dicho suministro se interrumpe.

El agua que el cemento necesita para su completa hidratación, representa como término medio aproximado, un 23 % de su peso, es decir:

$$\text{Agua de hidratación (en kg.) / Cemento (kg.)} = 0.23$$

Aunque las relaciones (agua / cemento) que suelen emplearse en las mezclas de concreto exceden este valor por mucho, esta situación no representa por sí misma una garantía de suministro permanente de agua para la total hidratación del cemento, sin tener que recurrir a una fuente de suministro adicional del exterior. Esto es lo que se conoce como agua de curado.

#### **b) AGUA DE CURADO**

El curado del concreto puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el concreto alcance sus propiedades potenciales. Estas condiciones se refieren básicamente a la humedad y la temperatura.

Por lo tanto, el agua de curado constituye el suministro adicional de agua para hidratar eficientemente el cemento. En primer lugar, este suministro adicional depende de la humedad del ambiente, ya que la evaporación del agua libre de la pasta ocurre con tanta mayor rapidez cuanto menor es la humedad relativa del ambiente.

En segundo lugar, el agua y el cemento al mezclarse ocupan un espacio inicial que permanece constante y que tiende a ser llenado gradualmente por los productos de hidratación (gel). Como estos desarrollan un volumen que es dos veces mayor que el del cemento original, resulta que con relaciones agua / cemento demasiado bajas, puede no haber espacio suficiente en la pasta para acomodar todo el gel potencialmente desarrollable y la completa hidratación del cemento no llega a producirse por esta limitación.

En tercer lugar, químicamente el agua combinada con el cemento (agua no evaporable) tiene una densidad mayor que el agua capilar, esto significa que, en un momento dado, puede ser mayor el espacio que ha dejado libre en los poros capilares, que aquel con el que ha contribuido a formar el gel. Si no existe aportación de agua exterior para suplir este déficit, la hidratación se vuelve más lenta e incluso se detiene.

En resumen, al mezclarse el agua con el cemento se produce una pasta que puede ser más o menos fluida, según la cantidad de agua que se adicione.

Al endurecerse la pasta, como consecuencia del fraguado, parte del agua queda fija en la estructura rígida de la pasta y el resto queda como agua libre.

Si la cantidad de agua de mezclado se aumenta, la parte que de ella queda fija en la estructura rígida de la pasta es la misma y por consiguiente, el resto que queda como agua libre aumenta, con lo cual aumenta la porosidad ya que con el tiempo, esta agua libre se evapora y queda en el interior del concreto endurecido, un conjunto de pequeños conductos que se llenan de aire. Como esto aumenta la porosidad, la pasta pierde resistencia y el concreto se hace más permeable. de ahí el hecho de que deba hacerse un estricto control sobre el agua de mezclado en el momento de dosificarla.

### **c) CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL AGUA DE MEZCLADO**

Por lo general, se recomienda que el agua sea potable y que no tenga un pronunciado olor o sabor, para que pueda usarse en mezclas de concreto o mortero. Sin embargo, esto no es rigurosamente cierto, debido a que dentro del agua potable se pueden encontrar disueltas en altas concentraciones, sales (cloruros), ácidos, o azúcares entre otros, que pueden ser perjudiciales para el concreto o mortero.

Por otra parte, el agua que es buena para el concreto no necesariamente es potable o buena para beber.

Para verificar la calidad del agua, se acostumbra hacer un ensayo de relación de resistencias sobre cubos de mortero a 7 y 28 días de edad, de manera que se considera que el agua es apta para el concreto si la resistencia de los cubos hechos con el agua cuestionada no es inferior al 90 % de la resistencia de los cubos testigo elaborados con agua destilada.

Los cubos de mortero, deben ser hechos de acuerdo a las especificaciones de las Normas ASTM.

Adicionalmente, el ensayo de la aguja de Vicat descrito en las normas ASTM, pueden dar indicios de impurezas en el agua, que eventualmente afecten de manera adversa los tiempos de fraguado del cemento. Un exceso de impurezas en el agua de mezclado pueden causar además, manchas (eflorescencias), o corrosión en el acero de refuerzo de un concreto, por ello, se deben especificar ciertos límites de cloruro, sulfatos, álcalis y sólidos dentro del agua de mezclado.

Puesto que no es deseable introducir grandes cantidades de sólidos disueltos en el concreto, se ha comprobado que las aguas que contengan menos de 3,500



partes por millón (ppm) de sólidos disueltos, generalmente son satisfactorias para hacer concreto.

Aguas que contengan más de 2,000 ppm de sólidos disueltos deben ser ensayadas para determinar sus efectos sobre la resistencia y en el fraguado en un concreto.

Un resumen de los efectos de ciertas impurezas en el agua de mezclado sobre la calidad del concreto se explican a continuación.

#### c.1 Carbonatos y bicarbonatos alcalinos.

Los carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio tienen diferentes efectos sobre los tiempos de fraguado de los distintos cementos.

El carbonato de sodio, puede causar muy rápidos fraguados, los bicarbonatos pueden también acelerar o retardar el fraguado.

En altas concentraciones estas sales pueden reducir la resistencia del concreto.

Cuando la suma de estas sales disueltas excedan de 1,000 ppm, se deben realizar los ensayos sobre sus efectos en los tiempos de fraguado y relación de resistencia a los 28 días de edad.

#### c.2 Cloruros y sulfatos.

Un alto contenido de cloruros en el agua de mezclado, puede generar corrosión en el acero de un concreto reforzado o en los cables de tensión de un concreto presforzado, debido a que el ion cloro ataca la película de óxido que se forma en el acero.

Como los cloruros se pueden introducir al concreto dentro de cada uno de sus componentes por separado (cemento, agregados, agua de mezclado), dependen de la permeabilidad y nivel de exposición del concreto y del nivel de contribución del agua de mezclado en el contenido total de cloruros.

Un alto contenido de sólidos disueltos dentro del agua, generalmente representa altos contenidos de cloruro de sodio o sulfato de sodio.

Concentraciones de 3,500 ppm de cloruro de sodio, son generalmente tolerables en concretos que estarán secos y con bajo potencial de reacciones corrosivas durante su vida útil. por el contrario, el agua usada en concreto presforzado no debe presentar concentraciones de ion cloro superiores a 500 ppm para el caso de concretos con elementos de aluminio embebido o galvanizados u otros concretos expuestos a humedad ambiente, el agua no debe presentar concentraciones superiores a 1,000 ppm de ion cloro.

Finalmente, el agua de mezclado que contenga hasta 10,000 ppm del sulfato de sodio puede ser usada satisfactoriamente, si los sulfatos se presentan como  $SO_4$ , aunque su cantidad está limitada a 3,000 ppm.

### c.3 Otras sales comunes.

Puesto que el carbonato de magnesio es bastante más soluble que el carbonato de calcio, rara vez es un componente principal en las incrustaciones. Sin embargo, debe eliminarse junto con el calcio cuando se requiere agua blanda para alimentación de calderas o para otros procesos. Puede eliminarse mediante el ablandamiento con cal hasta un residuo de 30 - 50 mg / l como  $\text{CaCO}_3$  en frío, ó 1 - 2 mg / l como  $\text{CaCO}_3$ .

Sin embargo, concentraciones superiores a 400 ppm del ion bicarbonato en cualquiera de estas formas son considerados dañinos en la elaboración de concretos.

Los sulfatos y los cloruros de magnesio, pueden estar presentes en altas concentraciones sin causar efectos dañinos en la resistencia. Buenas resistencias se han obtenido con concentraciones hasta de 40,000 ppm de cloruro de magnesio. Las concentraciones de sulfatos de magnesio deben ser menores de 25,000 ppm. El cloruro de calcio, es algunas veces utilizado en concreto que no es presforzado en cantidades hasta de 2% del peso de cemento para acelerar el endurecimiento y la resistencia temprana del concreto.

### c.4 Sales de hierro.

Las aguas naturales, rara vez contienen más de 20 a 30 ppm de hierro; sin embargo, algunas aguas ácidas pueden tener grandes cantidades.

Las aguas de hierro en concentraciones hasta de 40,000 ppm usualmente no presentan efectos adversos en la resistencia de un concreto sin acero de refuerzo o un mortero.

### c.5 Sales inorgánicas.

Las sales de manganeso, estaño, zinc, cobre y plomo en el agua de mezclado pueden causar reducciones significativas en la resistencia y grandes variaciones en los tiempos de fraguado. De estas, las sales de zinc, cobre y plomo son muy activas. Otras sales que son bastante activas como retardantes del fraguado incluyen los yodatos, fosfatos, arsenatos, y boratos de sodio.

Todas pueden retardar los tiempos de fraguado y afectar el desarrollo de resistencia cuando se presentan en concentraciones por encima del 10% del peso del cemento. Generalmente, concentraciones de estas sales hasta 500 ppm pueden ser toleradas en el agua de mezclado.

Otra sal que puede deteriorar el concreto es el sulfito de sodio, el cual se limita a 100 ppm.

#### c.6 Aguas ácidas.

La aceptación del agua de mezclado ácida, debe ser basada en la concentración (ppm) de ácidos en el agua. Ocasionalmente su aceptación es basada en el pH, el cual es una medida de la concentración del ion hidrógeno.

El valor del pH es índice de una intensidad (por debajo de 7.0 indica acidez y por encima de 7.0 alcalinidad) pero no es buena medida del potencial, ácido o básico de reacción del agua. Empero, algunas normas como la del Cuerpo de Ingenieros de los USA, estipula un valor de pH entre 6.0 y 8.0 .

Generalmente, aguas de mezclado que contienen ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones tan altas como 10,000 ppm no tienen efectos adversos en la resistencia del concreto sin acero de refuerzo.

Las aguas ácidas con valores de pH por debajo de 3.0 pueden crear problemas de manejo y deben ser evitadas.

#### c.7 Aguas alcalinas.

Aguas con concentraciones de hidróxido de sodio al 0.5% por peso de cemento (6,000 a 10,000 ppm) no afectan la resistencia o los fraguados. sin embargo, más altas concentraciones pueden reducir la resistencia substancialmente.

#### c.8 Aguas con azúcar.

El azúcar en pequeñas cantidades como 0.03% a 0.15% por peso de cemento, generalmente retarda el fraguado del cemento; de acuerdo al tipo de cemento la resistencia a los 7 días de edad se puede reducir mientras que la de 28 días puede mejorar.

Cuando la cantidad de azúcar se incrementa a un 0.20% por peso del cemento, el fraguado generalmente se acelera y si la cantidad es de 0.25% o más por peso del cemento, puede causar un fraguado rápido y una substancial reducción de resistencia a los 28 días de edad.

Menos de 500 ppm de azúcar en el agua de mezclado, generalmente no afecta la resistencia del concreto, pero si la concentración excede este límite, deben ser efectuados los ensayos de tiempo de fraguado y relación de resistencia.

#### c.9 Partículas en suspensión.

Cerca de 2,000 ppm de partículas de arcilla o limos suspendidos, requerirán una sedimentación previa en forma mínima para ser tolerables como agua de mezclado:

Cantidades más altas pueden no afectar la resistencia pero si influir en otras propiedades de algunas mezclas de concreto.

#### **c.10 Agua con aceites.**

Varias clases de aceites están ocasionalmente presentes en el agua de mezclado. El aceite mineral (petróleo) por si solo, tiene menos efectos sobre el desarrollo de resistencia del concreto que los aceites animales o vegetales. sin embargo, el aceite mineral en concentraciones superiores al 2% por peso del cemento, puede reducir la resistencia del concreto tanto como un 20% o más.

#### **c.11 Agua con algas.**

El agua que contiene algas, no es recomendable para hacer concreto debido a que la presencia de estas producen inclusión de aire, con una consecuente pérdida de resistencia y además puede afectar la hidratación del cemento.

#### **c.12 Aguas negras.**

Un agua negra típica, contiene cerca de 400 ppm de materia orgánica expresada como **DQO**.

Después de que esta agua ha sido eficientemente tratada, su concentración se puede reducir a cerca de 50 ppm o menos. esta cantidad es tan pequeña que no tiene un efecto significativo sobre la resistencia del concreto. De otra manera, en ningún caso se debe emplear agua con un contenido de materia orgánica mayor.

#### **c.13 Agua de mar.**

El agua de mar que tiene una salinidad total hasta 3.5% (35,000 ppm), es generalmente recomendada para concreto no reforzado. No obstante, el concreto hecho con agua de mar produce una pérdida de resistencia a largo plazo; usualmente la pérdida de resistencia no es mayor de un 15%.

En el caso de concreto reforzado, el riesgo de corrosión del acero se incrementa, especialmente en países tropicales como el nuestro, por lo cual no se considera recomendable el uso del agua de mar en el mezclado, a menos que sea inevitable. En tal caso se deben hacer las pruebas respectivas. En concretos presforzados, no se permite el uso de agua de mar debido a que la pequeña sección transversal de los cables del presfuerzo hace que los efectos de la corrosión sean relativamente más graves.

#### d) CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE CURADO

Con respecto al agua de curado, el agua que es satisfactoria para el mezclado, también lo es para el curado. pero hay que tener cuidado, ya que la materia orgánica o ferrosa pueden causar manchas, particularmente si el agua fluye lentamente sobre el concreto y se evapora rápidamente.

#### e) ESPECIFICACIONES Y CALIDAD DEL AGUA

De acuerdo con anterior, en la tabla No. 1, se presenta un resumen de las tolerancias máximas de concentraciones de impurezas en el agua de mezclado de concretos o morteros.

Algunos de los ensayos normalmente especificados para análisis del agua son los siguientes.

Calcio y Magnesio en el agua:	Norma	ASTM D-511 <sup>(43)</sup>
Cloruros, con ión cloro:	Norma	ASTM D-512 <sup>(44)</sup>
Sulfatos, con SO <sub>4</sub> :	Norma	ASTM D-516 <sup>(45)</sup>
pH del Agua:	Norma	ASTM D-1293 <sup>(48)</sup>
Acidez y Alcalinidad del Agua:	Norma	ASTM D-1067 <sup>(46)</sup>
Definición de términos relativos al agua:	Norma	ASTM D-1129 <sup>(47)</sup>
Partículas y Materia disuelta en el agua:	Norma	ASTM D-1888 <sup>(49)</sup>

TABLA No 1

**TOLERANCIAS DE CONCENTRACIONES DE IMPUREZAS  
EN EL USO DE AGUA PARA MEZCLAS**

IMPUREZAS	MÁXIMA CONCENTRACIÓN TOLERADA ASTM (*)	CEMENTOS	
		RICOS EN CALCIO	SULFATO RESISTENTE
Carbonato de sodio y potasio	1000 ppm	N	N
Cloruro de sodio	20000 ppm	N	N
Cloruro, como Cl (concreto preesforzado)	500 ppm	400 (c)	600 (c)
Cloruro, como Cl (concreto húmedo o con elementos de Aluminio, melales, similares galvanizados)	1000 ppm	700 (c)	1000 (c)
Sulfato de sodio	10000 ppm	N	N
Sulfato, como SO <sub>4</sub>	3000 ppm	3000	3500
Carbonatos de calcio y magnesio, como ión bicarbonato	400 ppm	600	600
Cloruro de magnesio	40000 ppm	N	N
Sulfato de magnesio	25000 ppm	N	N
Cloruro de calcio (por peso de cemento en concreto)	2%	N	N
Sales de hierro	40000 ppm	N	N
Yodato, arsenato, fosfato y borato de sodio	500 ppm	N	N
Sulfato de sodio	100 ppm	N	N
pH	6.0 a 8.0	No menor de 6	No menor de 6.5
Hidróxido de sodio (por peso de cemento en concreto)	0.50%	N	N
Hidróxido de potasio (por peso de cemento en concreto)	1.20%	N	N
Azúcar	500 ppm	N	N
Acete mineral (por peso de cemento en concreto)	2%	N	N
Agua con algas	0	N	N
Materia orgánica	20 ppm	150 (b)	150 (b)
Agua de mar (contenido total de sales para concreto no reforzado)	35000 ppm	N	N
Agua de mar (para concreto reforzado o preesforzado)	No Recomendable	N	N
Alcalis totales como Na <sup>+</sup>		300	450
Dióxido de carbono disuelto CO <sub>2</sub>		5	3
Sólidos en suspensión en agua natural	2000 ppm	2000	2000
Sólidos en suspensión en agua reciclada		50000	35000
Magnesio como Mg <sup>++</sup>		100	150
Total de impurezas en solución		3500	4000

- Notas
- a) - Las aguas que excedan de los límites enlistados para cloruros, sulfatos y magnesio, podrán emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla incluyendo el agua de absorción de los agregados u otros orígenes, no excede dichos límites
  - b) - El agua se puede usar siempre y cuando las arenas que se empleen en el concreto acusen un contenido de materia orgánica cuya coloración sea inferior a 2 de acuerdo con el método de la Norma C 88
  - c) - Cuando se use cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) como aditivo acelerante, la cantidad de este debe tomarse en cuenta para no exceder el límite de cloruros de esta tabla

Por otra parte, los criterios de aceptación del agua con respecto a los tiempos de fraguado y a la resistencia del concreto se dan en la tabla No. 2.

TABLA No. 2

**CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE UN AGUA CUESTIONABLE  
PARA CONCRETO O MORTERO**

ENSAYO	LÍMITES	NORMA
Desviación de los tiempos de fraguado con respecto al testigo ( hr : min ).	± 45 minutos	Metro 1987
Resistencia mínima a los 7 días de edad con respecto al testigo ( % ).	90%	ASTM

### III. PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS

#### III.1 PLANTEAMIENTO

Para evaluar el efecto de la utilización de las **Aguas Residuales Tratadas en la Elaboración de los Concretos** (7), se planteó desarrollar un programa para la ejecución de las pruebas de laboratorio.

Las pruebas se llevaron a cabo con el objeto de obtener los datos y resultados que definieran el tipo de comportamiento que las aguas tratadas le ocasionan al concreto.

El planteamiento de utilización de materiales, diseños y pruebas para los concretos y morteros se describe a continuación:

##### a) MATERIALES A EMPLEAR

**a.1** Cemento Tipo I, de la marca Tolteca, se eligió por ser el de mayor uso común comercialmente disponible en la zona metropolitana.

**a.2** Agregados: Los agregados propuestos a emplear se refieren a los utilizados en la zona metropolitana.

Grava de una Mina del Valle de Texcoco: del tipo de grava semi triturada, clasificación petrográfica andesita; color azul.

Arena de una Mina del Valle de Texcoco: tipo de arena Natural; clasificación petrográfica andesita; color gris.

**a.3** Agua para los concretos: Para obtener las muestras de Agua Residual Tratada, de las plantas e instalaciones del Sistema de Tratamiento y Reuso, de las que se obtienen estas Aguas Residuales Tratadas, se seleccionaron tres de las trece plantas existentes. (39)

PLANTAS EXISTENTES	PLANTAS SELECCIONADAS
1.- Chapultepec	
2.- Ciudad Deportiva	Ciudad Deportiva W <sub>3</sub>
3.- Coyoacán	
4.- San Juan de Aragón	San Juan de Aragón W <sub>4</sub>



- |                              |                      |                |
|------------------------------|----------------------|----------------|
| 5.- Cerro de la Estrella     | Cerro de la Estrella | W <sub>2</sub> |
| 6.- Bosques de las Lomas     |                      |                |
| 7.- Acueducto de Guadalupe   |                      |                |
| 8.- Tlatelolco               |                      |                |
| 9.- Rosario Azcapotzalco     |                      |                |
| 10.- San Luis Tlaxialtemalco |                      |                |
| 11.- Reclusorio Sur          |                      |                |
| 12.- Colegio Militar e       |                      |                |
| 13.- Iztacalco               |                      |                |

Las tres plantas (Deportiva, Aragón y Cerro de la Estrella) se eligieron tomando en cuenta su mayor capacidad de gasto y menor nivel de contaminación. Cabe señalar que la calidad del agua residual tratada con respecto a sus valores obtenidos, no satisfizo los requisitos en cuanto a aceites y grasas, comparativamente con los reglamentos de las normas vigentes, resultados presentados al inicio de actividades (Tabla No. 3). Adicionalmente y como Muestra Testigo, se consideró Agua Potable proveniente de la zona de Mixcoac, específicamente del domicilio de una empresa premezcladora.

Se escogió la zona de Mixcoac porque en ella existe una fuerte densidad de empresas premezcladoras.

TABLA No. 3

**CALIDAD DE LOS EFLUENTES EN ( PTAR )**  
**PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

MEDIA ARITMÉTICA DEL PERÍODO OCTUBRE - DICIEMBRE 1989.

PARÁMETROS	C. ESTRELLA	CD. DEPORTIVA	ARAGÓN	C.R. CAL	C.S.R.
				NOM C - 122 - 1981 (21)	
Sólidos en suspensión aguas naturales Limos, Arcillas	8.14	23.50	24.00	2000	2000
Sólidos en suspensión aguas recicladas, cemento y agregados	8.14	23.50	24.00	50000	35000
Cloruros para concreto, con acero de presfuerzo y puentes	53.30	185.00	80.50	400	600
Cloruros para otros concretos reforzados en ambiente húmedo o en contacto con metales	53.30	185.00	80.50	700	1000
Sulfatos (*)	71.00	91.00	118.00	3000	3500
Magnesio	20.40	30.10	18.25	100	150
Carbonatos y bicarbonatos sólidos, expresados como CO3	144.00	402.80	287.50	600	600
Óxido de carbono disuelto, como CO2	N	N	5.40	5	3
Alcalis totales como Na+	80.10	222.10	136.80	300	450
Total de impurezas en solución	509.30	958.00	654.80	3500	4000
Grasas y aceites mg / litro	5.75	8.50	22.40	0	0
O.C.M.A. (Materia orgánica *)	7.50	11.70	22.50	150	150
pH	7.60	7.70	7.99	> 6	> 6.5

C.R. CAL.- Cementos ricos en cal  
 C.S.R. - Cementos sulfato resistentes  
 No cumple con las especificaciones, valores máximos

(\*) VALOR PUNTUAL DEL 22 DE FEBRERO DE 1990.

TABLA No. 3a

**CALIDAD DE LOS EFLUENTES PTAR**

SITIO DE MUESTREO:

EFLUENTES DE LAS PTAR OCTUBRE A DICIEMBRE DE 1989 (MEDIA ARITMÉTICA)

PLANTAS	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN	CLORUROS	SULFATOS	MAGNESIO	CARBONATOS Y BICARBONATOS ALCALINOS	DIOXIDO DE CARBONO DISUELTOS	SODIO	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	GRASAS Y ACEITES	OCMA	pH
	mg / l ( Miligramos por Litro )										
EL ROSARIO	8.40	60.40	56.00	23.40	253	6.67	114.30	618.10	15.00	8.40	7.90
SAN JUAN DE ARAGÓN	24.00	80.50	118.00	18.30	267	5.87	136.80	854.80	22.40	22.50	7.90
COYOACAN	10.00	65.00	65.00	18.10	169	5.99	75.10	487.00	70.30	8.50	7.30
CD. DEPORTIVA	23.50	185.00	91.00	30.10	403	16.08	222.10	958.00	8.50	11.70	7.70
ACUEDUCTO DE GPE.	13.70	111.30	100.00	31.90	390	8.36	162.20	868.60	129.00	6.80	6.00
CERRO DE LA ESTRELLA	8.10	53.30	71.00	20.40	144	7.23	84.10	509.30	5.70	7.50	7.60
CHAPULTEPEC	7.20	31.00	40.00	8.10	126	7.97	49.90	334.60	6.80	5.70	7.50
BOSQUES DE LAS LOMAS		32.50	35.00	8.20	144	9.11	54.60		7.60	13.70	7.50
TLATELOLCO			62.00							6.80	
AGUAS NATURALES											
C. RICOS EN CAL	2000										
C. SULFATORESISTENTE	2000										
AGUAS RECICLADAS											
C. RICOS EN CAL	50000										
C. SULFATORESISTENTE	35000										
C. RICOS EN CAL		400 700	3000	100	600	5	300	3500	0	150	> 6
C. SULFATORESISTENTE		600 1000	3500	150	600	3	450	4000	0	150	> 6.5

OCMA = Oxígeno Consumido en Medio Ácido

## b) DISEÑOS PROPUESTOS

Para el diseño de las proporciones de las mezclas de concreto, se tomaron como base las consideraciones Técnicas del ACI - 211.1-81 PRÁCTICA PARA DOSIFICAR CONCRETO NORMAL, CONCRETO PESADO Y CONCRETO MASIVO <sup>(2)</sup>.

Obviamente considerando las propiedades de los agregados de la mina de Texcoco. Así mismo, como características determinantes para las mezclas siguientes:

Agua: El agua potable testigo (  $W_1$  ) se calcularía de tal manera que se mantuviera una consistencia medida por el revenimiento de 14 cm. con tolerancia de,  $\pm$  ( más menos ) 1 cm. y sin la inclusión de ningún tipo aditivo.

El agua potable testigo se mantuvo constante y sólo se varió la cantidad de Agua Residual Tratada de las tres plantas de tratamiento ( Aragón  $W_4$  , Deportiva  $W_3$  y Cerro de la Estrella  $W_2$  ) que fue agregada para obtener la consistencia mencionada.

Resistencia: Para calcular el efecto de la cantidad de agua adicionada a las proporciones de las mezclas; en el diseño se varió la cantidad de cemento aumentándolo en 75 kg. /  $m^3$ , hasta llegar a los 450 kg. /  $m^3$ , es decir, las cantidades de cemento analizadas por cada mezcla de muestra son: 150, 225, 300, 375 y 450 kg. /  $m^3$ .

que equivalen a resistencias de proyecto estimadas del orden de los 100, 150, 250, 300 y 350 kg. /  $cm^2$  respectivamente.

## c) PRUEBAS

Con respecto a las pruebas de laboratorio se eligieron las siguientes:

EN MORTEROS:	Tiempos de fraguado Vicat	(NOM C - 59) <sup>(11)</sup>
	Resistencia a la compresión en cubos	(NOM C - 61) <sup>(12)</sup>
	Barra para prueba de expansión	(NOM C - 173) <sup>(34)</sup>
EN CONCRETO FRESCO:	Revenimiento	(NOM C - 156) <sup>(24)</sup>
	Peso Volumétrico	(NOM C - 162) <sup>(30)</sup>
CONCRETO ENDURECIDO:	Resistencia a la compresión a 7, 28, 90 y 365 días	(NOM C - 83) <sup>(17)</sup>
	Módulo de elasticidad a 28 y 365 días	(NOM C - 128) <sup>(22)</sup>
	Barras para análisis por ultrasonido	(ASTM C 215) <sup>(42)</sup>

### III.2 JUSTIFICACIÓN ( REQUISITOS POR CUMPLIR )

#### **NORMA C - 122 <sup>(21)</sup>**

Las especificaciones de la Norma NOM C - 122 - 1982, Establece que las aguas para emplearse en la elaboración y curado del concreto hidráulico, excluyendo el agua de mar, debe cumplir con los requisitos que aparecen en la Tabla No. 1 del capítulo II. Además, señala que el agua cuyo análisis muestre que se excede alguno o algunos límites de dicha Tabla, se puede utilizar si se demuestra que en concretos de características semejantes elaborados con esa agua han causado un comportamiento satisfactorio a través del tiempo en condiciones similares de exposición. Por otro lado, también se anota que cuando se sospeche que la interacción de los componentes de los ingredientes del concreto (agua, cemento, agregados, aditivos) puede producir resultados adversos, se deben hacer los estudios y pruebas que se estimen necesarios, con la debida anticipación.

#### **REGLAMENTO DE CONSTRUCCIÓN D.D.F. <sup>(6)</sup>**

El reglamento de Construcción del D.D.F., a través de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, de Noviembre de 1987, señala al respecto que el agua de mezclado deberá ser limpia y cumplir con los requisitos de la norma NOM C - 122. <sup>(21)</sup>

Si contiene sustancias en solución o en suspensión que la enturbien o le produzcan olor o sabor fuera de lo común, no deberá emplearse.

#### **REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES ACI - 318 - 83 <sup>(4)</sup>**

El Reglamento de Construcciones de Concreto Reforzado del ACI - 318 - 83, en relación al agua para la elaboración de concreto establece lo siguiente:

El agua empleada en el mezclado del concreto deberá ser limpia y estar libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser nocivas para el concreto o el refuerzo.

Cuando son excesivas las impurezas en el agua de mezclado pueden afectar no sólo el tiempo de fraguado, la resistencia del concreto y la estabilidad del volumen (cambio de longitud) , sino que también pueden provocar eflorescencia o corrosión en el refuerzo.

Siempre que sea posible, debe evitarse el agua con altas concentraciones de sólidos disueltos.

El agua de mezclado para concreto presforzado o para concreto que contenga elementos de aluminio ahogados, incluyendo la parte del agua de mezclado con

la que contribuye la humedad libre de los agregados no debe contener cantidades perjudiciales de iones de cloruros.

No deberá utilizarse agua no potable en el concreto, a menos que se cumplan con las siguientes condiciones:

a) la selección de las proporciones del concreto deben basarse en mezclas de concreto utilizando agua de la misma fuente.

b) Los cubos de mortero para pruebas, hechos con agua no potable, deben tener resistencias iguales a los 7 y 28 días de por lo menos 90% de la resistencia de muestras similares hechos con agua potable. La comparación de la prueba de resistencia debe hacerse en morteros idénticos, excepto por el agua de mezclado preparados y aprobados de acuerdo a la ASTM C - 109 (NOM C - 61). <sup>(12)</sup>

la que contribuye la humedad libre de los agregados no debe contener cantidades perjudiciales de iones de cloruros.

No deberá utilizarse agua no potable en el concreto, a menos que se cumplan con las siguientes condiciones:

- a) la selección de las proporciones del concreto deben basarse en mezclas de concreto utilizando agua de la misma fuente.
- b) Los cubos de mortero para pruebas, hechos con agua no potable, deben tener resistencias iguales a los 7 y 28 días de por lo menos 90% de la resistencia de muestras similares hechos con agua potable. La comparación de la prueba de resistencia debe hacerse en morteros idénticos, excepto por el agua de mezclado preparados y aprobados de acuerdo a la ASTM C - 109 (NOM C - 61). <sup>(12)</sup>

## IV. ELABORACIÓN DE MEZCLAS

### IV.1 MATERIALES

Las Tablas 4 y 5 contienen los resultados del análisis físico de la arena y la grava procedentes de la zona de Texcoco, en ellas se indican su densidad, absorción, granulometría, pesos volumétricos, contracción lineal y pérdida por lavado; para la arena se aprecia que el contenido de finos (material menor que 0.075 mm) obtenido de 13.75% es superior al especificado en la Norma de "Agregados para Concreto" NOM C-111 <sup>(20)</sup>, sin embargo, la tolerancia expresada en la Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción del D.D.F. de Noviembre de 1987 <sup>(20)</sup> se especifica un valor máximo de 15%, con lo cual, el valor obtenido para la arena se considera aceptable, con respecto a la granulometría de la arena en las mallas 50 y 100, la curva se sale de sus límites especificados, no obstante el módulo de finura calculado es de 2.5, que se encuentra aceptable dentro del rango de 2.3 a 3.1 especificado.

Para la grava, su granulometría se encuentra dentro de los límites para Tamaño del Agregado de 1" (25 mm).

La Tabla No. 6, muestra el reporte del análisis físico químico del cemento Portland Tipo I utilizado, los resultados obtenidos cumplen con los valores especificados en la Norma NOM C-1 <sup>(9)</sup>.

Las Tablas 7, 8, 9 y 10 muestran los resultados obtenidos de las pruebas químicas realizadas a las muestras de agua y ensayados por la Dependencia, dichas muestras de agua, corresponden a la Potable o Testigo  $W_1$ , muestreada de una planta premezcladora de la zona de Mixcoac y de las Aguas Tratadas procedentes de las plantas, Cerro de la Estrella  $W_2$ , Ciudad Deportiva  $W_3$ , y la de San Juan de Aragón  $W_4$  respectivamente.

Cabe señalar que los valores obtenidos de las pruebas químicas se compararon con los requisitos que se indican en la Norma C-122 <sup>(21)</sup> Agua para Concreto" y se aprecia que los parámetros de Óxido de carbono disuelto como  $CO_2$  y el contenido de grasas y aceites, **no cumplen con los valores especificados para las plantas de tratamiento e inclusive los resultados del agua potable acusan valores fuera de especificaciones en los parámetros analizados.**



TABLA No. 4

REPORTE ANÁLISIS DE ARENA

Fecha Mayo 1990  
 Análisis No.  
 Mina  
 Localidad Valle de Texcoco

Tipo de Arena Natural  
 Clasificación petrográfica Andesita  
 Color Gris

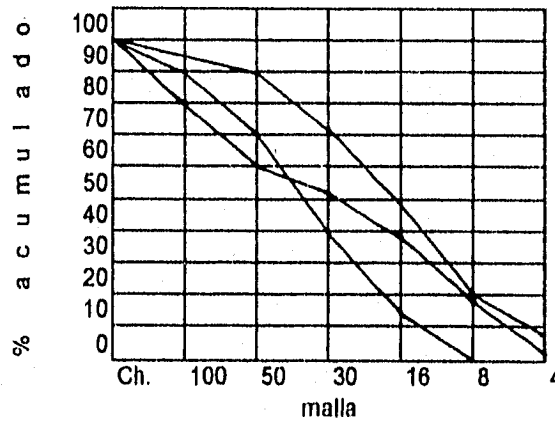
Densidad M1 =	$\frac{P_{ss}}{\text{Volumen}}$	=	$\frac{500}{208}$	=	2.40
Absorción M1 =	$\frac{P_{ss} - P_s}{P_s}$	=	$\frac{200 - 100}{100}$	=	5.20%
Humedad M1 =	$\frac{P_h - P_s}{P_s}$	=	$\frac{200 - 100.2}{100.2}$	=	5.15%

Densidad M2 =	$\frac{P_{ss}}{\text{Volumen}}$	=	$\frac{500}{208}$	=	2.40
Absorción M2 =	$\frac{P_{ss} - P_s}{P_s}$	=	$\frac{200 - 189.4}{189.4}$	=	5.80%
Humedad M2 =	$\frac{P_h - P_s}{P_s}$	=	$\frac{200 - 190.4}{190.4}$	=	5.04%

MALLA	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO %	PESO ACUM %	% ACUM
4	22	2.2		
8	183	18.71	18.71	18.71
16	179	18.3	37.01	55.72
30	155	15.05	52.06	108.58
50	75	7.67	60.53	189.11
100	199	20.35	80.88	249.99
200	87	8.9	89.78	
CHAROLA	100	10.22	100	

Densidad	2.4	Adimensional
Absorción	5.43	%
Humedad	5.1	%
Peso Volumétrico suelto	1446	kg / m <sup>3</sup>
Peso Volumétrico compactado	1686	kg / m <sup>3</sup>
Contracción Lineal	0	%
Contaminación Grava en Arena	2.2	%
Pérdida por lavado	13.75	%
Módulo de Finura	2.5	Adimensional

GRÁFICA DE LA ARENA



Observaciones: Material para realizar estudios del efecto del agua residual tratada en la elaboración del concreto hidráulico.

TABLA No. 5

REPORTE ANÁLISIS DE GRAVA

Fecha Mayo 1990  
 Análisis No.  
 Mina  
 Localidad Valle de Texcoco

Tipo de Arena Semiritirada  
 Clasificación petrográfica Andesita  
 Color Azul

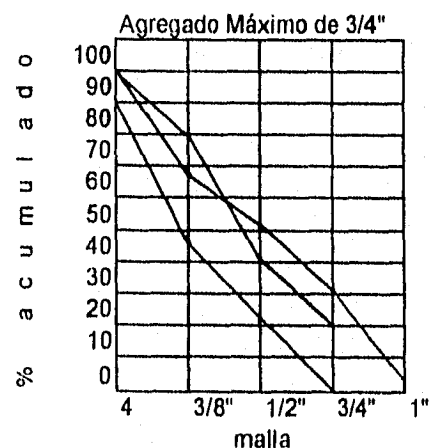
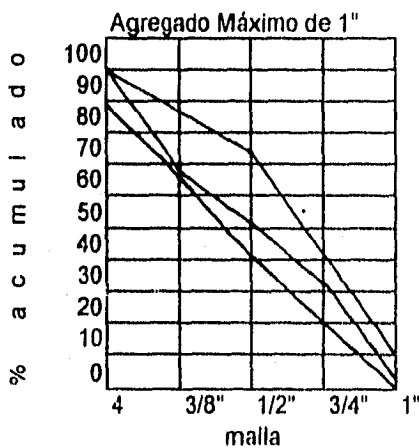
Densidad M1 =	$\frac{P_{sss}}{Volumen}$	=	$\frac{2000}{850}$	=	2.35
Absorción M1 =	$\frac{P_{sss} - P_s}{P_s}$	=	$\frac{3000-2880}{2880}$	=	4.17%
Humedad M1 =	$\frac{P_h - P_s}{P_s}$	=	$\frac{3000-2940}{2940}$	=	2.04%

Densidad M2	$\frac{P_{sss}}{Volumen}$	=	$\frac{2000}{870}$	=	2.30
Absorción M2	$\frac{P_{sss} - P_s}{P_s}$	=	$\frac{3000-2880}{2880}$	=	4.17%
Humedad M2	$\frac{P_h - P_s}{P_s}$	=	$\frac{2900-190.4}{190.4}$	=	2.04%

MALLA	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO %	PESO ACUM %	% ACUM
1 1/2"	0	0		
1"	330	4.07	4.07	4.07
3/4"	2250	27.74	31.81	35.88
1/2"	1600	19.73	51.54	87.42
3/8"	1240	15.29	66.83	154.25
4	2890	33.17	100	254.25
CHAROLA	1890	0	0	

Densidad	2.3	Adimensional
Absorción	4.17	%
Humedad	2.04	%
Peso Volumétrico suelto	1419	kg / m <sup>3</sup>
Peso Volumétrico compactado	1612	kg / m <sup>3</sup>
Coefficiente de Forma	0.38	Adimensional
Contaminación Arena en Grava	18.9	%
Módulo de Finura	7.54	Adimensional

GRÁFICA DE LA GRAVA



Observaciones: Material para realizar estudios del efecto del agua residual tratada en la elaboración del concreto hidráulico

TABLA No. 6

PRUEBAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE CEMENTO

TIPO DE CEMENTO FABRICANTE O MARCA		TIPO I	ESPECIFICACIONES NOM C - 2	
ANÁLISIS QUÍMICO	SILICE	Si O	20.20	
	ALÚMINA	Al O	5.00	
	ÓXIDO FÉRRICO	Fe O	3.00	
	CAL COMBINADA	Ca Oc	63.20	
	CAL LIBRE	Ca Ol	1.20	
	MAGNESIA	Mg O	1.10	MAX 5.00 %
	ANHIDRO SULFÚRICO	SO	2.80	MAX 3.50 %
	RESIDUO INSOLUBLE	R.INS.	0.70	MAX 0.75 %
	PÉRDIDA POR CALCINACIÓN	P.CAL	2.20	MAX 3.00 %
COMPUESTOS	SILICATO TRICÁLCICO	CS	52.4	
	SILICATO DICÁLCICO	CS	18.4	
	ALUMINATO TRICÁLCICO	CA	8.2	
	FERROALUMINATO			
	TETRACÁLCICO	C AF	9.1	
ANÁLISIS FÍSICO	CONSISTENCIA NORMAL %		25.7	
	FRAGUADO INICIAL (MINUTOS)		2H 45'	
	FRAGUADO FINAL (HORAS)		4 H 50'	
	SUPERFICIE ESPECÍFICA BLAIN cm / g		3.539	
	EXPANSIÓN AUTOCLAVE %		0.017	
	FALSO FRAGUADO		NO (64%)	
	FLUIDEZ %			
RELACIÓN Agua / Cemento		0.485		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	24 HORAS	kg / cm	132	
	3 DÍAS	kg / cm	257	
	7 DÍAS	kg / cm	290	
	14 Y 28 DÍAS	kg / cm	303	

TABLA No. 7

PRUEBAS QUÍMICAS REALIZADAS A LAS MUESTRAS DE AGUA

TIPO DE AGUA: POTABLE

FECHA	GRASAS Y ACEITES	ALCALINIDAD		SO4	Cl	OCMA	DQO	SAAM	CO2	pH	SS	S.T.	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
		CARBONATOS	BICARBONATOS												
PARÁMETROS mg / l ( miligramos por litro )															
21 05 90	45	0	57	16.0	6.4	0.3	1.2	0.080	4.1	7.5	4.0	132.0	6.0	12.0	3.0
29 05 90	80	0	64	10.4	6.0	0.6	6.2	0.037	11.0	7.2	0.0	120.0	6.0	13.0	4.0
5 06 90	1	0	57	11.3	6.0	0.1	6.2	0.033	15.5	7.0	0.0	124.0	6.0	13.0	3.0
12 06 90	5	0	62	10.2	6.0	0.5	4.2	0.090	6.0	7.3	0.0	120.0	6.0	13.0	3.0
18 06 90	SM	0	63	9.9	5.8	0.8	6.9	0.030	4.0	7.5	0.0	136.0	6.0	12.0	4.0
25 06 90	SM	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	6.0	12.0	3.0
25 07 90	X	0	67	10.1	5.7	0.1	5.0	<0.2	0.6	8.2	10.0	156.0	S/M	S/M	S/M
1 08 90	25	0	69	9.1	6.3	0.1	5.4	<0.2	1.8	7.8	10.0	148.0	S/M	S/M	S/M
9 08 90	45	0	65	10.0	6.0	0.2	4.8	<0.2	1.2	7.9	6.0	84.0	S/M	S/M	S/M
PROMEDIO	22.3	X	56	9.7	5.4	0.3	4.4	0.030	4.9	6.7	3.3	113.30	4.0	8.3	2.2
NORMA VALOR MAXIMO															
C RICO EN CAL	0	600	600	3000	400	150			5	> 6	2000	3500	100	300	0
C SULFORRESISTENTE	0	600	600	3500	600	150			2	> 6.5	2000	4000	150	450	0

SO4	SULFATOS	S.S.	SÓLIDOS SUSPENDIDOS
Cl	CLORUROS	S.T.	SÓLIDOS TOTALES
OCMA	OXÍGENO CONSUMIDO EN MEDIO ÁCIDO	Mg ++	MAGNESIO
DQO	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Na+	SÓDIO ÁLCALIS
SAAM	SUBSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO	K+	POTASIO
CO2	DIÓXIDO DE CARBONO		

TABLA No. 8

PRUEBAS QUÍMICAS REALIZADAS A LAS MUESTRAS DE AGUA

TIPO DE AGUA: CERRO DE LA ESTRELLA

FECHA	GRASAS Y ACEITES	ALCALINIDAD		SO4	Cl	OCMA	DQO	SAAM	CO2	pH	SS	S.T.	Mg++	Na+	K+
		CARBONATOS	BICARBONATOS												
PARÁMETROS mg / l ( miligramos por litro )															
24 05 90	SM	0	232	83.0	72.0	8.1	83.0	8.200	17.0	7.4	< 0.1	580.0	21.1	94.3	19.0
31 05 90	< 3	0	244	NE	70.0	11.1	103.0	4.700	24.0	7.4	1.0	658.0	20.1	158.7	30.0
7 06 90	36	0	353	99.0	99.0	NE	100.0	15.800	20.0	7.4	< 0.1	784.0	20.4	161.1	27.0
13 06 90	15	0	258	NE	36.0	8.9	97.0	7.700	42.5	7.1	< 0.1	642.0	19.3	161.6	29.0
20 06 90	< 3	0	253	NE	73.0	6.7	88.0	6.900	8.0	7.7	< 0.1	480.0	19.1	102.3	18.0
27 06 90	28	0	132	85.0	73.0	10.9	200.0	6.600	4.5	7.6	< 0.1	600.0	21.3	104.3	20.0
4 07 90	40	0	210	101.0	48.0	8.0	230.0	6.100	5.5	7.8	0.1	706.0	20.2	162.3	19.0
18 07 90	29	0	237	72.0	72.0	6.7	99.0	5.300	5.5	7.9	2.0	560.0	22.3	114.0	23.0
25 07 90	11	0	216	110.0	81.0	9.1	144.0	5.700	2.6	8.1	4.0	412.0	20.5	98.4	19.0
PROMEDIO	17.67	X	237.22	61.1	69.6	7.7	127.1	7.560	14.4	7.6	0.8	602.44	20.5	128.6	22.7
AGUA NATURAL											2000				
AGUA RECICLADA											50000				
NORMA															
VALOR MÁXIMO															
C RICO EN CAL	0	600	600	3000	400	150			5	> 6	2000	3500	100	300	0
C SULFORRESISTENTE	0	600	600	3500	600	150			2	> 6.5	2000	4000	150	450	0

SO4	SULFATOS	S.S.	SÓLIDOS SUSPENDIDOS
Cl	CLORUROS	S.T.	SÓLIDOS TOTALES
OCMA	OXÍGENO CONSUMIDO EN MEDIO ÁCIDO	Mg ++	MAGNESIO
DQO	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Na+	SÓDIO ÁLCALIS
SAAM	SUBSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO	K+	POTASIO
CO2	DIÓXIDO DE CARBONO		

TABLA No. 9

PRUEBAS QUÍMICAS REALIZADAS A LAS MUESTRAS DE AGUA

TIPO DE AGUA: CIUDAD DEPORTIVA

FECHA	GRASAS Y ACEITES	ALCALINIDAD		SO4	Cl	OCMA	DQO	SAAM	CO2	pH	SS	S.T.	Mg++	Na+	K+
		CARBONATOS	BICARBONATOS												
PARÁMETROS mg / l ( miligramos por litro )															
1 06 90	8	0	315	97.0	107.0	NE	91.0	7.900	11.0	7.7	< 0.1	796.0	20.0	115.2	21.0
13 06 90	5	0	343	NE	106.0	11.1	67.0	11.100	25.0	7.4	< 0.1	786.0	19.3	161.6	29.0
20 06 90	7	0	306	NE	98.0	10.7	68.0	5.300	7.0	7.9	< 0.1	790.0	20.4	177.6	31.0
27 06 90	5	0	368	91.0	101.0	12.7	59.0	6.800	8.0	7.8	< 0.1	792.0	21.9	160.3	30.0
4 07 90	20	0	421	86.0	176.0	7.4	32.0	3.400	14.0	7.7	0.4	882.0	21.9	104.3	30.0
18 07 90	15	0	369	85.0	101.0	10.7	36.0	3.300	6.0	8.0	< 0.1	802.0	20.5	184.3	33.0
25 07 90	10	0	351	110.0	110.0	10.3	45.0	3.500	4.5	8.1	0.8	898.0	24.0	158.8	30.0
PROMEDIO	10	X	353.3	67.0	114.1	9.0	56.9	5.900	10.8	7.8	0.2	820.90	21.1	151.7	29.1
AGUA NATURAL											2000				
AGUA RECICLADA											50000				
NORMA															
VALOR MÁXIMO															
C RICO EN CAL	0	600	600	3000	400	150			5	> 6	2000	3500	100	300	0
C SULFORESISTENTE	0	600	600	3500	600	150			2	> 6.5	2000	4000	150	450	0

SO4	SULFATOS	S.S.	SÓLIDOS SUSPENDIDOS
Cl	CLORUROS	S.T.	SÓLIDOS TOTALES
OCMA	OXÍGENO CONSUMIDO EN MEDIO ÁCIDO	Mg ++	MAGNESIO
DQO	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Na+	SÓDIO ÁLCALIS
SAAM	SUBSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO	K+	POTASIO
CO2	DIÓXIDO DE CARBONO		

TABLA No. 10

PRUEBAS QUÍMICAS REALIZADAS A LAS MUESTRAS DE AGUA

TIPO DE AGUA: SAN JUAN DE ARAGÓN

FECHA	GRASAS Y ACEITES	ALCALINIDAD		SO4	Cl	OCMA	DQO	SAAM	CO2	pH	SS	S.T.	Mg++	Na+	K+
		CARBONATOS	BICARBONATOS												
PARÁMETROS mg / l ( miligramos por litro )															
18 06 90	20	21	353	NE	112.0	10.9	96.0	13.300	1.6	8.4	< 0.1	749.0	23.1	181.4	34.0
20 06 90	7	0	290	NE	108.0	12.3	231.0	13.000	4.3	8.1	< 0.1	786.0	21.4	169.7	34.0
27 06 90	11	0	363	96.0	98.0	11.5	152.0	11.400	8.0	7.9	< 0.1	764.0	19.2	148.4	27.0
4 07 90	15	0	347	101.0	105.0	11.0	99.0	6.700	9.0	7.8	< 0.1	884.0	22.4	280.4	29.0
18 07 90	13	0	316	72.0	96.0	5.7	91.0	5.800	8.0	7.8	< 0.1	638.0	19.3	171.0	32.0
25 07 90	10	0	262	121.0	119.0	16.5	148.0	8.000	9.5	7.9	< 0.1	818.0	20.6	146.7	29.0
1 08 90	19	0	314	103.0	128.0	27.0	176.0	10.600	5.5	7.9	NE	834.0	NE	NE	NE
9 08 90	88	0	378	76.0	115.0	8.0	208.0	4.100	8.0	6.9	< 0.1	842.0	20.5	138.1	28.0
PROMEDIO	20.3	21	291.4	63.1	97.9	11.4	133.4	8.100	6.0	7.0	< 0.1	701.70	16.3	137.3	23.7
AGUA NATURAL											2000				
AGUA RECICLADA											50000				
NORMA															
VALOR MÁXIMO															
C RICO EN CAL	0	600	600	3000	400	150			5	> 6	2000	3500	100	300	0
C SULFORESISTENTE	0	600	600	3500	600	150			2	> 6.5	2000	4000	150	450	0

SO4	SULFATOS	S.S.	SÓLIDOS SUSPENDIDOS
Cl	CLORUROS	S.T.	SÓLIDOS TOTALES
OCMA	OXÍGENO CONSUMIDO EN MEDIO ÁCIDO	Mg ++	MAGNESIO
DQO	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Na+	SÓDIO ÁLCALIS
SAAM	SUBSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO	K+	POTASIO
CO2	DIÓXIDO DE CARBONO		

## **IV.2 PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES**

Para el diseño de las proporciones de las mezclas de concreto se tomaron como base las consideraciones del ACI - 211.1 <sup>(2)</sup> relativo al diseño de mezclas y las propiedades de los agregados de la zona de Texcoco. Cabe mencionar que en los diseños se varió la dosificación de cemento para cada una de las mezclas en contenidos de 150, 225, 300, 375 y 400 kg. / m<sup>3</sup>, esto es; para cada tipo de agua diferente, incluyendo la Testigo Potable, se elaboraron cinco mezclas, todas ellas ajustándose a una consistencia medida en Revenimiento de 14 cm, sin la inclusión de ningún tipo de aditivo.

La tabla No. 11, contiene el proporcionamiento por metro cúbico de concreto, donde se indican las proporciones constantes de grava empleada, esta última considerando el revenimiento de 14 cm.

## **IV.3 ELABORACIÓN DE MEZCLAS**

En la elaboración de mezclas de prueba en que participaron los laboratorios particulares y los de las empresas premezcladoras interesadas, cada laboratorio realizó pruebas de revenimiento y peso volumétrico en el concreto fresco y elaboraron especímenes cilíndricos con el concreto para ensayos de compresión a 7, 28, 90 y 365 días de edad y módulos de elasticidad a los 28 y 365 días de edad.

Adicionalmente a las pruebas conjuntamente realizadas por ocho de las empresas integrantes del comité, el laboratorio contratado por la Dependencia efectuó pruebas en morteros hidráulicos, para determinarles sus tiempos de fraguado, resistencia a la compresión en cubos y barras para pruebas de expansión (1"X1"X10") además, de otras pruebas en concreto endurecido como: La velocidad del pulso ultrasónico medido en barras de (3"X3"X10").

La cantidad de mezclas elaboradas para cada contenido de cemento fueron cinco, una por cada diferente resistencia y por cada una de ellas se realizaron cuatro mezclas variando el tipo de agua, en total fueron 20 las mezclas que cada laboratorio efectuó de manera independiente.

Las Tablas No. 12, 13, 14, 15 y 16 contienen las características de los resultados obtenidos de los materiales que se emplearon en la elaboración de las mezclas para diferentes contenidos de cemento, 150, 225, 300, 375 y 450 kg. / m<sup>3</sup> respectivamente, en las que se indican, el porcentaje de humedad en los agregados (grava y arena), el agua empleada en la mezcla, peso volumétrico del concreto fresco, revenimiento obtenido y las temperaturas del concreto y la del medio ambiente a la sombra dentro del laboratorio.



TABLA No. 11

PROPORCIONAMIENTO POR METRO CÚBICO DE CONCRETO

MATERIALES	MEZCLAS				
CEMENTO TIPO I kg	150	225	300	375	450
AGUA l	*	*	*	*	*
GRAVA ANDESITA kg	630	796	858	862	854
ARENA ANDESITA kg	1091	901	795	723	666
RELACIÓN AGUA / CEMENTO	1.624	1.062	0.798	0.663	0.566
RELACIÓN GRAVA / ARENA PORCENTAJE GRAVA (ABSOLUTOS)	0.472 0.320	0.684 0.406	0.809 0.447	0.879 0.468	0.932 0.482
RELACIÓN GRAVA / ARENA PORCENTAJE GRAVA (DOSIFICADOS)	0.589 0.371	0.902 0.474	1.101 0.524	1.218 0.549	1.308 0.567

- (\*) El agua de mezcla se varió hasta obtener una consistencia medida en revenimiento de 14 cm con tolerancia de  $\pm 1$  cm.  
Las aguas a emplear fueron: Potable y Tratadas del Cerro de la Estrella, Cd. Deportiva y San Juan de Aragón.

TABLA No. 12

**ELABORACIÓN DE MEZCLAS, CON LOS CUATRO TIPOS DIFERENTES DE AGUA  
PARA UN PROPORCIONAMIENTO DE 150 kg / m<sup>3</sup>**

<b>MEZCLA</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
% DE HUMEDAD EN AGREGADOS	GRAVA	0.43	0.43	0.43	0.43
	ARENA	2.35	2.80	1.44	4.00
AGUA QUE SE EMPLEA EN LA MEZCLA l / m <sup>3</sup>		267.00	270.00	233.00	259.00
PESO VOLUMÉTRICO kg / m <sup>3</sup>		2165.00	2122.00	2103.00	2105.00
REVENIMIENTO OBTENIDO cm		13.50	14.00	14.00	15.00
TEMPERATURA DEL CONCRETO °C		23.00	24.00	25.00	23.00
TEMPERATURA AMBIENTE A LA SOMBRA °C		25.00	26.00	26.00	25.00

**NOMENCALTURA:**

- 1.- AGUA POTABLE
- 2.- AGUA TRATADA CERRO DE LA ESTRELLA
- 3.- AGUA TRATADA CD. DEPORTIVA
- 4.- AGUA TRATADA SAN JUAN DE ARAGÓN

TABLA No. 13

**ELABORACIÓN DE MEZCLAS, CON LOS CUATRO TIPOS DIFERENTES DE AGUA  
PARA UN PROPORCIONAMIENTO DE 225 kg / m<sup>3</sup>**

<b>MEZCLA</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>% DE HUMEDAD EN AGREGADOS</b>	<b>GRAVA</b>	0.43	1.65	0.43	2.29
	<b>ARENA</b>	2.45	2.45	3.25	2.88
<b>AGUA QUE SE EMPLEA EN LA MEZCLA l / m<sup>3</sup></b>		274.00	270.00	230.00	261.00
<b>PESO VOLUMÉTRICO kg / m<sup>3</sup></b>		2150.00	2160.00	2152.00	2187.00
<b>REVENIMIENTO OBTENIDO cm</b>		16.00	16.00	13.50	13.00
<b>TEMPERATURA DEL CONCRETO °C</b>		21.00	25.00	23.00	23.00
<b>TEMPERATURA AMBIENTE A LA SOMBRA °C</b>		25.00	26.00	25.00	24.00

**NOMENCALTURA:**

- 1.- AGUA POTABLE
- 2.- AGUA TRATADA CERRO DE LA ESTRELLA
- 3.- AGUA TRATADA CD. DEPORTIVA
- 4.- AGUA TRATADA SAN JUAN DE ARAGÓN

TABLA No. 14

**ELABORACIÓN DE MEZCLAS, CON LOS CUATRO TIPOS DIFERENTES DE AGUA  
PARA UN PROPORCIONAMIENTO DE 300 kg / m<sup>3</sup>**

<b>MEZCLA</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
% DE HUMEDAD EN AGREGADOS	GRAVA	2.70	0.45	0.41	2.35
	ARENA	3.54	2.29	3.10	2.40
AGUA QUE SE EMPLEA EN LA MEZCLA l / m <sup>3</sup>		300.00	296.00	261.00	272.00
PESO VOLUMÉTRICO kg / m <sup>3</sup>		2190.00	2180.00	2152.00	2104.00
REVENIMIENTO OBTENIDO cm		15.00	15.00	14.50	14.00
TEMPERATURA DEL CONCRETO °C		22.00	24.00	23.00	23.00
TEMPERATURA AMBIENTE A LA SOMBRA °C		26.00	27.00	25.00	24.00

**NOMENCALTURA:**

- 1.- AGUA POTABLE
- 2.- AGUA TRATADA CERRO DE LA ESTRELLA
- 3.- AGUA TRATADA CD. DEPORTIVA
- 4.- AGUA TRATADA SAN JUAN DE ARAGÓN

TABLA No. 15

**ELABORACIÓN DE MEZCLAS, CON LOS CUATRO TIPOS DIFERENTES DE AGUA  
PARA UN PROPORCIONAMIENTO DE 375 kg / m<sup>3</sup>**

<b>MEZCLA</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
% DE HUMEDAD EN AGREGADOS	GRAVA	0.43	0.43	0.41	2.04
	ARENA	2.29	2.29	3.20	1.42
AGUA QUE SE EMPLEA EN LA MEZCLA l/m <sup>3</sup>		281.00	236.00	287.00	240.00
PESO VOLUMÉTRICO kg / m <sup>3</sup>		2180.00	2204.00	2159.00	2155.00
REVENIMIENTO OBTENIDO cm		14.00	16.00	14.00	13.00
TEMPERATURA DEL CONCRETO °C		23.00	24.00	23.00	24.00
TEMPERATURA AMBIENTE A LA SOMBRA °C		27.00	26.00	24.00	25.00

**NOMENCALTURA:**

- 1.- AGUA POTABLE
- 2.- AGUA TRATADA CERRO DE LA ESTRELLA
- 3.- AGUA TRATADA CD. DEPORTIVA
- 4.- AGUA TRATADA SAN JUAN DE ARAGÓN

TABLA No. 16

**ELABORACIÓN DE MEZCLAS, CON LOS CUATRO TIPOS DIFERENTES DE AGUA  
PARA UN PROPORCIONAMIENTO DE 450 kg / m<sup>3</sup>**

MEZCLA		1	2	3	4
% DE HUMEDAD EN AGREGADOS	GRAVA	0.43	0.43	0.41	0.58
	ARENA	2.27	2.29	1.95	1.42
AGUA QUE SE EMPLEA EN LA MEZCLA l/m <sup>3</sup>		293.00	280.00	273.00	268.00
PESO VOLUMÉTRICO kg/m <sup>3</sup>		2187.00	2179.00	2172.00	2176.00
REVENIMIENTO OBTENIDO cm		15.00	15.00	14.00	15.00
TEMPERATURA DEL CONCRETO °C		24.00	25.00	25.00	23.00
TEMPERATURA AMBIENTE A LA SOMBRA °C		26.00	27.00	26.00	24.00

**NOMENCALTURA:**

- 1.- AGUA POTABLE
- 2.- AGUA TRATADA CERRO DE LA ESTRELLA
- 3.- AGUA TRATADA CD. DEPORTIVA
- 4.- AGUA TRATADA SAN JUAN DE ARAGÓN

Las Tablas 17, 18, 19, 20 y 21 contienen resultados de las mezclas de cada laboratorio, donde se muestran el proporcionamiento base empleado, la cantidad y tipo de agua, la relación agua / cemento en peso, la temperatura ambiente y la de la mezcla, el cálculo de los volúmenes de los agregados, de la pasta y el aire, el revenimiento obtenido, el peso volumétrico teórico y el real.

El proporcionamiento base anotado con respecto al real varió tal como se muestra en el Anexo No. 1, debido a que el agua se tendría que ajustar para alcanzar el revenimiento de 14 cm, por tal motivo, acusó variaciones en las cantidades reales para un metro cúbico de concreto, esto puede observarse con el cálculo de los volúmenes absolutos de agregados y pasta y considerando el volumen de cemento real para obtener el contenido de aire en la mezcla para un metro cubico de concreto.

Conviene señalar que las aguas provenientes de las plantas de tratamiento de Ciudad Deportiva y Aragón, después de dos días presentaban signos de fermentación, es decir: algunas partículas tienen cierto tipo de coagulación con cambio de coloración de verdoso a pardo.

## V. RESULTADOS DE LOS CONCRETOS Y MORTEROS

### V.1 CONCRETO FRESCO

#### a) CONTENIDO DE AIRE

De las Tablas 17, 18, 19, 20 y 21 que contienen datos de los volúmenes absolutos obtenidos de las proporciones de materiales ajustados de acuerdo a la cantidad requerida de consumo de agua para las mezclas, se analiza su contenido de aire.

El contenido de aire reportado expresado en porcentaje se calculó sumando el volumen de los agregados más el volumen de la pasta (agua más cemento) y restándolos al metro cúbico.

Con el objeto de evaluar los resultados de contenido de aire se elaboró la Tabla No. 22 con la información obtenida de los ocho laboratorios, se calcularon el promedio y la desviación estándar, haciendo la aclaración que los valores negativos no se tomaron en cuenta.

En dicha tabla se observa para cada contenido de cemento un valor promedio diferente de contenido de aire, cabe mencionar que de acuerdo con la "Práctica recomendada para dosificar concreto normal, del ACI - 211.1 <sup>(2)</sup>, para el cálculo de las proporciones de la mezcla, se recomiendan contenidos de aire con valores de entre 1.5 y 2.0%, en tanto que para el Agua Potable se obtuvo una variación de 1.18 a 2.25%, para el Agua del Cerro de la Estrella fue de 1.51 a 2.99%, la variación con el Agua de Ciudad Deportiva es de 1.90 a 4.0% y la variación registrada para San Juan de Aragón es de 2.40 a 4.91%, conviene señalar que a menor contenido de cemento, el volumen de aire es mayor e inversamente, a mayor contenido de cemento se disminuye el contenido de aire.

También se resalta el hecho de que el contenido de aire para concretos con aguas tratadas de las plantas Ciudad Deportiva y Aragón se incrementó de 50 a 100% y de 100 a 200% respectivamente, mientras que para el del Cerro de la Estrella solo se aumenta de 10 a 30 %.

#### b) PESO VOLUMÉTRICO

En la Tabla No. 23 se muestran los contenidos de los pesos volumétricos del concreto fresco obtenidos de acuerdo al método de prueba de la NOM C - 160 <sup>(2B)</sup>, en ella se indican el promedio y la desviación estándar de las pruebas de los ocho laboratorios para cada tipo de agua y cada contenido de cemento, se observa que los valores obtenidos con relación al agua potable acusan una ligera disminución, principalmente con las aguas de la Ciudad Deportiva y la de Aragón, con un valor de 2 a 3%.



TABLA No. 17

**RESULTADOS OBTENIDOS EN MEZCLAS DE CONCRETO  
CON LOS CUATRO TIPOS DE AGUAS ANALIZADAS  
CONTENIDO DE CEMENTO 150 kg / m<sup>3</sup> DE CONCRETO**

LABORATORIO	PROPORCIONAMIENTO BASE kg m <sup>3</sup>			AGUA EN MEZCLA kg m <sup>3</sup>		RELACION A / C	TEMPERATURA °C		VOLUMENES DE MATERIAL				REVEN %	PESO VOL kg m <sup>3</sup>		RELACION PVR / PVT	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>				E kg/cm <sup>2</sup>	
	AREIA	GRAVA	CEMENTO	REAL	MEZCLA		TIPO	AMB	MEZCLA	AGREG	PASTA	TOTAL		AIRE	TEORICO		REAL	7 dp	28 dp	90 dp		45 dp
A	1091	430	150	287	287	W1	1.40	25.0	23.0	757	260	1017	-1.7	13.5	2083	2166	1.039	56	86	107	12604	
	1091	430	150	177	188	W1	1.09	23.0	21.0	749	217	966	3.4	13.0	2039	2102	1.031	58	81	84	12320	
	1091	430	150	219	185	W1	1.07	23.0	24.0	768	214	982	-1.8	15.0	2036	2146	1.054	83	105	128	11830	
	1091	430	150	205	217	W1	1.41	24.0	20.0	738	256	1004	-0.4	13.5	2088	2126	1.018	57	86	102	11440	
	1091	430	150	201	187	W1	1.10	X	X	749	215	964	3.8	13.5	2038	2100	1.030	73	94	97	12650	
	1091	430	150	216	173	W1	1.14	20.0	21.0	754	221	975	2.5	14.5	2044	2117	1.036	64	93	101	12660	
	1091	430	150	173	200	W1	1.28	25.5	17.5	747	250	997	0.3	14.0	2071	2133	1.030	70	96	119	11950	
	1091	430	150	145	158	W1	1.20	X	X	743	238	981	-1.3	13.5	2059	2110	1.025	61	93	106	12670	
	1091	430	150	270	212	W2	1.45	26.0	24.0	740	262	1002	-0.2	14.0	2086	2122	1.017	54	82	104	12600	
	1091	430	150	190	169	W2	1.12	24.5	20.0	739	217	956	4.4	13.0	2040	2079	1.019	64	87	103	9900	
B	1091	430	150	234	182	W2	1.22	24.0	17.0	739	229	968	3.2	14.0	2053	2086	1.016	72	103	114	11360	
	1091	430	150	204	202	W2	1.34	24.0	21.0	725	250	978	2.2	15.0	2073	2083	1.005	62	91	111	11150	
	1091	430	150	215	193	W2	1.31	X	X	722	240	962	3.8	14.0	2064	2057	0.997	62	76	99	11130	
	1091	430	150	195	219	W2	1.34	17.0	13.0	756	208	964	3.6	14.0	2030	2110	1.039	76	104	130	12100	
	1091	430	150	183	218	W2	1.40	24.0	21.5	719	255	984	-1.6	15.0	2087	2079	0.996	69	101	108	11620	
	1091	430	150	187	189	W2	1.21	X	X	740	239	979	-1.1	14.5	2060	2103	1.021	64	91	106	12400	
	1091	430	150	223	165	W3	1.10	26.0	25.0	752	213	965	3.5	14.0	2036	2103	1.033	49	75	92	11300	
	1091	430	150	198	197	W3	1.32	30.0	22.0	724	245	969	3.1	13.5	2068	2066	1.000	69	86	100	11740	
	1091	430	150	223	183	W3	1.11	26.0	18.0	735	210	945	3.5	14.5	2034	2057	1.011	61	85	109	12040	
	1091	430	150	215	227	W3	1.34	26.0	24.0	704	274	978	2.2	14.0	2098	2047	0.975	63	82	105	11540	
C	1091	430	150	197	188	W2	1.07	X	X	725	205	930	-	13.5	2029	2028	1.000	70	77	100	11540	
	1091	430	150	200	180	W3	1.05	18.0	19.0	763	208	971	3.9	15.0	2031	2103	1.035	69	84	103	12600	
	1091	430	150	183	187	W3	1.22	25.5	22.0	726	236	964	3.6	15.5	2068	2072	1.007	68	88	107	12610	
	1091	430	150	184	185	W3	1.21	X	X	731	234	965	3.5	13.5	2056	2074	1.009	67	81	101	9400	
	1091	430	150	259	217	W4	1.46	25.0	23.0	732	264	996	0.4	14.0	2068	2106	1.008	61	87	95	11100	
	1091	430	150	214	187	W4	1.15	27.0	24.0	721	213	934	5.6	15.5	2038	2029	0.996	70	67	100	11210	
	1091	430	150	227	167	W4	1.07	24.0	18.0	735	204	939	6.1	15.1	2028	2050	1.011	68	62	107	11100	
	1091	430	150	215	176	W4	1.20	27.0	25.0	725	203	928	7.1	17.2	2047	2047	1.000	64	63	114	11100	
	1091	430	150	193	186	W4	1.05	X	X	734	203	937	6.3	15.3	2027	2050	1.011	64	65	117	11000	
	1091	430	150	204	182	W4	1.07	14.0	15.0	747	210	957	4.3	14.3	2033	2089	1.028	61	99	129	11740	
D	1091	430	150	185	177	W4	1.16	18.0	18.0	732	228	958	4.2	14.2	2048	2072	1.012	63	81	117	11500	
	1091	430	150	181	188	W4	1.23	X	X	722	236	953	4.2	14.2	2059	2056	0.999	61	78	81	11820	

- A / C Relación agua / cemento
- REVEN Revenimiento
- dp Días promedios
- AMB Ambiente
- E Módulo de Elasticidad
- PVR Peso volumétrico real
- PVT Peso volumétrico teórico
- W1 Agua potable
- W2 Cerro de la Estrella (agua tratada)
- W3 Cd. Depotiva (agua tratada)
- W4 San Juan de Aragón (agua tratada)

TABLA No. 18

RESULTADOS OBTENIDOS EN MEZCLAS DE CONCRETO  
CON LOS CUATRO TIPOS DE AGUAS ANALIZADAS  
CONTENIDO DE CEMENTO 225 kg / m<sup>3</sup> DE CONCRETO

LABORATORIO	PROPORCIONAMIENTO BASE kg / m <sup>3</sup>			AGUA EN MEZCLA kg / m <sup>3</sup>		RELACION A / C	TEMPERATURA °C		VOLUMENES DE MATERIAL			REVEN dp	PESO VOL kg / m <sup>3</sup>		RELACION PVR / PVT	RESISTENCIA kg / cm <sup>2</sup>				E kg / cm <sup>2</sup>		
	ARENA	GRAVA	CEMENTO	REAL	MEZCLA		TIPO	AMB	MEZCLA	AGREG	PAS'A		TOTAL	A/P %		TEORICO	REAL	7 dp	28 dp		90 dp	28 dp
A	901	796	225	274	212	W1	0.96	25.0	21.0	724	284	1008	-0.8	16.0	2134	2150	1.007	106	153	223	44926	
B	901	796	225	178	165	W1	0.72	23.5	20.0	3	236	969	3.1	13.5	2087	2131	1.021	150	196	239	16226	
C	901	796	225	211	159	W1	0.70	23.0	14.0	751	232	981	1.9	14.0	2281	2171	1.043	119	224	279	16263	
D	901	796	225	198	203	W1	0.85	24.0	20.5	732	274	1006	-0.6	15.0	2125	2169	1.021	127	184	238	14040	
E	901	796	225	216	175	W1	0.79	X	X	724	246	970	3	14.5	2097	2114	1.008	136	176	209	14745	
F	901	796	225	214	168	W1	0.74	20.0	21.0	739	239	978	2.2	14.5	2090	2145	1.026	145	212	225	14055	
G	901	796	225	168	191	W1	0.82	25.5	20.0	731	262	993	0.7	15.0	2113	2159	1.022	121	194	224	15056	
H	901	796	225	152	186	W1	0.81	X	X	727	267	984	1.6	14.0	2108	2142	1.016	124	191	222	15074	
A	901	796	225	270	219	W2	0.99	25.0	28.0	724	290	1014	-1.4	15.0	2144	2160	1.009	111	149	177	14684	
B	901	796	225	190	170	W2	0.76	25.0	20.0	719	241	960	4	14.5	2092	2097	1.002	115	141	166	12190	
C	901	796	225	223	171	W2	0.76	24.0	17.0	735	242	977	3.3	14.5	2093	2136	1.021	124	209	258	14931	
D	901	796	225	195	187	W2	0.82	24.0	21.0	723	258	981	1.9	14.0	2109	2129	1.009	124	183	227	14848	
E	901	796	225	215	190	W2	0.96	X	X	724	261	975	3.5	13.5	2112	2157	0.998	123	167	192	13820	
F	901	796	225	195	183	W2	0.67	17.0	18.0	744	224	968	3.2	13.0	2117	2145	1.013	156	206	226	12306	
G	901	796	225	153	210	W2	0.91	24.0	27.5	758	281	989	1.1	16.0	2132	2119	0.994	132	177	196	12304	
H	901	796	225	170	186	W2	0.81	X	X	722	257	979	2.1	14.5	2092	2128	1.024	124	166	219	14532	
A	901	796	225	230	180	W3	0.80	25.0	23.0	737	251	986	1.2	13.5	2102	2152	1.024	121	177	178	14501	
B	901	796	225	200	186	W3	0.85	22.0	14.0	707	256	966	4.2	14.0	2108	2068	0.981	116	136	179	12026	
C	901	796	225	223	163	W3	0.73	26.0	17.0	732	231	966	3.4	14.0	2088	2121	1.017	127	182	229	14947	
D	901	796	225	213	212	W3	0.96	26.0	24.0	698	283	981	1.9	13.0	2134	2090	0.979	130	178	209	14301	
E	901	796	225	205	159	W3	0.73	X	X	711	230	941	6.9	16.0	2081	2064	0.992	116	148	167	12148	
F	901	796	225	196	183	W3	0.67	18.0	19.0	741	224	966	3.6	16.0	2078	2138	1.030	126	179	212	13822	
G	901	796	225	149	180	W3	0.78	27.0	22.0	724	251	974	2.6	14.0	2102	2130	1.013	124	173	204	14742	
H	901	796	225	178	185	W3	0.82	X	X	713	266	985	3.1	13.8	2107	2099	0.996	123	165	202	14201	
A	901	796	225	261	223	W4	0.96	24.0	23.0	733	264	1027	-3.7	16.0	2145	2167	1.020	124	173	217	14506	
B	901	796	225	214	175	W4	0.80	27.0	24.0	711	244	967	4.3	13.8	2097	2079	0.991	147	179	221	13580	
C	901	796	225	245	168	W4	0.79	26.0	18.0	709	236	941	6.9	16.0	2090	2046	0.976	152	200	243	14188	
D	901	796	225	227	182	W4	0.82	27.0	25.0	722	251	976	2.5	13.8	2104	2119	1.007	126	176	214	14742	
E	901	796	225	218	173	W4	0.80	X	X	706	244	959	4.7	13.0	2095	2077	0.969	124	150	202	14661	
F	901	796	225	197	152	W4	0.68	14.0	15.0	734	223	967	4.3	16.0	2074	2117	1.021	148	173	209	13447	
G	901	796	225	150	252	W4	0.74	18.5	20.0	700	323	1193	-9.3	16.0	2174	2130	0.980	134	191	245	12040	
H	901	796	225	167	188	W4	0.83	X	X	708	269	967	3.3	13.8	2110	2092	0.991	121	167	166	14220	

- A / C Relación agua / cemento
- REVEN Revenimiento
- dp Días promedios
- AMB Ambiente
- E Módulo de Elasticidad
- PVR Peso volumétrico real
- PVT Peso volumétrico teórico
- W1 Agua potable
- W2 Cerro de la Estrella (agua tratada)
- W3 Cd. Depotiva (agua tratada)
- W4 San Juan de Aragón (agua tratada)

TABLA No. 19

**RESULTADOS OBTENIDOS EN MEZCLAS DE CONCRETO  
CON LOS CUATRO TIPOS DE AGUAS ANALIZADAS  
CONTENIDO DE CEMENTO 300 kg / m3 DE CONCRETO**

LABORATORIO	PROPORCIONAMIENTO BASE kg / m3			AGUA EN MEZCLA kg / m3			RELACION A / C	TEMPERATURA °C		VOLUMENES DE MATERIAL				REVEN cm	PESO VOL kg / m3		RELACION PVR / PVT	RESISTENCIA kg / cm2				E kg / cm2
	ARENA	GRAVA	CEMENTO	REAL	MEZCLA	TIPO		AMB	MEZCLA	AGREG	PASTA	TOTAL	AIRE %		TEÓRICO	REAL		7 dp	28 dp	90 dp	28 dp	
A	795	858	300	300	284	W1	0.90	26.0	22.0	690	357	1047	-4.7	15.0	2217	2190	0.988	201	201	286	1522.01	
B	795	858	300	204	183	W1	0.62	22.0	20.0	699	277	975	2.4	13.0	2136	2136	1.000	204	251	252	1554.25	
C	795	858	300	221	167	W1	0.56	23.0	15.0	715	262	977	2.3	14.0	2120	2157	1.017	226	300	363	1587.38	
D	795	858	300	204	204	W1	0.67	24.0	21.0	705	300	1005	-0.5	14.0	2157	2178	1.005	204	264	336	1622.88	
E	795	858	300	225	183	W1	0.62	X	X	732	277	975	2.1	14.0	2136	2143	1.023	194	245	295	1558.45	
F	795	858	300	221	174	W1	0.58	20.0	21.0	718	269	987	1.3	14.0	2127	2174	1.220	226	275	342	1573.80	
G	795	858	300	180	200	W1	0.65	25.0	20.0	706	297	1003	-0.3	15.0	2153	2177	1.110	222	268	269	1582.19	
H	795	858	300	178	194	W1	0.64	X	X	702	291	993	0.7	14.0	2147	2150	1.006	193	258	324	1781.21	
A	795	858	300	296	231	W2	0.79	27.0	24.0	700	323	1023	-2.3	15.0	2184	2160	0.998	175	199	243	1582.77	
B	795	858	300	202	170	W2	0.58	25.0	21.0	684	263	947	4.3	13.0	2123	2107	0.992	192	254	293	1569.09	
C	795	858	300	231	177	W2	0.60	24.0	15.0	708	271	979	2.1	15.0	2130	2150	1.009	223	278	336	1545.90	
D	795	858	300	209	196	W2	0.66	24.0	23.0	701	291	992	0.8	13.5	2146	2155	1.004	201	279	321	1543.85	
E	795	858	300	208	183	W2	0.52	X	X	702	278	980	2	13.5	2136	2143	1.003	188	243	296	1551.01	
F	795	858	300	208	164	W2	0.58	17.0	18.0	715	260	978	2.2	14.0	2117	2157	1.024	226	274	323	1581.77	
G	795	858	300	158	211	W1	0.59	24.5	21.5	688	308	995	0.4	14.0	2154	2148	0.993	210	275	313	1587.75	
H	795	858	300	183	191	W1	0.63	X	X	697	287	984	1.6	13.5	2135	2142	1.003	200	267	310	1553.69	
A	795	858	300	261	203	W3	0.70	25.0	25.0	700	296	995	0.4	14.5	2156	2152	0.998	175	240	275	1587.65	
B	795	858	300	214	192	W3	0.59	32.0	24.0	673	285	958	4.4	14.0	2145	2073	0.966	170	210	259	1427.95	
C	795	858	300	234	172	W3	0.74	25.0	18.0	700	284	984	3.6	15.0	2125	2121	0.998	191	277	290	1577.65	
D	795	858	300	213	224	W3	0.60	25.0	24.5	725	321	1046	-2.6	14.0	2127	2199	1.010	193	256	307	1544.82	
E	795	858	300	220	172	W3	0.56	X	X	684	263	947	5.3	13.0	2125	2078	0.978	170	209	259	1501.90	
F	795	858	300	228	184	W3	0.58	18.0	19.0	718	289	975	2.5	14.0	2117	2160	1.020	223	274	316	1589.73	
G	795	858	300	153	180	W3	0.59	28.5	23.0	698	377	975	2.5	14.0	2133	2137	1.002	215	259	287	1573.51	
H	795	858	300	183	193	W3	0.65	X	X	684	287	971	2.9	13.5	2146	2142	0.998	181	229	250	1540.67	
A	795	858	300	272	219	W4	0.77	24.0	23.0	676	309	985	1.5	14.0	2172	2104	0.969	168	193	241	1483.93	
B	795	858	300	222	169	W4	0.59	27.0	24.0	688	260	948	5.2	13.0	2122	2087	0.984	147	179	221	1413.74	
C	795	858	300	231	161	W4	0.55	25.0	18.0	708	254	962	3.6	13.5	2114	2132	1.009	210	270	319	1534.67	
D	795	858	300	221	180	W4	0.57	27.0	25.0	695	275	970	3.2	13.5	2133	2119	0.993	163	185	213	1516.94	
E	795	858	300	215	170	W4	0.58	X	X	692	262	954	4.5	14.0	2123	2130	0.989	159	192	232	1500.80	
F	795	858	300	205	159	W4	0.54	14.0	15.0	727	253	980	4	14.0	2132	2131	1.009	206	238	294	1571.51	
G	795	858	300	160	179	W4	0.59	22.0	20.0	701	276	977	2.3	14.0	2132	2144	1.006	217	283	327	1544.54	
H	795	858	300	227	194	W4	0.66	X	X	684	286	972	2.8	14.5	2147	2155	1.003	172	225	275	1507.93	

A / C Relación agua / cemento  
 REVEN Revenimiento  
 dp Días promedios  
 AMB Ambiente  
 E Módulo de Elasticidad  
 PVR Peso volumétrico real  
 PVT Peso volumétrico teórico  
 W1 Agua potable  
 W2 Cerro de la Estrella (agua tratada)  
 W3 Cd. Depotiva (agua tratada)  
 W4 San Juan de Aragón (agua tratada)

TABLA No. 20

**RESULTADOS OBTENIDOS EN MEZCLAS DE CONCRETO  
CON LOS CUATRO TIPOS DE AGUAS ANALIZADAS  
CONTENIDO DE CEMENTO 375 kg / m<sup>3</sup> DE CONCRETO**

LABORATORIO	PROPORCIONAMIENTO			AGUA EN MEZCLA			RELACION A / C	TEMPERATURA		VOLUMENES DE MATERIAL				REVEN cm	PESO VOL.		RELACION PVR / PVT	RESISTENCIA				
	BASE kg / m <sup>3</sup>			kg / m <sup>3</sup>				TIPO	°C		AGREG.	PASTA	TOTAL		ARE %	kg / m <sup>3</sup>		kg / cm <sup>2</sup>				
	ARENA	GRAVA	CEMENTO	REAL	MEZCLA				AMB.	MEZCLA											TEORICO	REAL
A	723	862	375	281	219	W1	0.60	27.0	23.0	675	335	1010	-0.58	14.0	2179	2130	1.000	240	312	354	16020	
B	723	862	375	208	127	W1	0.50	20.0	19.0	678	306	982	1.83	15.0	2147	2131	0.993	269	329	356	16720	
C	723	862	375	232	179	W1	0.34	23.0	15.0	684	297	981	1.93	14.0	2139	2171	1.015	285	341	432	17410	
D	723	862	375	222	217	W1	0.58	24.0	21.0	667	335	1002	-0.24	14.0	2177	2169	0.996	262	357	402	16170	
E	723	862	375	227	186	W1	0.50	X	X	679	304	983	1.73	14.5	2146	2164	1.002	256	324	381	16110	
F	723	862	375	224	175	W1	0.48	20.0	22.0	688	298	986	1.43	15.0	2139	2181	1.000	258	354	356	16404	
G	723	862	375	181	199	W1	0.52	26.0	21.0	673	320	993	0.71	13.0	2159	2173	1.006	300	359	380	16350	
H	723	862	375	190	202	W1	0.53	X	X	670	322	992	0.8	14.0	2162	2167	1.002	258	326	383	16320	
A	723	862	375	236	181	W2	0.48	16.0	24.0	659	321	996	0.44	16.0	2141	2129	0.997	234	321	321	15701	
B	723	862	375	214	183	W2	0.50	26.0	22.0	669	300	969	3.12	15.0	2143	2136	0.997	249	325	359	15908	
C	723	862	375	240	187	W2	0.55	24.0	17.0	677	304	981	1.92	14.5	2147	2187	1.005	276	343	407	17147	
D	723	862	375	226	210	W2	0.57	24.0	23.0	665	327	992	0.76	13.5	2170	2188	0.993	280	358	420	17170	
E	723	862	375	212	186	W2	0.51	X	X	672	306	978	2.23	14.5	2148	2150	1.001	239	322	321	15619	
F	723	862	375	222	178	W2	0.48	16.0	19.0	685	297	982	1.83	15.0	2138	2174	1.017	278	355	381	16108	
G	723	862	375	170	222	W2	0.58	25.5	21.0	667	344	1011	-1.10	13.0	2180	2188	1.000	296	347	384	16730	
H	723	862	375	197	201	W2	0.54	X	X	668	320	988	1.2	14.5	2151	2187	0.998	248	328	374	16721	
A	723	862	375	287	228	W3	0.63	24.0	23.0	664	342	1006	-0.93	14.0	2188	2159	0.987	182	267	274	13163	
B	723	862	375	207	180	W3	0.50	31.0	24.0	663	295	948	5.21	15.0	2140	2087	0.975	269	323	377	15627	
C	723	862	375	238	178	W3	0.85	26.0	18.0	675	294	972	3.09	14.0	2138	2143	1.002	239	328	356	15658	
D	723	862	375	221	223	W3	0.61	26.0	25.0	654	340	994	0.62	14.5	2183	2140	0.980	246	326	373	15855	
E	723	862	375	233	185	W3	0.52	X	X	655	299	954	4.54	15.0	2145	2093	0.975	217	283	326	15370	
F	723	862	375	222	178	W3	0.48	18.0	20.0	683	296	975	2.1	14.0	2138	2167	1.014	265	333	423	16301	
G	723	862	375	154	199	W3	0.50	27.5	24.0	671	310	981	1.91	15.0	2149	2189	1.006	274	323	373	15712	
H	723	862	375	208	207	W3	0.56	X	X	657	324	981	1.89	13.0	2167	2131	0.983	224	288	340	15473	
A	723	862	375	240	188	W4	0.51	25.0	24.0	676	305	981	1.95	15.0	2148	2155	1.003	186	258	295	14374	
B	723	862	375	236	182	W4	0.51	27.0	24.0	658	295	954	4.54	14.0	2142	2097	0.979	244	286	347	15874	
C	723	862	375	240	171	W4	0.85	26.0	18.0	677	287	964	3.62	14.5	2131	2138	1.004	257	320	380	16270	
D	723	862	375	241	201	W4	0.58	27.0	26.0	680	312	978	2.25	14.0	2161	2158	0.997	237	313	376	15654	
E	723	862	375	221	177	W4	0.49	X	X	667	293	960	4.02	15.0	2137	2121	0.992	226	292	356	15873	
F	723	862	375	218	173	W4	0.47	13.0	16.0	679	291	970	3.02	14.0	2133	2152	1.009	277	324	391	15976	
G	723	862	375	170	186	W4	0.49	20.5	19.5	674	329	974	3.29	14.0	2148	2166	1.008	276	324	378	16328	
H	723	862	375	192	202	W4	0.34	X	X	660	320	980	1.90	14.5	2162	2135	0.985	230	280	340	16303	

A / C Relación agua / cemento  
 REVEN Revenimiento  
 dp Días promedios  
 AMB Ambiente  
 E Módulo de Elasticidad  
 PVR Peso volumétrico real  
 PVT Peso volumétrico teórico  
 W1 Agua potable  
 W2 Cerro de la Estrella (agua tratada)  
 W3 Cd. Depotiva (agua tratada)  
 W4 San Juan de Aragón (agua tratada)

TABLA No. 21

**RESULTADOS OBTENIDOS EN MEZCLAS DE CONCRETO  
CON LOS CUATRO TIPOS DE AGUAS ANALIZADAS  
CONTENIDO DE CEMENTO 450 kg / m<sup>3</sup> DE CONCRETO**

LABORATORIO	PROPORCIONAMIENTO BASE kg / m <sup>3</sup>			AGUA EN MEZCLA kg / m <sup>3</sup>			RELACION A / C	TEMPERATURA °C		VOLUMENES DE MATERIAL				REVEN cm	PESO VOL kg / m <sup>3</sup>		RELACION PVR / PVT	RESISTENCIA kg / cm <sup>2</sup>			E kg / cm <sup>2</sup>
	ARENA	GRAVA	CEMENTO	REAL	MEZCLA	TIPO		AMB	MEZCLA	AGREG	PASTA	TOTAL	AIRE %		TEORICO	REAL		7 dp	28 dp	90 dp	
A	667	854	450	293	231	W1	0.53	26.0	24.0	643	369	1012	-1.2	15.0	2201	2187	0.994	272	341	390	181437
B	667	854	450	215	193	W1	0.43	19.0	19.0	645	335	980	2.04	14.5	2163	2165	1.001	323	350	442	173038
C	667	854	450	243	191	W1	0.43	23.0	15.0	651	332	983	1.74	14.0	2175	2175	1.006	336	397	469	186812
D	667	854	450	234	226	W1	0.51	24.0	21.5	634	367	1011	-0.06	14.0	2196	2169	0.988	297	395	451	173038
E	667	854	450	236	196	W1	0.44	X	X	650	337	987	1.31	14.5	2166	2178	1.006	287	349	400	173038
F	667	854	450	243	198	W1	0.44	20.0	23.0	655	340	995	0.54	15.0	2168	2195	1.012	315	369	388	171567
G	667	854	450	202	218	W1	0.48	26.5	21.0	641	362	1003	-0.28	15.0	2168	2186	1.000	304	373	402	174856
H	667	854	450	205	214	W1	0.47	X	X	640	357	997	0.29	14.5	2184	2178	0.997	309	384	431	179314
A	667	854	450	280	219	W2	0.50	27.0	25.0	644	367	1001	-0.14	15.0	2189	2179	0.995	269	289	368	170427
B	667	854	450	228	195	W2	0.45	20.0	19.0	636	334	970	3.03	14.0	2165	2136	0.987	248	365	415	174856
C	667	854	450	247	194	W2	0.44	24.0	18.0	644	333	977	2.3	14.0	2184	2157	0.997	344	419	477	185678
D	667	854	450	237	219	W2	0.50	24.0	24.0	635	358	994	0.8	14.0	2189	2162	0.988	309	367	436	174157
E	667	854	450	220	196	W2	0.44	X	X	646	337	983	1.7	14.5	2186	2171	1.002	248	322	370	175357
F	667	854	450	228	186	W2	0.41	16.0	19.0	657	328	985	1.5	14.0	2156	2188	1.015	317	381	430	179502
G	667	854	450	192	216	W2	0.48	22.5	21.0	637	356	993	0.73	13.0	2180	2177	0.999	354	414	439	184254
H	667	854	450	212	213	W2	0.48	X	X	637	355	992	0.81	15.0	2183	2167	0.993	283	351	395	170993
A	667	854	450	273	210	W3	0.48	25.0	25.0	645	348	993	0.86	14.0	2180	2172	0.996	230	329	354	171142
B	667	854	450	233	209	W3	0.48	29.0	24.0	622	346	968	3.22	14.5	2179	2112	0.969	272	328	395	173576
C	667	854	450	249	190	W3	0.44	26.0	19.0	648	329	975	2.53	14.0	2160	2157	0.999	274	341	397	171352
D	667	854	450	235	233	W3	0.53	26.0	25.0	622	372	994	0.63	14.0	2203	2140	0.971	279	380	416	186179
E	667	854	450	228	184	W3	0.42	X	X	637	322	959	4.06	14.0	2154	2128	0.988	281	320	370	173865
F	667	854	450	233	189	W3	0.43	18.0	21.0	652	330	982	1.81	13.5	2159	2174	1.007	268	343	433	186392
G	667	854	450	179	201	W3	0.44	27.0	24.0	640	345	985	1.49	14.5	2171	2156	0.998	323	337	406	176967
H	667	854	450	223	219	W3	0.50	X	X	629	359	983	1.2	14.0	2189	2148	0.982	271	329	387	173681
A	667	854	450	268	204	W4	0.47	24.0	23.0	649	343	992	0.8	15.0	2174	2176	1.001	293	354	312	165119
B	667	854	450	241	190	W4	0.44	27.0	24.0	639	328	967	3.3	14.0	2160	2136	0.989	278	360	420	185682
C	667	854	450	248	182	W4	0.41	26.0	19.0	649	321	970	3	14.5	2152	2157	1.002	304	367	436	179018
D	667	854	450	247	206	W4	0.47	27.0	26.0	634	343	977	2.33	15.0	2175	2140	0.984	293	364	425	184707
E	667	854	450	236	191	W4	0.44	X	X	635	329	964	3.63	14.5	2151	2128	0.985	261	338	365	165262
F	667	854	450	252	202	W4	0.47	13.0	16.0	633	339	972	2.79	13.0	2172	2131	0.981	322	380	442	189642
G	667	854	450	180	198	W4	0.43	20.0	19.0	641	340	981	1.92	16.5	2166	2166	1.000	273	343	369	186593
H	667	854	450	207	214	W4	0.48	X	X	631	355	986	1.38	14.5	2184	2153	0.986	278	336	395	171328

A / C Relación agua / cemento  
 REVEN Revenimiento  
 dp Días promedios  
 AMB Ambiente  
 E Módulo de Elasticidad  
 PVR Peso volumétrico real  
 PVT Peso volumétrico teórico  
 W1 Agua potable  
 W2 Cerro de la Estrella (agua tratada)  
 W3 Cd. Depotiva (agua tratada)  
 W4 San Juan de Aragón (agua tratada)

TABLA No. 22

**RESULTADOS DE CONTENIDO DE AIRE EN LAS MEZCLAS  
( PORCENTAJES )**

**CONTENIDO DE CEMENTO 160 kg**

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	2.25 100%	1.20
C. ESTRELLA W2	2.99 132%	1.03
C. DEPORTIVA W3	4.00 178%	1.51
ARAGÓN W4	4.91 218%	2.18

**CONTENIDO DE CEMENTO 226 kg**

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	2.08 100%	0.90
C. ESTRELLA W2	2.31 111%	0.94
C. DEPORTIVA W3	3.21 154%	1.44
ARAGÓN W4	4.17 200%	1.17

**CONTENIDO DE CEMENTO 300 kg**

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	1.76 100%	0.73
C. ESTRELLA W2	1.91 109%	1.25
C. DEPORTIVA W3	3.1 176%	1.57
ARAGÓN W4	3.43 195%	1.22

**CONTENIDO DE CEMENTO 376 kg**

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	1.2 100%	0.61
C. ESTRELLA W2	1.57 131%	0.86
C. DEPORTIVA W3	2.5 208%	1.69
ARAGÓN W4	2.9 242%	1.09

**CONTENIDO DE CEMENTO 460 kg**

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	1.18 100%	0.76
C. ESTRELLA W2	1.51 128%	0.90
C. DEPORTIVA W3	1.9 161%	1.20
ARAGÓN W4	2.4 203%	0.99

NOTA El contenido de Aire, está calculado por el volumen de acuerdo con las cantidades de materiales del proporcionamiento del ACI - 211.1  
% Porcentaje con respecto al testigo (agua potable)

TABLA No. 22

**RESULTADOS DE CONTENIDO DE AIRE EN LAS MEZCLAS  
( PORCENTAJES )**

**CONTENIDO DE CEMENTO 150 kg**

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	2.25	1.20
	100%	
C. ESTRELLA W2	2.99	1.03
	132%	
C. DEPORTIVA W3	4.00	1.51
	178%	
ARAGÓN W4	4.91	2.18
	218%	

**CONTENIDO DE CEMENTO 225 kg**

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	2.08	0.90
	100%	
C. ESTRELLA W2	2.31	0.94
	111%	
C. DEPORTIVA W3	3.21	1.44
	154%	
ARAGÓN W4	4.17	1.17
	200%	

**CONTENIDO DE CEMENTO 300 kg**

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	1.76	0.73
	100%	
C. ESTRELLA W2	1.91	1.25
	109%	
C. DEPORTIVA W3	3.1	1.57
	176%	
ARAGÓN W4	3.43	1.22
	195%	

**CONTENIDO DE CEMENTO 375 kg**

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	1.2	0.61
	100%	
C. ESTRELLA W2	1.57	0.86
	131%	
C. DEPORTIVA W3	2.5	1.69
	208%	
ARAGÓN W4	2.9	1.09
	242%	

**CONTENIDO DE CEMENTO 450 kg**

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	1.18	0.76
	100%	
C. ESTRELLA W2	1.51	0.90
	128%	
C. DEPORTIVA W3	1.9	1.20
	161%	
ARAGÓN W4	2.4	0.99
	203%	

NOTA: El contenido de Aire, está calculado por el volumen de acuerdo con las cantidades de materiales del proporcionamiento del ACI - 211.1  
% Porcentaje con respecto al testigo (agua potable)

TABLA No. 23

RESULTADOS DEL PESO VOLUMÉTRICO REAL  
EN CONCRETO FRESCO (NOM C - 160) kg/m3

CONTENIDO DE CEMENTO 160 kg

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	2125	22.51
	100%	
C. ESTRELLA W2	2090	20.71
	98%	
C. DEPORTIVA W3	2069	25.80
	97%	
ARAGÓN W4	2062	24.81
	97%	

CONTENIDO DE CEMENTO 225 kg

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	2148	19.21
	100%	
C. ESTRELLA W2	2128	20.21
	99%	
C. DEPORTIVA W3	2108	32.61
	98%	
ARAGÓN W4	2105	43.00
	98%	

CONTENIDO DE CEMENTO 300 kg

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	2164	18.41
	100%	
C. ESTRELLA W2	2149	21.31
	99%	
C. DEPORTIVA W3	2133	41.91
	99%	
ARAGÓN W4	2121	22.81
	98%	

CONTENIDO DE CEMENTO 376 kg

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	2167	15.70
	100%	
C. ESTRELLA W2	2165	22.11
	100%	
C. DEPORTIVA W3	2135	30.11
	98%	
ARAGÓN W4	2140	22.20
	99%	

CONTENIDO DE CEMENTO 450 kg

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
POTABLE W1	2179	10.10
	100%	
C. ESTRELLA W2	2167	15.90
	99%	
C. DEPORTIVA W3	2150	22.00
	98%	
ARAGÓN W4	2148	17.40
	98%	



### **c) REVENIMIENTO**

La consistencia del concreto "movilidad de la mezcla" se midió con el revenimiento de acuerdo al método de prueba de la NOM C - 156 <sup>(24)</sup> y las mezclas se efectuaron para un revenimiento de 14 cm. con una tolerancia de más o menos 1 cm, esta variación no tiene efecto significativo en el resultado en el resultado del concreto, ya que se realizó el ajuste correspondiente a la mezcla.

## **V.2 CONCRETO ENDURECIDO**

### **a) RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Con relación a la resistencia a la compresión, las tablas 17, 18, 19, 20 y 21 contienen los resultados obtenidos a 7, 28 y 90 días de edad, valores promedio de dos ensayos de especímenes cilíndricos estándar, para obtener una evaluación, en la Tabla No. 24 se muestran los valores a las tres edades mencionadas, donde se aprecia como variante el consumo de cemento.

Como puede observarse, los valores obtenidos para el agua potable se consideraron el 100% con esta relación en general, se acusa una disminución de resistencias para los concretos que se elaboraron con las aguas tratadas, principalmente con las de Ciudad Deportiva y Aragón.

### **b) MÓDULO DE ELASTICIDAD**

La Tabla No. 25 conteniendo los resultados del Módulo de Elasticidad Estático del Concreto a la edad de 28 días y determinado como se indica en el método de prueba de la NOM C -128 <sup>(22)</sup>, nos muestra una disminución del módulo elástico de hasta un 14% para los concretos con menor contenido de cemento y con agua del Cerro de la Estrella, en tanto que para los concretos con mayor contenido de cemento y con la misma agua del Cerro de la Estrella se obtuvo un incremento del 4%.

TABLA No. 24

RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN LAS MEZCLAS ANALIZADAS  
(NOM C - 83)

CONTENIDO DE CEMENTO 150 kg

CONTENIDO DE CEMENTO 225 kg

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x			DESVIACIÓN ESTANDAR			TIPO DE AGUA	PROMEDIO x			DESVIACIÓN ESTANDAR		
	7 Dias	28 Dias	90 Dias	7 Dias	28 Dias	90 Dias		7 Dias	28 Dias	90 Dias	7 Dias	28 Dias	90 Dias
POTABLE	65.50	92.00	108.00	9.80	7.60	13.67	POTABLE	137.00	191.00	232.00	21.80	21.60	21.10
	100%	100%	100%					100%	100%	100%			
C. ESTRELLA	65.00	93.00	112.00	6.82	9.67	12.96	C. ESTRELLA	133.00	177.00	210.00	16.30	24.20	32.80
	99%	101%	104%					97%	93%	91%			
C. DEPORTIVA	59.50	84.60	108.00	7.20	7.34	14.00	C. DEPORTIVA	123.00	162.00	198.00	11.80	21.40	21.80
	91%	92%	100%					90%	85%	85%			
ARAGON	64.00	90.25	113.75	9.88	7.94	13.82	ARAGÓN	135.00	176.00	219.00	17.50	15.70	19.40
	98%	98%	105%					99%	92%	94%			

CONTENIDO DE CEMENTO 300 kg

CONTENIDO DE CEMENTO 375 kg

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x			DESVIACIÓN ESTANDAR			TIPO DE AGUA	PROMEDIO x			DESVIACIÓN ESTANDAR		
	7 Dias	28 Dias	90 Dias	7 Dias	28 Dias	90 Dias		7 Dias	28 Dias	90 Dias	7 Dias	28 Dias	90 Dias
POTABLE	211.00	282.00	315.00	16.24	30.10	31.75	POTABLE	266.50	337.50	392.40	24.20	22.40	20.70
	100%	100%	100%					100%	100%	100%			
C. ESTRELLA	202.00	259.00	302.00	17.37	27.39	33.00	C. ESTRELLA	265.50	324.50	370.00	20.20	34.20	37.20
	96%	99%	96%					100%	96%	94%			
C. DEPORTIVA	190.00	245.00	288.00	20.00	27.00	20.76	C. DEPORTIVA	238.80	303.00	353.10	39.20	42.20	40.00
	90%	94%	91%					90%	90%	90%			
ARAGÓN	184.00	232.00	288.00	24.80	33.88	39.37	ARAGÓN	242.30	298.80	351.00	29.50	30.90	32.90
	87%	88%	91%					91%	88%	90%			

CONTENIDO DE CEMENTO 450 kg

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x			DESVIACIÓN ESTANDAR		
	7 Dias	28 Dias	90 Dias	7 Dias	28 Dias	90 Dias
POTABLE	305.00	370.00	422.00	20.28	21.52	30.69
	100%	100%	100%			
C. ESTRELLA	296.00	367.00	415.00	41.36	45.32	39.60
	97%	99%	98%			
C. DEPORTIVA	277.00	342.00	395.00	25.45	22.00	25.00
	91%	92%	94%			
ARAGÓN	278.00	344.00	395.00	35.40	35.80	45.16
	90%	93%	94%			

TABLA No 25

RESULTADOS DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO  
A 28 DÍAS DE EDAD (NOM C - 129)

CONTENIDO DE CEMENTO 150 kg

CONTENIDO DE CEMENTO 225 kg

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x kg / cm 2	DESVIACIÓN ESTANDAR kg / cm 2	TIPO DE AGUA	PROMEDIO x kg / cm 2	DESVIACIÓN ESTANDAR kg / cm 2
POTABLE	116,490	8,350	POTABLE	149,134	7,409
	100%			100%	
C. ESTRELLA	99,743	23,234	C. ESTRELLA	145,784	16,424
	86%			98%	
C. DEPORTIVA	110,734	13,545	C. DEPORTIVA	138,224	8,704
	95%			93%	
ARAGÓN	109,437	13,351	ARAGÓN	139,727	9,223
	94%			94%	

CONTENIDO DE CEMENTO 300 kg

CONTENIDO DE CEMENTO 375 kg

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x kg / cm 2	DESVIACIÓN ESTANDAR kg / cm 2	TIPO DE AGUA	PROMEDIO x kg / cm 2	DESVIACIÓN ESTANDAR kg / cm 2
POTABLE	167,523	10,725	POTABLE	170,013	14,515
	100%			100%	
C. ESTRELLA	166,461	7,971	C. ESTRELLA	177,165	13,712
	99%			10460%	
C. DEPORTIVA	154,175	6,206	C. DEPORTIVA	168,406	12,557
	92%			98%	
ARAGÓN	150,836	11,856	ARAGÓN	158,157	7,317
	90%			93%	

CONTENIDO DE CEMENTO 450 kg

TIPO DE AGUA	PROMEDIO x kg / cm 2	DESVIACIÓN ESTANDAR kg / cm 2
POTABLE	178,683	5,328
	100%	
C. ESTRELLA	175,498	6,431
	99%	
C. DEPORTIVA	171,862	7,531
	97%	
ARAGON	164,805	9,600
	93%	

### V.3 MORTEROS

Con objeto de obtener un parámetro de comparación de acuerdo con las recomendaciones del ACI - 318 - 83 <sup>(4)</sup> y la Especificación METRO Vol. 3 de 1987 <sup>(6)</sup>, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión en mezclas de morteros hidráulicos, en cubos de acuerdo a los procedimientos de prueba indicados en la Norma NOM C - 61 <sup>(12)</sup> y de tiempos de fraguado con aguja de Vicat, según lo indica la norma NOM C - 59 <sup>(11)</sup>.

La Tabla No. 26 nos muestra los resultados obtenidos de las pruebas en morteros hidráulicos. Para la resistencia a la compresión las edades de prueba fueron a 7, 28 y 90 días, los resultados obtenidos del agua potable se consideraron al 100% y con ello se observa que de las tres aguas analizadas, solo la de San Juan de Aragón resultó inferior al valor especificado, en tanto que con las otras aguas Cerro de la Estrella y Deportiva fue mayor un 10%, sin embargo a 90 días de edad se acusa para todas las aguas tratadas una variación hacia abajo menor que el 90% mínimo contemplado por el ACI - 318 - 83 <sup>(4)</sup>.

En lo que se relaciona con los tiempos de fraguado Vicat, los resultados muestran variaciones normales dentro de los valores comparados con las especificaciones del METRO Vol. 3 1987 <sup>(6)</sup>.

TABLAS No. 26

RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN EN CUBOS (NOM C - 61)  
 RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS EN MORTEROS HIDRÁULICOS  
 kg / cm<sup>2</sup>

AGUA PROCEDENTE DE:	EDAD DE LA PRUEBA		
	7 DIAS	28 DIAS	90 DIAS
POTABLE	240	390	495
	100%	100%	100%
C. ESTRELLA	264	372	414
	110%	95%	84%
DEPORTIVA	264	392	416
	110%	101%	84%
ARAGÓN	236	266	440
	98%	68%	0.89
ESPECIFICACIÓN ACI - 318 - 83 VALOR MÍNIMO	90%	90%	NO TIENE

NOTAS: Resultado del promedio de dos especímenes kg / cm<sup>2</sup>  
 % porcentaje con respecto al agua potable.

TIEMPOS DE FRAGUADO VICAT (NOM C - 59)

AGUA PROCEDENTE DE:	TIEMPO DE FRAGUADO HORAS:MINUTOS		
	FRAGUADO INICIAL	FRAGUADO FINAL	DIFERENCIA
POTABLE	02:00	03:00	01:00
	00:00	00:00	
C. ESTRELLA	02:00	02:30	00:30
	00:00	00:30	
DEPORTIVA	01:48	02:15	00:32
	00:12	00:45	
ARAGÓN	02:19	03:00	00:41
	00:19	00:00	
ESPECIFICACIÓN ACI - 318 - 83 VALOR MÍNIMO	± 00:45	± 00:45	



Valores negativos, disminuye el tiempo de fraguado.

#### V.4 PRUEBAS ESPECIALES TENTATIVAS

Las pruebas especiales tentativas se refieren a especímenes de vigas para las pruebas de expansión y contracción en ellas se detectan cambios de longitud, estos métodos tienen el objeto de establecer un procedimiento para determinar el cambio de longitud de concreto o mortero hidráulico, debido a causas que no sean la aplicación de fuerzas externas y cambios de temperatura. Es lo suficientemente restrictivo para usarse como base de ensayos de aceptación, pero puede adaptarse, si se desea, para estudios de cambios volumétricos que impliquen planes de trabajo o condiciones ambientales diferentes de los establecidos en este método.

La prueba de velocidad ultrasónica mide las ondas longitudinales dentro del concreto y determina cualitativamente la homogeneidad, agrietamiento, deterioro y el módulo de elasticidad del concreto.

La Tabla No. 27 contiene resultados obtenidos de contracción por secado en especímenes de vigas de 3" X 3" X 10", realizados bajo los procedimientos de la Norma NOM C -173 <sup>(34)</sup>, las variables anotadas son el consumo de cemento y tipo de agua empleada, se observa que se define un rango con la pareja de pruebas efectuadas para cada tipo de agua y comparándolos entre las aguas analizadas se encuentra un incremento significativo que varía de 5% a 152% para las aguas tratadas con relación al agua potable.

TABLA No. 27

**VALORES CORRESPONDIENTES DE CONTRACCIÓN POR SECADO  
EN BARRAS DE CONCRETO (NOM C - 173)**

CONSUMO DE CEMENTO kg / m <sup>3</sup>	AGUA POTABLE		C. ESTRELLA		CD. DEPORTIVA		ARAGÓN	
	150	375	225	375	225	450	225	450
VALORES	0.00066	0.00038	0.00071	0.00045	0.00083	0.00099	0.00055	0.00296
	0.00057	0.00048	0.00071	0.00078	0.00074	0.00035	0.00235	0.00066
		0.00079	0.00101	0.00067	0.00039	0.00067	0.00095	0.00209
			0.00081	0.0006	0.00084	0.00032	0.00067	0.00052
PROMEDIO	0.00062	0.00055	0.00078	0.00082	0.00070	0.00058	0.00113	0.00156
RANGO	55 - 62		62 - 76		58 - 70		113 - 156	
PORCENTAJE DE VARIACIÓN	100 - 100		113 - 123		105 - 113		205 - 252	

NOTA: Los Valores del Agua Potable se consideraron al 100%

Por otra parte, los resultados obtenidos de las pruebas de expansión en vigas de 1" X 1" X 10", realizadas de acuerdo con el método de prueba de la NOM C - 173 <sup>(34)</sup>, las lecturas se llevaron a cabo a 1, 7, 14, 28 y 56 días de edad, para las aguas Potable, Cerro de la Estrella, Cd. Deportiva y Aragón. Los valores de la deformación unitaria muestran variaciones indefinidas, para obtener conclusiones determinantes, sin embargo el Agua Potable con la del Cerro de la Estrella presentan una tendencia similar, aunque dos valores del agua del Cerro de la Estrella sean negativos.

La Tabla No. 28 contiene los resultados de las pruebas de velocidad del pulso ultrasónico de acuerdo con el método de prueba ASTM C -215 <sup>(42)</sup> con consumos de cementos de 225 y 450 kg./m<sup>3</sup> y con las aguas analizadas Potable, Cerro de la Estrella, Cd. Deportiva y Aragón, para esta prueba se tomó el promedio de cuatro especímenes, para el caso del agua potable, los valores se relacionaron al 100% con el objeto de hacer las comparaciones entre las aguas analizadas se observa que la variación de los valores de esta llega a un 10% menor, valor no definido, ya que se requieren de más pruebas realizadas a periodos de 28, 56, 90 días y un año, para poder definir este parámetro, para aguas tratadas, cabe señalar que esta prueba generalmente se utiliza para determinar la homogeneidad, agrietamiento y/o deterioro del concreto, los valores de pulso ultrasónico demuestran que existe en el concreto realizado con agua tratada una reducción en el pulso o frecuencia debida a alguna forma de falta de homogeneidad del concreto <sup>(42)</sup>.



TABLA No. 28

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO EN BARRAS DE CONCRETO  
(MÉTODO DE ULTRASONIDO)  
NOM C - 275

MUESTRA	TIPO DE AGUA	CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m <sup>3</sup> )	DISTANCIA TRANSDUCTORA	TIPO DE MEDICION	TIEMPO x 10 - 6 s	VELOCIDAD m / s	PROMEDIO
1 - 2 (1)	POTABLE	225	0.254	DIRECTA	80.60	3703	
1 - 2 (2)	POTABLE	225	0.255	DIRECTA	79.60	3566	
1 - 2 (3)	POTABLE	225	0.254	DIRECTA	78.60	3608	
1 - 2 (4)	POTABLE	225	0.254	DIRECTA	80.50	3562	3610
							100%
1 - 4 (1)	POTABLE	450	0.254	DIRECTA	66.60	3814	
1 - 4 (2)	POTABLE	450	0.256	DIRECTA	68.20	3754	
1 - 4 (3)	POTABLE	450	0.259	DIRECTA	68.50	3781	
1 - 4 (4)	POTABLE	450	0.256	DIRECTA	68.00	3765	3779
							100%
2 - 2 (1)	C. ESTRELLA	225	0.254	DIRECTA	78.70	3227	
2 - 2 (2)	C. ESTRELLA	225	0.255	DIRECTA	76.50	3333	
2 - 2 (3)	C. ESTRELLA	225	0.260	DIRECTA	79.70	3262	
2 - 2 (4)	C. ESTRELLA	225	0.257	DIRECTA	78.20	3223	3261
							90%
2 - 4 (1)	C. ESTRELLA	450	0.258	DIRECTA	73.50	3510	
2 - 4 (2)	C. ESTRELLA	450	0.254	DIRECTA	73.30	3465	
2 - 4 (3)	C. ESTRELLA	450	0.255	DIRECTA	73.00	3493	
2 - 4 (4)	C. ESTRELLA	450	0.254	DIRECTA	74.60	3405	3468
							92%
3 - 2 (1)	DEPORTIVA	225	0.255	DIRECTA	74.70	3414	
3 - 2 (2)	DEPORTIVA	225	0.254	DIRECTA	74.50	3409	
3 - 2 (3)	DEPORTIVA	225	0.253	DIRECTA	74.40	3400	
3 - 2 (4)	DEPORTIVA	225	0.254	DIRECTA	75.10	3382	3401
							94%
3 - 4 (1)	DEPORTIVA	450	0.259	DIRECTA	66.00	3924	
3 - 4 (2)	DEPORTIVA	450	0.254	DIRECTA	66.00	3848	
3 - 4 (3)	DEPORTIVA	450	0.256	DIRECTA	68.90	3716	
3 - 4 (4)	DEPORTIVA	450	0.256	DIRECTA	66.60	3844	3833
							101%
4 - 2 (1)	ARAGÓN	225	0.256	DIRECTA	72.30	3541	
4 - 2 (2)	ARAGÓN	225	0.255	DIRECTA	71.60	3552	
4 - 2 (3)	ARAGÓN	225	0.257	DIRECTA	71.60	3589	
4 - 2 (4)	ARAGÓN	225	0.253	DIRECTA	70.30	3599	3570
							99%
4 - 4 (1)	ARAGÓN	450	0.256	DIRECTA	68.80	3721	
4 - 4 (2)	ARAGÓN	450	0.252	DIRECTA	69.60	3621	
4 - 4 (3)	ARAGÓN	450	0.254	DIRECTA	69.60	3649	
4 - 4 (4)	ARAGÓN	450	0.256	DIRECTA	69.20	3699	3673
							97%

## VI.- COMPARACIONES ENTRE RESULTADOS DE CONCRETOS

En este capítulo se describen los comentarios de las comparaciones entre resultados de concretos analizados de las Aguas tratadas en estudio y los comentarios de los integrantes del comité que participaron realizando las pruebas en cada uno de sus laboratorios.

Por razones convenientes, los laboratorios de las empresas participantes se nombran bajo nombre alfabético.

### LABORATORIOS

- |   |          |   |          |
|---|----------|---|----------|
| - | <b>A</b> | - | <b>E</b> |
| - | <b>B</b> | - | <b>F</b> |
| - | <b>C</b> | - | <b>G</b> |
| - | <b>D</b> | - | <b>H</b> |

### VI.1 COMPARATIVA DE CONCRETOS

El presente estudio realizado con la finalidad de establecer un comparativo entre el comportamiento de concretos elaborados con Agua Potable y concretos en los que se utilizó como agua de mezcla a tres diferentes aguas tratadas, provenientes de las Plantas de tratamiento del: Cerro de la Estrella, Ciudad Deportiva y Bosques de Aragón.

Los índices entre los que se estableció la comparación fueron:

- Inclusión de Aire a través del peso volumétrico del concreto.
- Demanda unitaria de agua.
- Tiempos de Fraguado en morteros.
- Contracción por secado.
- Resistencia a la compresión para igual relación agua/cemento, a diferentes edades.
- Módulo de elasticidad estático.
- Variación del módulo de elasticidad dinámico a través del tiempo.

## Programa para la elaboración de mezclas

Se diseñaron cuatro series de mezclas, la primera serie utilizando el agua potable y las otras tres series, cada una de ellas con una de las aguas tratadas.

Ahora bien, cada serie está constituida por cinco mezclas diferentes correspondientes a contenidos teóricos de cemento de 150, 225, 300, 375 y 450 kilogramos por metro cúbico de concreto.

La razón de elaborar estas cinco diferentes mezclas para cada serie, estriba en la posibilidad que brinda de elaborar curvas que relacionen los diferentes índices del concreto en función de toda la gama de valores de relación agua/cemento comúnmente utilizados.

## Participantes

Se contó con la participación de ocho laboratorios, uno de ellos propuesto por el organismo que administra el agua, el de una asociación a la que pertenecen algunas empresas premezcladoras y otros seis restantes laboratorios de control interno pertenecientes a empresas premezcladoras.

## VI.2 CONDICIONES EN LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS

Para la elaboración de las mezclas, todos los laboratorios utilizaron los mismos materiales, ya que se dispuso del mismo cemento y de un volumen común de agregados, tanto para la grava como para la arena, de donde todos los participantes dispusieron las cantidades suficientes para las pruebas.

Los proporcionamientos de las mezclas fueron comunes, ya que hicieron cinco diseños diferentes, uno para cada consumo teórico de cemento.

Entre los participantes determinaron la humedad de la arena y de la grava en el momento en que realizaban las mezclas y únicamente se ajustó la cantidad necesaria de agua para obtener en todos los casos la misma consistencia de la mezcla, medida a través del revenimiento y con una tolerancia de  $\pm 1$  cm.

Posteriormente con la información proporcionada en relación a la humedad de los agregados y la cantidad de agua requerida para obtener en cada mezcla la consistencia deseada, se procedió a calcular matemáticamente.

- El contenido unitario real de cemento.
- El agua de mezcla unitaria.
- Las cantidades unitarias de grava y arena en estado de saturación y superficialmente secas.
- El peso volumétrico real de cada mezcla.

Con esta información así como con los resultados de los ensayos a que fueron sometidas las diferentes mezclas, se integró la base de datos.

Estado actual de la primera etapa del estudio.

Hasta este momento se ha procesado desde 1990 la información relativa a los índices del concreto en estado fresco, resistencia a la compresión hasta 90 días y módulo de elasticidad a 28 días.

Los comportamientos se presentan en forma gráfica y tabular, con la intención de que rápida y fácilmente puedan ser apreciados.

### **VI.3 CONSIDERACIONES GENERALES**

#### **a) RELACIÓN GRAVA / ARENA vs. CONSUMO DE AGUA ( $W_m$ ).**

Manteniendo del mismo orden el consumo de cemento en una mezcla determinada, la demanda de agua principalmente es función de la relación grava/arena, a medida que esta relación varía, el contenido de arena cambia, aumentando o disminuyendo la superficie específica total de los agregados.

Por esa razón, es que se determinó la demanda de agua para las mezclas de cada serie, a relaciones de grava/arena constantes. Es claro que al conservar constante la principal causa de variación del consumo de agua, se puede deducir razonablemente en los diferentes consumos de agua de mezcla, entre mezclas equivalentes pero elaboradas con las diferentes aguas tratadas, que son resultados justamente de la influencia de los compuestos que contienen las aguas en estudio.

Las mezclas de las series elaboradas con  $W_3$  y  $W_4$ , en términos generales tuvieron una demanda menor de agua, con respecto al  $W_1$  de referencia, con el  $W_3$  se tuvo una reducción del orden del 4% en tanto que para el  $W_4$  la reducción fue de hasta del 10%.

Las mezclas en las que se usó el  $W_2$ , por el contrario de las elaboradas con  $W_3$  y  $W_4$  tuvieron un mayor consumo de agua con respecto al testigo  $W_1$ . Esta situación se presentó para relaciones agua/cemento menores que 0.75, que son las comúnmente utilizadas en la producción de concreto a nivel industrial.

#### **b) RELACIÓN AGUA / CEMENTO vs. PESO VOLUMÉTRICO.**

En las mezclas en las que se utilizó tanto el agua  $W_3$  como  $W_4$ , para relaciones agua/cemento idénticas, el peso volumétrico, con respecto a las mezclas testigo en las que se empleó  $W_1$ , disminuyó en promedio del orden de un 2% y para relaciones agua/cemento altas, hasta en un 3%.

La única explicación razonable ante este efecto, es que las sustancias contenidas en ambas aguas produjeron gas. No resulta lógica otra explicación, ya que a pesar de que requirieron un menor contenido de agua, lo cual se traduciría en un aumento del peso volumétrico en lugar de una disminución, su peso volumétrico fue menor.

En lo que se refiere a las mezclas elaboradas con  $W_2$ , la disminución en el peso volumétrico que fue del orden del 1% en promedio, se explica como consecuencia de la mayor demanda de agua, lo cual de alguna manera es menos crítico que por una inclusión de gas no controlada.

### c) DISPERSIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO CON RESPECTO AL MODELO

La dispersión de los pesos volumétricos con respecto al modelo, se expresa en función del valor del Error Estándar.

Resulta por demás ilustrativo que tanto para el caso de las mezclas en las que se utilizó  $W_3$  como en las que se usó  $W_4$ , el valor del Error Estándar que fue respectivamente de 30 y 29  $\text{kg/m}^3$ , haya sido hasta un 36% mayor que el valor de 22  $\text{kg/m}^3$  que se obtuvo para  $W_1$  y  $W_2$ .

Esta situación confirma lo manifestado líneas atrás, en el sentido de que la disminución del peso volumétrico en las mezclas en las que se usó  $W_3$  y  $W_4$ , se debe a la producción de gas por la reacción entre el cemento y los compuestos en solución del agua y posiblemente una inclusión de gas no controlada, la cual pudo ser causa de una mayor dispersión de los valores.

Para el caso del agua  $W_2$  y para las resistencias más comúnmente empleadas, este efecto prácticamente no se dejó sentir.

Es importante mencionar el hecho de que el detrimento en el valor de  $E$  a 28 días, que como se menciono va del 3 al 6% para  $W_3$  y  $W_4$  y que como se observa en la Tabla No. 29, equivale a una disminución del orden de 6000 a 11000  $\text{kg/cm}^2$ , es un efecto prácticamente irreversible, en otras palabras esta disminución en el valor de  $E$ , no podría ser recuperada por más que se incremente su resistencia a la compresión.

Para obtener el mismo valor de  $E$  28 en las mezclas elaboradas con  $W_1$ , matemáticamente se obtienen sobreconsumos de cemento por metro cúbico de concreto.

En lo que se refiere a los valores del Error Estándar con respecto al modelo, igualmente que en el caso de las resistencias, la dispersión es mayor, tanto en la relación de resistencia vs.  $E$  28 como en consumo de cemento vs.  $E$  28.

**d) CURVAS EDAD vs. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.**

Todos los valores de resistencia obtenidas para cada mezcla y cada serie a las diferentes edades en que se realizaron los ensayos, así como las proyecciones a edades en que se realizaron los ensayos, así como las proyecciones a edades mayores, se encuentran en las Figuras 2, 3 y 4.

Simplemente se destaca que la diferencia en menos o disminución en el valor de los índices evaluados, se va incrementando, en todos los casos, a medida que la edad del concreto aumenta.

FIGURA No 2

**CURVA DE EDAD vs. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

**EDAD 7 DÍAS**

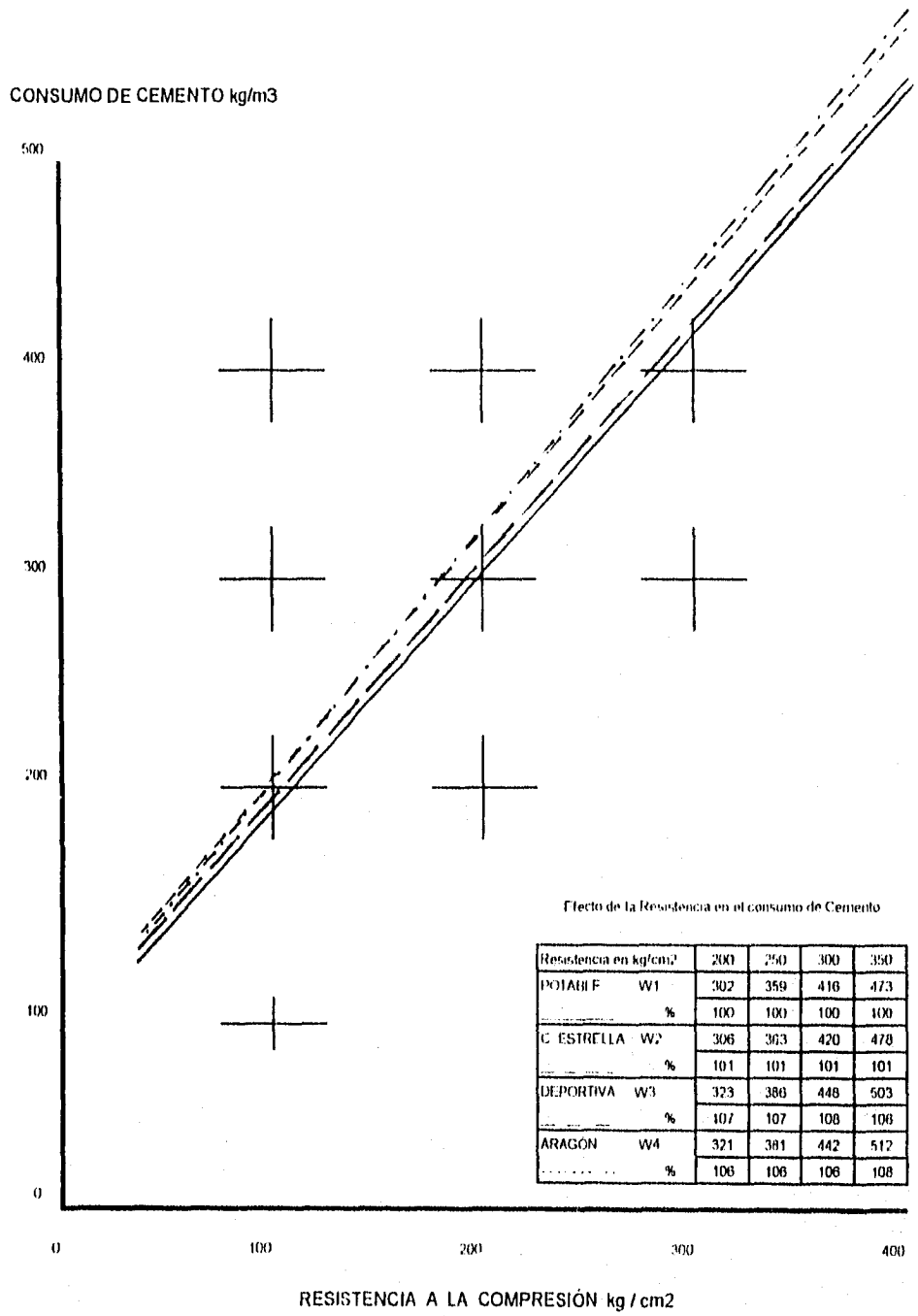


FIGURA No 3

**CURVA DE EDAD vs. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**  
**EDAD 28 DÍAS**

CONSUMO DE CEMENTO kg/m<sup>3</sup>

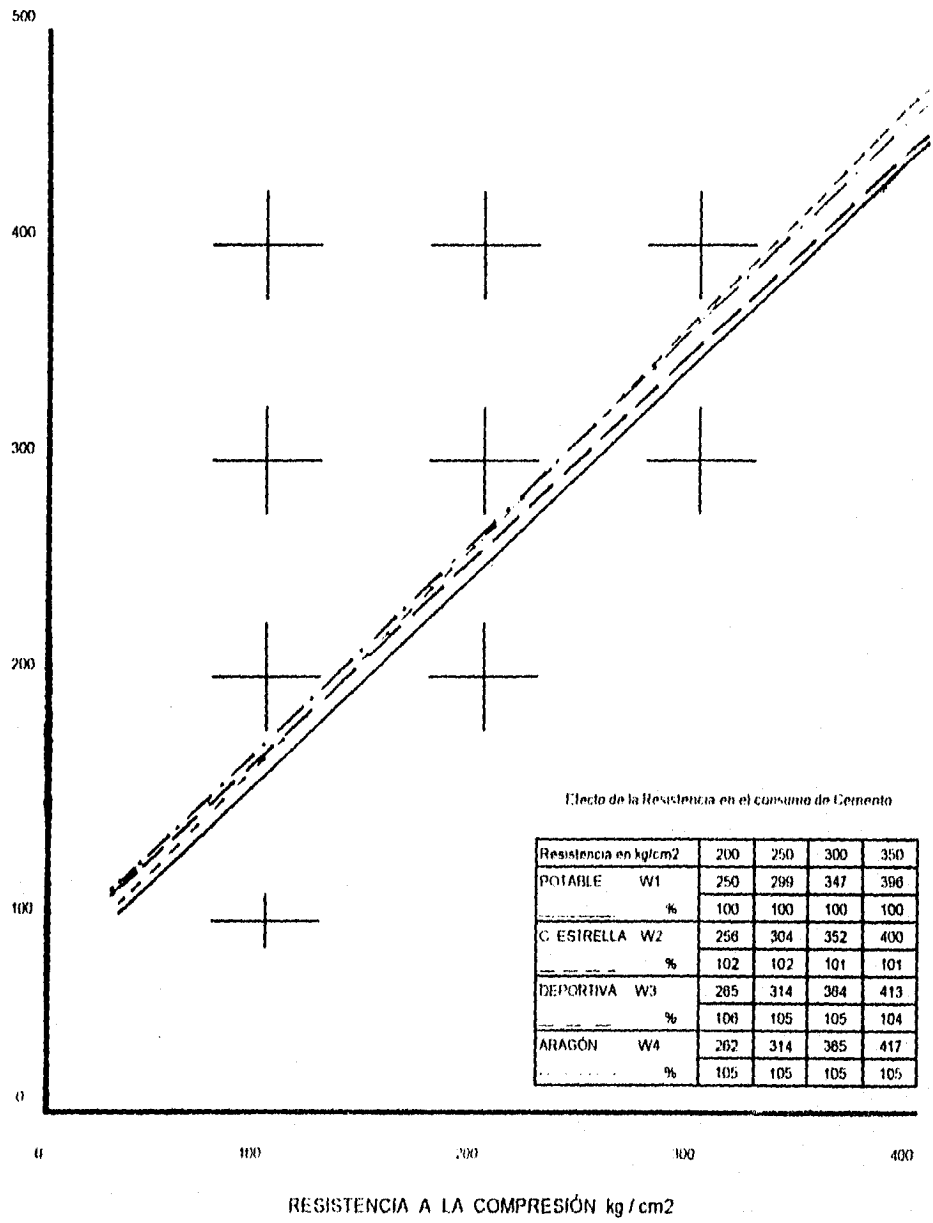
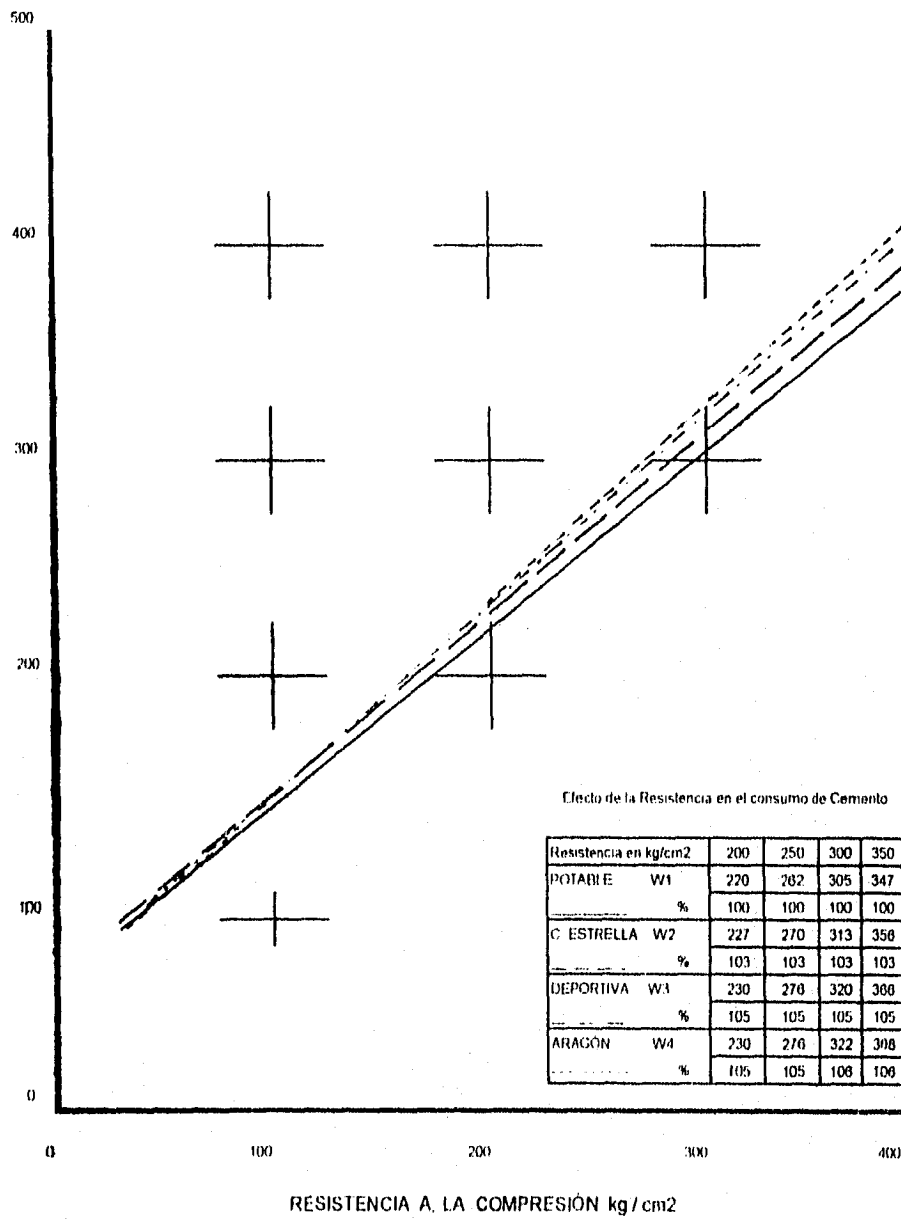




FIGURA No. 4

CURVA DE EDAD vs. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
 EDAD 90 DÍAS

CONSUMO DE CEMENTO kg/m<sup>3</sup>



## VII.- CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en las mezclas de concreto y mortero hidráulico en la primera etapa del proyecto para determinar los efectos del Agua Residual Tratada en la Elaboración de Concreto Hidráulico, se establecen las siguientes, consideraciones y recomendaciones derivadas de esta tesis.

### VII.1 MATERIALES

**Agregados.-** Los agregados Grava y Arena, provenientes de una mina del valle de Texcoco, utilizados en la elaboración de las mezclas de concreto, son "aceptables" ya que cumplieron los requisitos especificados en las normas y reglamentos vigentes. NOM C-111 <sup>(20)</sup> y el Reglamento del D.D.F. <sup>(6)</sup> que establece como porcentaje máximo en peso el 15% para el material más fino que pasa la malla No. 200, tanto para concretos clase 1, como para el clase 2 (Estructural), en tanto que Algunas especificaciones federales para pavimentos de aeropuertos, requieren límites más ajustados en los contenidos de substancias deleznales en agregados finos y gravas para las cuales, el ASTM C 33 <sup>(3,41)</sup> (ACI Manual Of Concrete Inspection y Especificaciones Normalizadas para Agregados en el Concreto), marca restricciones más ajustadas que podrían ir del 0.1% por ciento para partículas blandas y tolerar hasta el 0.5% por ciento para el material que pasa la malla No. 200.

**Cemento.-** El Cemento Portland Tipo 1 de la marca Tolteca, cumplió con los requisitos químicos y físicos establecidos en las especificaciones Norma NOM C 1 <sup>(9)</sup>.

**Agua.-** Los resultados de las pruebas químicas del Agua Potable W<sub>1</sub> cumplió las especificaciones de la norma NOM C-122 <sup>(21)</sup>, excepto en el parámetro de "Grasas y Aceites", el cual no satisface el valor especificado en vista de que excede significativamente, cabe hacer mención que este parámetro en el agua potable se considera extraordinario.

Para las Aguas Residuales Tratadas de las Plantas Cerro de la Estrella W<sub>2</sub>, Ciudad Depo en la Tabla No. 30, arroja los mejores resultados de las tres aguas tratadas analizadas rtiva W<sub>3</sub> y San Juan de Aragón W<sub>4</sub>, los parámetros que no cumplieron son "Grasas y Aceites" y "Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>", los valores se excedieron en más de 20 y 2 veces la tolerancia máxima especificada respectivamente.

Durante el almacenamiento de las aguas tratadas destinadas para la elaboración de las mezclas de concreto, se observó que las aguas W<sub>3</sub> y W<sub>4</sub>, provenientes de

las plantas de tratamiento Ciudad Deportiva y San Juan de Aragón, después de dos días de almacenamiento presentaban signos de fermentación, formándose algunas partículas con cierto tipo de coagulación con cambio de coloración de verdoso a café. Las especificaciones del METRO 1987 (COVITUR - SECRETARÍA GENERAL DE OBRAS DDF) <sup>(1)</sup>, establece para el almacenamiento y manejo de las aguas para la elaboración de concretos los siguiente:

"SI NO SE DISPONE DE AGUA CORRIENTE, DEBERÁ ALMACENARSE EN TANQUES CON CAPACIDAD SUFICIENTE PARA CONTENER LA CANTIDAD TOTAL QUE SE REQUIERA EN UN DÍA DE TRABAJO POR LO MENOS LOS TANQUES DEBEN SER DE MATERIAL INOXIDABLE Y TAPADOS PARA EVITAR CONTAMINACIÓN EL AGUA QUE PERMANEZCA ALMACENADA MÁS DE UNA SEMANA SIN USARSE, NO SE ACEPTA PARA FABRICAR CONCRETO LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DEBERÁN VACIARSE Y LIMPIARSE POR LO MANOS UNA VEZ AL MES LA LIMPIEZA DE LOS TANQUES Y LA RENOVACIÓN DEL AGUA DEBERÁ HACERSE CON MAYOR FRECUENCIA SI SE OBSERVA TENDENCIA DE FORMACIÓN DE VEGETACIÓN ACUÁTICA. EN CUANTO SE DETECTEN ESTOS ORGANISMOS, EL AGUA DEBERÁ RENOVARSE TOTALMENTE, YA QUE NO ES ACEPTABLE SU INCORPORACIÓN EN EL CONCRETO" <sup>(2)</sup>.

Por lo tanto, la fermentación que se formó en las Aguas Tratadas mencionadas, se debe a otras causas no imputables al manejo y almacenamiento, por lo que es recomendable efectuar pruebas químicas a diferentes periodos de almacenamiento por ejemplo ( una semana, dos semanas, un mes) con objeto de definir las variaciones en sus parámetros.

Diseño de las Mezclas de Prueba.- Las proporciones de las mezclas se diseñaron de acuerdo con los requisitos del ACI 211 <sup>(3)</sup>, sin embargo, la cantidad de agua que fue el elemento en cuestión del estudio en el concreto, se varió para obtener la consistencia deseada (revenimiento de  $14 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$ ). Al hacer variar la cantidad de agua a diferentes contenidos de cemento, las proporciones de los materiales del diseño base se alteraron, por tal motivo se efectuó el ajuste correspondiente a la mezcla para obtener el volumen real absoluto de concreto.

Cabe señalar como sugerencia que deberían realizarse pruebas adicionales con diseños base preestablecidos (en mezclas con cantidades de materiales iguales), con objeto de observar la variación de la consistencia y en consecuencia, las demás propiedades de los concretos.

## VII.2 PRUEBAS EN CONCRETO FRESCO

Contenido de Aire <sup>(4)</sup>.- El contenido de aire calculado en el concreto se obtuvo teóricamente de los ajustes de las proporciones de los materiales en la mezcla y por volumen absoluto, obteniéndose que el contenido de aire calculado acusa valores relativamente elevados para Aguas Tratadas en comparación con el agua Potable, es decir para el Agua Tratada Cerro de la Estrella acusó incremento del 11 al 32%, para el Agua Tratada de la Cd. Deportiva los incrementos variaron de 54 a 108% y para el Agua Tratada de San Juan de Aragón acusó el mayor incremento de 95 a 142%, tomando en cuenta que los resultados de los valores obtenidos para el Agua Potable arrojaron datos de 1.2 a 2.2% con promedio de 1.7% que para el diseño de las mezclas el ACI - 211,

establece un valor de 1.5 a 2.0% el cual se considera cumplió el esperado para el Agua Potable. En términos generales el aire teóricamente obtenido del concreto con Agua Tratada fue de 2 a 5% y el compuesto de las Aguas que puede generar aire o gas dentro del concreto es el Dióxido de carbono  $CO_2$ , aunque en la bibliografía técnica, A. M. Neville (1), menciona algunos tipos de inclusores de aire como las grasas y los aceites minerales.

Como recomendación, conviene realizar pruebas físicas de la determinación del contenido de aire por los métodos volumétrico y de presión a fin de definir el rango de variación y complementar el trabajo y relacionarlo con los parámetros del agua fuera de especificaciones ya que resulta absurdo el haber obtenido valores negativos para el contenido de aire (Tablas 17, 18, 19, 20 y 21).

Cabe mencionar la diferencia que existe entre el aire atrapado durante el mezclado y el aire incluido que puede ser producto del  $CO_2$  o de las grasas y aceites que como sabemos trabajan como inclusores de aire, por lo que no se debe atribuir a las impurezas de las aguas tratadas la total responsabilidad por los contenidos de aire en las mezclas.

**Peso Volumétrico (30).-** El peso volumétrico fresco del concreto acusó una disminución del valor con respecto al obtenido para concreto elaborado con agua Potable, esta disminución fue de 1 a 2% para concretos elaborados con aguas de Ciudad Deportiva y San Juan de Aragón. Este decremento del peso volumétrico del concreto fresco confirma el aumento significativo del aire calculado en el concreto elaborado con aguas tratadas, que como mencioné en el párrafo anterior, tampoco se puede atribuir exclusivamente a las propiedades de las aguas residuales.

**Revenimiento (24).-** El Revenimiento, medida de la consistencia en el concreto fresco se diseñó para obtenerse dentro de un rango de 13 a 15 cm., 3 de la 20 mezclas arrojaron valores de 16 cm, esta variación no tiene efecto significativo en el resultado final del concreto, ya que se realizó el ajuste correspondiente a la mezcla, la consistencia del concreto fue la esperada en la elaboración de los especímenes de prueba, como recomendación deberán realizarse pruebas para obtener y definir la consistencia del concreto con Aguas Tratadas y un proporcionamiento constante que en este estudio no se consideró, en vista de que en el estudio la cantidad de agua no se mantuvo constante y el efecto de la trabajabilidad que es vital para que un concreto pueda transportarse, colocarse y acabarse con relativa facilidad, no se observó.

Esto puede deberse a las variaciones en los contenidos totales de agua para las mezclas, ya que si se procuró que los revenimientos no variaran dentro de su rango, aumentando o disminuyendo agua a las mezclas, una parte del agua empleada fue para obtener la saturación de los agregados principalmente de la arena, solo que cuando se saturaron con aguas tratadas, también se modificaron

los contenidos de aire, las relaciones A/C y pesos volumétricos de las mezclas en los distintos laboratorios participantes.

**Pruebas en concreto endurecido** <sup>(12)</sup>. - Resistencias a compresión, los resultados obtenidos de las resistencias de los concretos con Aguas Tratadas comparativamente con concreto con Aguas Potables testigo, acusaron una disminución significativa a edades de 7, 28 y 90 días, para concretos con el agua del Cerro de la Estrella las resistencias disminuyeron en promedio 9%, para concreto con agua de la Ciudad Deportiva el decremento fue de hasta un 15% y para el agua de San Juan de Aragón fue de hasta un 14% su disminución.

El efecto de la resistencia a compresión del concreto con relación al consumo de cemento se aprecia en las figuras No. 2, 3 y 4.

En la Tabla No. 29, se muestran los mejores resultados de las tres aguas tratadas analizadas, en porcentaje con respecto a concretos testigo con agua potable.

Para edades de 7, 28 y 90 días con los valores de resistencia en el eje de las abscisas y el consumo de cemento en el eje de las ordenadas, se trazaron las rectas de mínimos cuadrados para los concretos de las cuatro aguas analizadas y se aprecia con relación a las muestras con agua potable un aumento de 5 a 8% el consumo de cemento para aguas de San Juan de Aragón y Cd. Deportiva y de 1 a 3% aumento en el consumo de cemento para el agua Cerro de la Estrella, es decir que los concretos con aguas tratadas requieren mayor cantidad de cemento para obtener una determinada resistencia que se obtiene con agua potable, esto sin considerar todas las variables que fueron introducidas durante las pruebas en los laboratorios y que se mencionaron párrafos arriba.

**Módulo de Elasticidad** <sup>(22)</sup>. - El módulo de elasticidad de los concretos con aguas tratadas comparativamente con el elaborado con agua potable, acusan valores promedio menores, para los concretos con agua del Cerro de la Estrella acusa una disminución del 4%, para concretos con agua de Cd. Deportiva la disminución Varía de 2 a 8% y para concretos con agua de San Juan de Aragón la disminución varía de 6 a 10%.

TABLA No. 29

VALORES DE INCREMENTO O DISMINUCIÓN EN PORCENTAJE CON RESPECTO A  
CONCRETOS TESTIGO CON AGUA POTABLE

PROPIEDADES DEL CONCRETO (\*)

TIPO DE AGUA	CONTENIDO DE AIRE INCREMENTO	DISMINUCIÓN PESO VOLUMÉTRICO	REVENIMIENTO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (DISMINUCIÓN MÁXIMO ENCONTRADO)			MÓDULO DE ELASTICIDAD A 28 DÍAS (DISMINUCIÓN)
				7 DÍAS	28 DÍAS	90 DÍAS	
C. DE LA ESTRELLA	11 A 32 %	1 A 2 %	CONSTANTE	1 A 4%	0 A 7%	0 A 9%	0 A 4%
CIUDAD DEPORTIVA	54 A 108%	2 A 3 %	CONSTANTE	0 A 10%	6 A 15%	0 A 15%	2 A 8%
SAN JUAN DE ARAGÓN	95 A 142%	2 A 3 %	CONSTANTE	1 A 13%	2 A 14%	0 A 10%	6 A 10%

PRUEBAS EN MORTEROS (\*)

PRUEBAS ESPECIALES TENTATIVAS (\*\*)

TIPO DE AGUA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (DISMINUCIÓN)			TIEMPOS DE FRAGUADO VARIACIÓN EN MINUTOS		CONTRACCIÓN POR SECADO	ULTRASONIDO DISMINUCIÓN
	7 DÍAS	28 DÍAS	90 DÍAS				
C. DE LA ESTRELLA	0	55	16%	0	-30	13 A 23	8 A 10%
CIUDAD DEPORTIVA	0	0	16%	-12	-45	5 A 13	0 A 6%
SAN JUAN DE ARAGÓN	2%	32%	11%	19	0	105 A 152	1 A 35

NOTAS: (\*) PARÁMETROS PROMEDIO DE LOS OCHO LABORATORIOS  
(\*\*) PARÁMETRO DEL LABORATORIO "A" INDEPENDIENTE

### VII.3 PRUEBAS EN MORTEROS

Tiempos de Fraguado Vicat <sup>(31)</sup> <sup>(32)</sup>.- Los valores de tiempos de fraguado Vicat obtenidos de las aguas tratadas no presentan variación significativa, de acuerdo con los valores especificados.

Resistencia a la compresión en Cubos.- Las variaciones registradas de las resistencias con respecto al concreto testigo excepto el de San Juan de Aragón a 7 y 28 días son aceptables, sin embargo a los 90 días las tres aguas analizadas acusan decrementos de más del 10%.

### VII.4 PRUEBAS ESPECIALES TENTATIVAS

Contracción por secado <sup>(34)</sup>.- Con respecto al concreto con agua potable que sirve de testigo estas pruebas arrojaron aumentos significativos que varían del 13 al 23% para concreto con agua del Cerro de la Estrella, del 5 al 13 % para concreto con agua de Cd. Deportiva y de 105 a 152% para concreto con agua de San Juan de Aragón.

Prueba de Ultra Sonido <sup>(30)</sup>.- De acuerdo con los valores obtenidos de los concretos con aguas tratadas en comparación con el de agua potable se aprecia el valor de pulso ultrasónico una disminución que en porcentaje es de 10% que, puede deberse a la falta de homogeneidad de las muestras de concreto que es lo que indica esta prueba.

## CONCLUSIONES

En vista de los resultados obtenidos y de las variaciones presentadas en las pruebas del estudio, se establece que el agua de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella, sin embargo las variaciones encontradas en los mismos resultados de las pruebas para cada laboratorio hace considerar el continuar los estudios a fin de definir los rangos de variación e implementar su uso.

Resultará conveniente se continúen las pruebas con agregados de mejores características y propiedades como serían, el agregado grueso de tipo caliza que ofrece la posibilidad de mayor peso volumétrico y módulo elástico, basaltos con menores contenidos de finos y por que no, orientar el estudio con agregados propios de otras zonas como lo serían los Granitos, Mármoles y las Calizas Peninsulares de la zona de Yucatán o bien agregados ligeros naturales como la Piedra Pomez por ejemplo.

Se debe destacar en estas conclusiones la influencia de los malos agregados en su calidad, exceso de finos en malla 200 y charola para la arena, superior al 15% que en si ya es demasiado elevado y no solo el 13% de pérdida por lavado que se resalta en el resultado de las pruebas ya que los finos siempre demandan más agua, la solución no es eliminar el uso del agua residual, sino la conjunción de esfuerzos para mejorar la calidad de los agregados tan importantes para un buen concreto, resulta más cómodo para la industria exigir agua potable que mejorar la calidad de los agregados, los cuales bien podrían lavarse incluso con agua tratada. Ahora bien, el problema de bajas resistencias es fácilmente corregible modificando los diseños de las mezclas aunque como ya se vio, demanden mayores contenidos de cemento con su respectivo incremento de costo en el precio y no que no se pueda fabricar concreto con el agua tratada, pero si se corrige el exceso de finos también la demanda de agua se reduciría y no sería necesario el incremento de cemento ya que podría compensarse e incluso obtener un concreto con mejores características, pero la cuestión de la disponibilidad del agua tratada se ve limitada por la logística ya que en el presente no se cuenta con muchas plantas de tratamiento en sí, solo la del Cerro de la Estrella cumple las expectativas momentáneas y la problemática sería para la industria como mencioné de tipo logístico para hacer llegar el agua del Cerro de la Estrella a toda la zona metropolitana incrementando los viajes de carros tanque (pipas) o bien ampliar el número de plantas de tratamiento y su red de distribución. Por último, se debe mencionar que en la realidad existen empresas premezcladoras que sí han utilizado y continúan utilizando el agua tratada no solo del Cerro de la Estrella sino de otras partes, como por ejemplo, la de Bosques de las Lomas entre otras, por mencionar solo algunas de lo cual, existe constancia en las Dependencias que administran el suministro del agua Tratada debido a que es la misma dependencia que suministra vales a las empresas para que retiren



agua de las garzas colocadas en puntos estratégicos o en las mismas plantas de tratamiento y que los resultados de la fabricación de dichos concretos han sido satisfactorios en obras importantes de todo género, unidades habitacionales, líneas del metro, edificios de gran altura, aeropuertos y obras hidráulicas entre otras, que lo constatan.

Resulta obvio que el problema técnico si resulta viable, aún más que en la práctica por la misma disponibilidad de los líquidos ya se trate de agua potable o tratada como ya se cometó desde el inicio de esta tesis y nuestras ciudades no están lejos del día en que las autoridades concesionen la administración, tratamiento y distribución de las aguas, siendo las industrias en general las que pronto tendrán que tratar su propia agua para poderla reutilizar.

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. Adam M. Neville, TECNOLOGÍA DEL CONCRETO, Editorial Limusa S.A. de C.V. México 1988, TOMOS 1, 2 Y 3.
2. Reporte del Comité "American Concrete Institute" ACI 211.1-81, Práctica para Dosificar Concreto Normal, Concreto Pesado y Concreto Masivo, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, México 1983.
3. Reporte del Comité "American Concrete Institute" ACI 311, Manual of Concrete Inspection, Publicación SP-2 (92) American Concrete Institute. USA 1992.
4. Reporte del Comité "American Concrete Institute" ACI 318-83, Reglamento de Construcciones de Concreto Reforzado del "American Concrete Institute". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, México 1995.
5. Gaceta Oficial del D.D.F., NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCION PARA EL DISTRITO FEDERAL, México 1987.
6. COVITUR D.D.F., Especificaciones Para el Proyecto y Construcción de las Líneas del Metro de la Ciudad de México, Metro, México 1987.
7. ICATEC, S.A. de C.V., ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL AGUA TRATADA EN EL CONCRETO PREMEZCLADO, Revista Construcción y Tecnología, IMCYC, México 1992.
8. DGCOH Dirección General de Operación Hidráulica del Departamento del distrito Federal, PLANTA DE TRATAMIENTO CERRO DE LA ESTRELLA (FOLLETO), México 1990.

### **NORMAS OFICIALES MEXICANAS DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, ORGANO DEL GOBIERNO CONSTITUCIONAL DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS.**

9. NOM C 001 1980 Cemento Portland.
10. NOM C 030 1986 Muestreo de la Arena (Guía para el procedimiento de muestreo de agregados).
11. NOM C 059 1975 Tiempo de Fraguado del Cemento.

12. NOM C 061 1976 Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cementantes Hidráulicos.
13. NOM C 071 1983 Agregados - Determinación de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznales.
14. NOM C 075 1985 Agregados - Determinación de la Sanidad por medio del Sulfato de Sódio o del Sulfato de Magnesio.
15. NOM C 076 1983 Agregados - Efecto de las Impurezas Orgánicas en los Agregados Finos sobre la Resistencia de los Morteros.
16. NOM C 077 1987 Agregados - Granulometría de los Agregados.
17. NOM C 083 1988 Determinación de la Resistencia a la Compresión en Especímenes Cilíndricos de concreto.
18. NOM C 084 1990 Determinación de Partículas más Finas que la criba 0.075 (No. 200) por el Método de Lavado.
19. NOM C 088 1986 Agregados - Determinación de Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino.
20. NOM C 111 1988 Agregados para Concreto, Especificaciones.
21. NOM C 122 1982 Agua para Concreto.
22. NOM C 128 1982 Concreto sometido a Compresión - Determinación del Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson.
23. NOM C 155 1987 Concreto Hidráulico Especificaciones (Concreto Premezclado).
24. NOM C 156 1988 Determinación del Revenimiento en el Concreto Fresco.
25. NOM C 157 1987 Determinación del Contenido de Aire del Concreto Fresco por el Método de Presión.
26. NOM C 158 1987 Contenido de Aire del Concreto Fresco por el Método Volumétrico.
27. NOM C 159 1985 Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto.

28. NOM C 160 1987 Elaboración y Curado en Obra de Especímenes de Concreto.
29. NOM C 161 1987 Muestreo de Concreto Fresco.
30. NOM C 162 1985 Determinación del Peso Unitario, Cálculo del Rendimiento y contenido de Aire del Concreto Fresco por el Método Gravimétrico.
31. NOM C 164 1986 Masa Específica de la Grava y Absorción.
32. NOM C 165 1984 Masa Específica de la Arena y Absorción.
33. NOM C 166 1990 Determinación del Contenido Total de Humedad de los Agregados Mediante Secado.
34. NOM C 173 1990 Determinación en la Variación en Longitud de las Probetas de Mortero de Cemento y de Concreto Endurecidos.
35. NOM C 177 1986 Determinación del Tiempo de Fraguado de Mezclas de Concreto, Mediante la Resistencia a la Penetración.
36. NOM C 219 1984 Resistencia a la Compresión a Edades Tempranas y Predicción de la Misma a edades Posteriores.
37. NOM C 245 1986 Determinación de la Humedad Superficial del Agregado Fino.
38. NOM C 275 1986 Determinación de la Velocidad de Pulso (Método de Ultrasonido).
39. NOM C 277 1979 Agua para Concreto - Muestreo.
40. NOM C 283 1982 Agua para Concreto - Análisis.

**NORMAS ASTM (American Standard for Testing and Material) U.S.A.**

41. ASTM C 33 Especificación de Normas para Agregados en el Concreto.
42. ASTM C 215 Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico.
43. ASTM D 511 Calcio y Magnesio en el Agua.

- 44. ASTM D 512 Cloruros con Ión Cloro.
- 45. ASTM D 516 Sulfatos, con  $\text{SO}_4$ .
- 46. ASTM D 1067 Acidez y Alcalinidad del Agua.
- 47. ASTM D 1129 Definición de Términos Relativos al Agua.
- 48. ASTM D 1293 pH del Agua.
- 49. ASTM D 1888 Partículas y Materia Disuelta en el Agua.