



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA
RESISTENCIA EN CONCRETO SIMPLE ELABORADO A
PARTIR DE AGUA RESIDUAL TRATADA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A:

JOSÉ LUIS BUCIO BERNAL

DIRECTOR DE TESIS:

M. en C. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ GONZÁLEZ





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVIENOMA DE
MEXICO

Facultad de Estudios Superiores Aragón

DIRECCIÓN

JOSE LUIS BUCIO BERNAL

Presente

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Facultad, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO: "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA EN CONCRETO SIMPLE ELABORADO A PARTIR DE AGUA RESIDUAL TRATADA"

ASESOR: M. en C. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ GONZÁLEZ

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México, 7 de agosto de 2009

EL DIRECTOR

M. en I. GILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GONZÁLEZ

C p Secretaria Académica
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR/



AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES:

Luis y Belem, ¡Gracias por ayudarme!

Por creer en mí a pesar de todo.

A MI FAMILIA:

Edgar, Adriana, Laura, Iván, Eli, Alan y Cris

Siempre me alentaron a seguir adelante.

GABY:

Contigo fue más fácil, ¡Gracias!

A MIS AMIGOS:

Su amistad me motiva a seguir adelante.

Maestra:

¡Gracias!, por su tiempo, apoyo y

conocimiento.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo 1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	4
1.1 El agua y su problemática en el mundo	5
1.2 El agua en México.....	8
1.2.1 Usos del agua en México	10
1.2.2 Distribución del agua en el Valle de México	11
1.2.3 Tratamiento y reuso del agua.....	12
1.2.3.1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella	13
1.2.3.2 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Juan de Aragón.....	14
1.3 Concreto	15
1.3.1 Cemento Portland	15
1.3.1.1 Proceso de fabricación del Cemento Portland.....	17
1.3.1.2 Composición del Cemento Portland	19
1.3.2 Agregados	21
1.3.3 Agua de mezclado.....	22
1.3.4 Propiedades del concreto	25
1.3.4.1 Propiedades del concreto fresco	25
1.3.4.2 Propiedades del concreto endurecido	26
1.4 Estado del Arte	29
Capítulo 2. METODOLOGÍA.	31
2.1 Análisis granulométrico de los agregados pétreos	32
2.2 Contenido de humedad de los agregados	34
2.3 Dosificación de concreto hidráulico	36
2.4 Resistencia a la compresión simple en concreto	44
2.5 Calidad del agua potable y residual utilizada.....	46
Capítulo 3. RESULTADOS.	47
3.1 Análisis granulométrico de los agregados pétreos	48
3.1.1 Grava	48
3.1.2 Arena.....	48

3.2 Contenido de humedad de los agregados	50
3.2.1 Grava	50
3.2.2 Arena	50
3.3 Dosificación del concreto hidráulico	51
3.4 Resistencia a la compresión simple en concreto	59
3.4.2 Análisis de la resistencia a la compresión simple en concreto	60
3.5 Calidad de agua utilizada	62
Capítulo 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	65
4.1 Conclusiones	66
4.2 Recomendaciones	67
Capítulo 5. REFERENCIAS.	69
ANEXOS.	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribución del agua en la tierra (Müller, <i>et al.</i> , 2008)	6
Figura 1.2 Escasez de agua: predicción para 2025 (Müller, <i>et al.</i> , 2008)	8
Figura 1.3 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Cerro de la Estrella"	14
Figura 1.4 Proceso de fabricación del Cemento Portland (CRUZ AZUL, 2009)	19
Figura 2.1 Pesado de los agregados	33
Figura 2.2 Equipo Ro-Tap.	34
Figura 2.3 Obtención de las muestras.	36
Figura 2.4 Agregados pétreos	42
Figura 2.5 Revolvedora	43
Figura 2.6 Prueba de revenimiento.	43
Figura 2.7 Cabeceo de los cilindros	45
Figura 2.8 Máquina universal	46

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1.1 Evolución de la disponibilidad del agua en México (m ³ /hab/año). (SEMARNAT, 2008).	9
Gráfica 1.2 Usos consuntivos del agua en México. (SEMARNAT, 2008).	11
Gráfica 3.1 Análisis de la resistencia a la compresión $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$	60
Gráfica 3.2. Análisis de la resistencia a la compresión $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Composición del Cemento Portland. (NEVILLE, 1998).	20
Tabla 1.2 Calidad del agua para Concreto (Romero, 2005)	24
Tabla 2.1 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción (IMCYC, 1993).	37
Tabla 2.2 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado. (IMCYC, 1993). ...	38
Tabla 2.2 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado. (IMCYC, 1993). Cont.	38
Tabla 2.3 Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto. (IMCYC, 1993).	39
Tabla 2.4 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto. (IMCYC, 1993).	40
Tabla 2.5 Primera estimación del concreto fresco. (IMCYC, 1993).	41
Tabla 3.1 Peso del material retenido (grava) en cada tamiz después de cribarlo.	48
Tabla 3.2 Peso de arena retenida en cada tamiz después de cribado.	49
Tabla 3.3 Módulo de finura de la arena (M.F.).	49
Tabla 3.4 Resultados de la prueba de compresión simple.	59
Tabla 3.5 Comparación de análisis químicos.	63
Tabla A. Determinación de la resistencia a la compresión a los 7 días	74
Tabla B. Determinación de la resistencia a la compresión a los 14 días	75
Tabla C. Determinación de la resistencia a la compresión a los 28 días	76
Tabla D. Determinación de la resistencia a la compresión a los 90 días	77

Tabla E. Análisis Físico-Químico de Agua Potable proveniente de la FES Aragón.	78
Tabla F. Análisis Físico-Químico de Agua de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Cerro de la Estrella".	80
Tabla G. Análisis Físico-Químico de Agua de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Juan de Aragón.	82

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, existe información suficiente sobre la problemática y el cuidado del agua, sin embargo, no hay una participación conjunta entre gobierno, industria y ciudadanía para ejecutar dichas medidas.

La solución radica en cada uno, todas las actividades que se realizan pueden contribuir a disminuir el problema, es decir, no importa la profesión ni el trabajo que se haga, siempre existe la manera de cuidarla. En la ingeniería se encuentran múltiples procesos en los cuales interviene el agua, por lo que es necesario implementar medidas para ocuparla de manera sustentable.

El presente trabajo tiene la finalidad de proponer una alternativa para ahorrar agua, elaborando concreto simple ocupando agua residual tratada y analizando la resistencia de dicho concreto.

De esta forma, a lo largo de la tesis comprendida por cinco capítulos se menciona la problemática del agua a nivel mundial y local, se diseña concreto simple con agua tratada tomando en cuenta factores como: análisis granulométrico y contenido de humedad de los agregados pétreos y prueba de resistencia a la compresión simple.

El capítulo uno contiene una descripción sobre la situación del agua y como se distribuye en el mundo y en México, además de la historia y fabricación del cemento, qué es un elemento fundamental del concreto, su composición y diversas características mecánicas. También se muestra una recopilación de los trabajos que se han realizado en el tema y los resultados que hasta ahora se han obtenido.

La metodología utilizada en el experimento se describe en el capítulo dos. Aquí se mencionan los pasos para obtener el tamaño máximo de los agregados pétreos, el módulo de finura de la arena, el contenido de humedad de los agregados, etc., que es información necesaria para realizar el diseño de dos mezclas de concreto por el método del ACI, una con un $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ y otra con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

Se fabricaron cilindros de ambas resistencias con agua residual tratada proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales del Cerro de la Estrella y San Juan de Aragón, tomándose como control los especímenes elaborados con agua proveniente de la red de distribución de agua potable de la facultad. Y finalmente se detalla la prueba de compresión simple a la que sometieron todos los cilindros fabricados.

En el capítulo tres se refieren los resultados de las pruebas realizadas, los cuales son analizados comparando las resistencias obtenidas con los diferentes especímenes a 7, 14, 28, y 90 días y la calidad del agua empleada para su elaboración para así llegar a una conclusión y determinar las recomendaciones pertinentes.

Capítulo 1.
ANTECEDENTES Y
ESTADO DEL ARTE.

El agua es un recurso indispensable para los seres vivos, su importancia estriba en ser fuente de vida pues además de controlar el clima del planeta, sin ella no podrían subsistir las plantas, los animales o el hombre. Un 70% del cuerpo humano está constituido por agua; se encuentra en la sangre, la saliva, los tejidos e incluso en los huesos. Además de agua para beber, los seres humanos utilizan agua en casi todas sus acciones, es decir, se requiere para preparar alimentos, lavar ropa o trastes, aseo personal, riego de cultivos, cría de animales, fabricación de productos, producción de energía, etc.

En décadas anteriores su disponibilidad media era mayor, sin embargo, su escasez ha ido incrementando en la medida en que la población lo hace, sin contar que es desperdiciada por muchas personas y traerla a las ciudades es muy difícil y costoso.

1.1 El agua y su problemática en el mundo

Según una de las estimaciones más aceptadas, aproximadamente el 96.5% del volumen de agua existente en nuestro planeta es agua salada y está contenida en océanos y mares; mientras que apenas el 2.5% es agua dulce o de baja salinidad y un 1% es agua salada que está en los continentes (ver figura 1.1.).

Del volumen total de agua dulce, estimado en unos 38 millones de kilómetros cúbicos, poco más del 65% está concentrado en casquetes polares, nieves eternas y glaciares; el 35% se encuentra en estado líquido, almacenado en el subsuelo, y en los cuerpos y cursos de agua superficial (lagos y ríos). El agua dulce almacenada en el subsuelo es muy superior a la existente en las corrientes superficiales; pero sólo es aprovechable en parte, debido a limitaciones físicas y económicas.

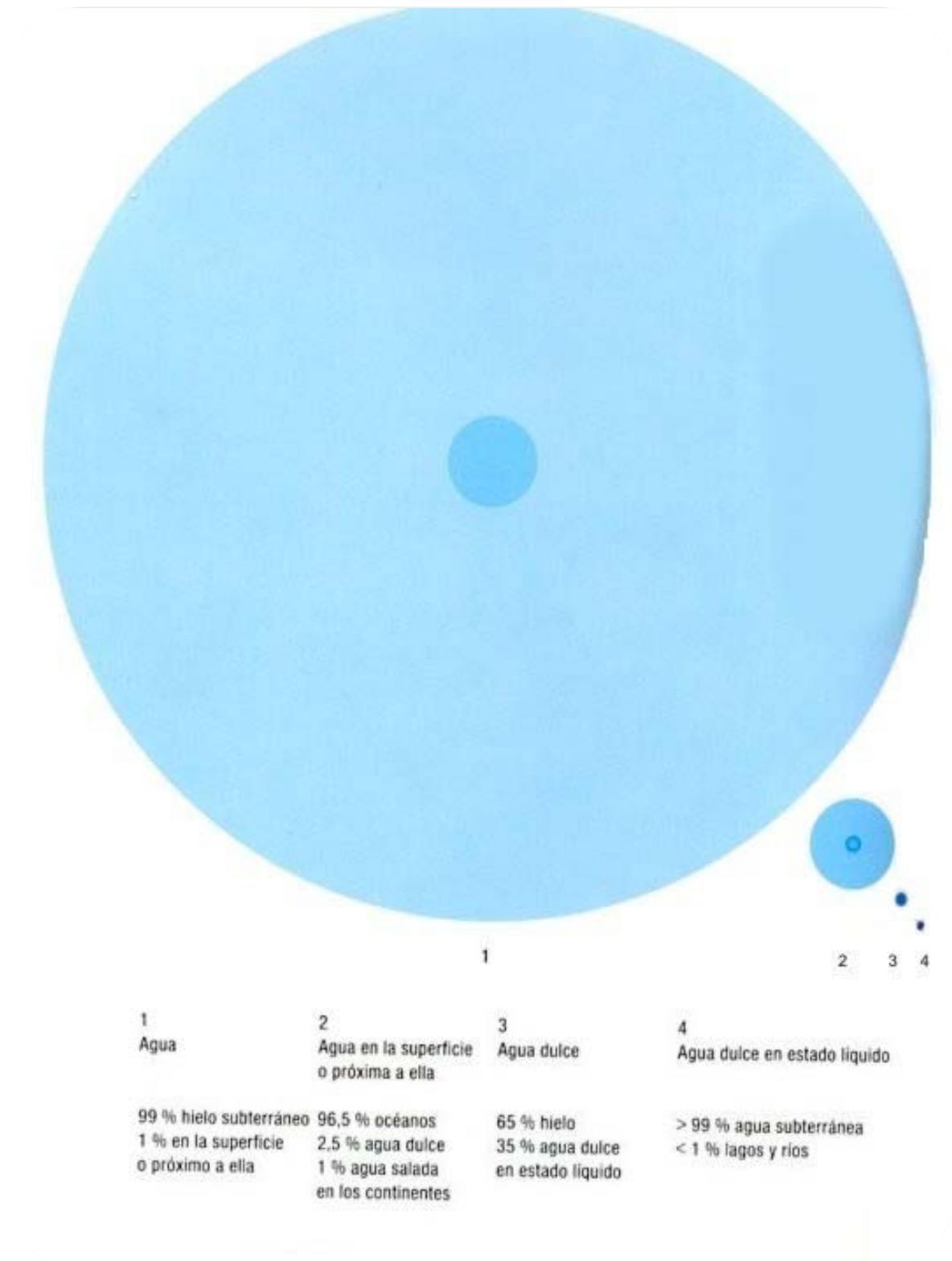


Figura 1.1 Distribución del agua en la tierra (Müller, *et al.*, 2008)

Gran parte del agua dulce aprovechable transita y se almacena en los primeros 1000 m a partir de la superficie del terreno, donde se alojan los acuíferos de mayor permeabilidad, de renovación más activa, económicamente accesibles y con agua de buena calidad. (CONAGUA, 2008).

El Fondo de Población de las Naciones Unidas (Unfpa) reportó en 2001 que la población mundial se triplicó en los últimos setenta años.

Mientras que el consumo de agua se sextuplicó. Dentro de los próximos 25 años, un tercio de la población mundial va a experimentar una severa escasez de agua (ver figura 1.2). Hoy día, más de mil millones de personas carecen de acceso al agua potable de buena calidad; tres mil millones de personas (la mitad de la población mundial) carecen de sistemas de alcantarillado básico.

Más de 90% de todas las aguas servidas en los países en desarrollo retornan sin tratamiento alguno a la tierra y a las corrientes de agua. (Brooks 2002).

El 80% de las enfermedades del tercer mundo se debe a efectos nocivos de aguas contaminadas o a la cercanía que se tiene a ella, cada día 600 personas, en su mayoría menores de 5 años mueren a causa de enfermedades relacionadas con la diarrea.

Amén de lo anterior, globalmente el riego artificial utiliza 10 veces más agua que todas las viviendas del mundo y durante los últimos 50 años, la superficie de la tierra regada artificialmente se ha triplicado. Este uso excesivo del agua ha provocado que una tercera parte del terreno fértil mundial sea salinizado convirtiendo anualmente un millón de hectáreas en terreno estéril (Müller, *et al.*, 2008).

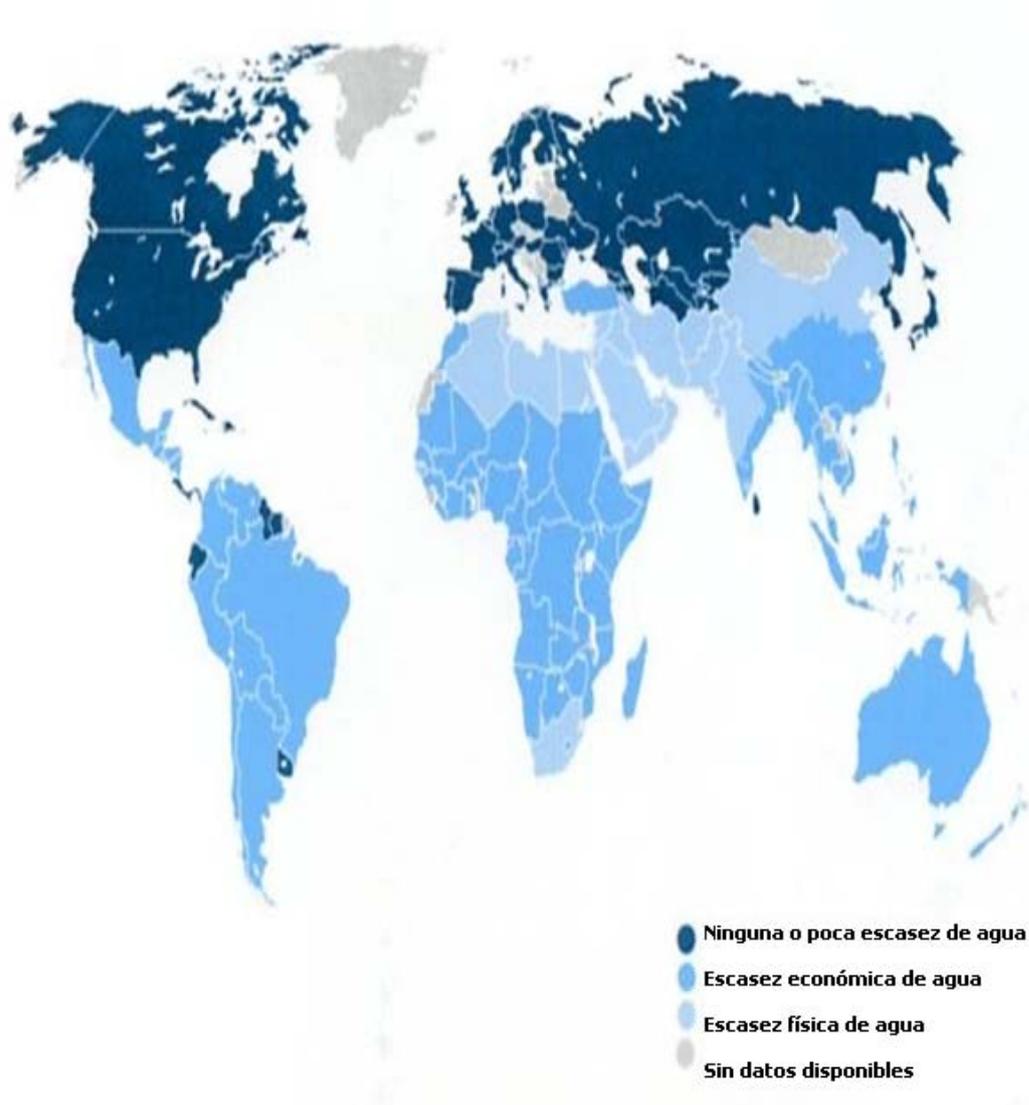


Figura 1.2 Escasez de agua: predicción para 2025 (Müller, *et al.*, 2008)

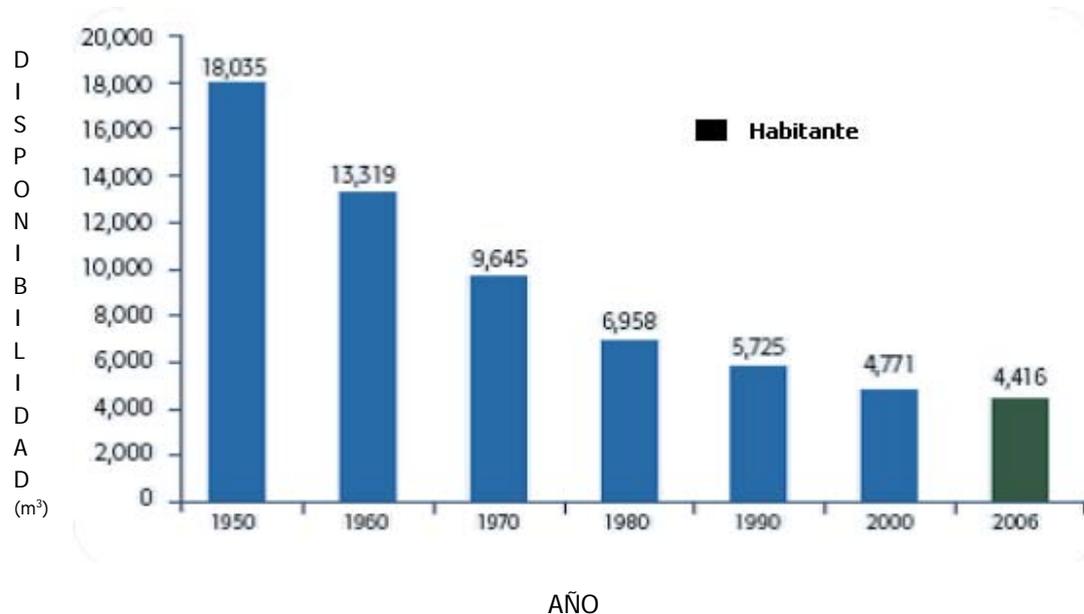
1.2 El agua en México

En México al igual que en otros países la distribución de agua es demasiado variada, se agrupa esencialmente en las cuencas de los ríos Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Pánuco y Balsas en la estación de lluvias.

El 67% del territorio es árido y el 33% restante es húmedo o subhúmedo. En el país la precipitación media anual es de 777 mm, de los cuales el 73% se pierden por evaporación, el 25% se transforma en escurrimiento de 130, 000 m³/s y el 2% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos.

En la meseta central se concentran dos terceras partes de la población y la mayoría de las industrias, es allí donde se registra el 20% del escurrimiento medio anual, por lo que los balances regionales muestran un déficit considerable. (Jiménez, 2005).

México cuenta con 458 mil millones de m³ de agua dulce renovable, a esto se le conoce como disponibilidad natural media. La disponibilidad natural media per cápita es el resultado de dividir el valor nacional entre el número de habitantes, esto se ha visto disminuido ya que en 1950 se consideraba más de 18 m³/hab/año en comparación con 4, 416 m³/hab/año en el 2006. (SEMARNAT, 2008).



Gráfica 1.1 Evolución de la disponibilidad del agua en México (m³/hab/año). (SEMARNAT, 2008).

1.2.1 Usos del agua en México

En México el agua para fines consuntivos se obtiene de la siguiente forma; el 63% de ríos y lagos mientras que el 37% restante proviene de acuíferos. Para fines prácticos el uso del agua se clasifica de la siguiente manera:

Uso agrícola

En este rubro se utiliza el 77% del volumen para uso consuntivo. La superficie regada cuenta con un área de casi 7 millones de hectáreas, agrupadas en 85 distritos de riego en todo el país.

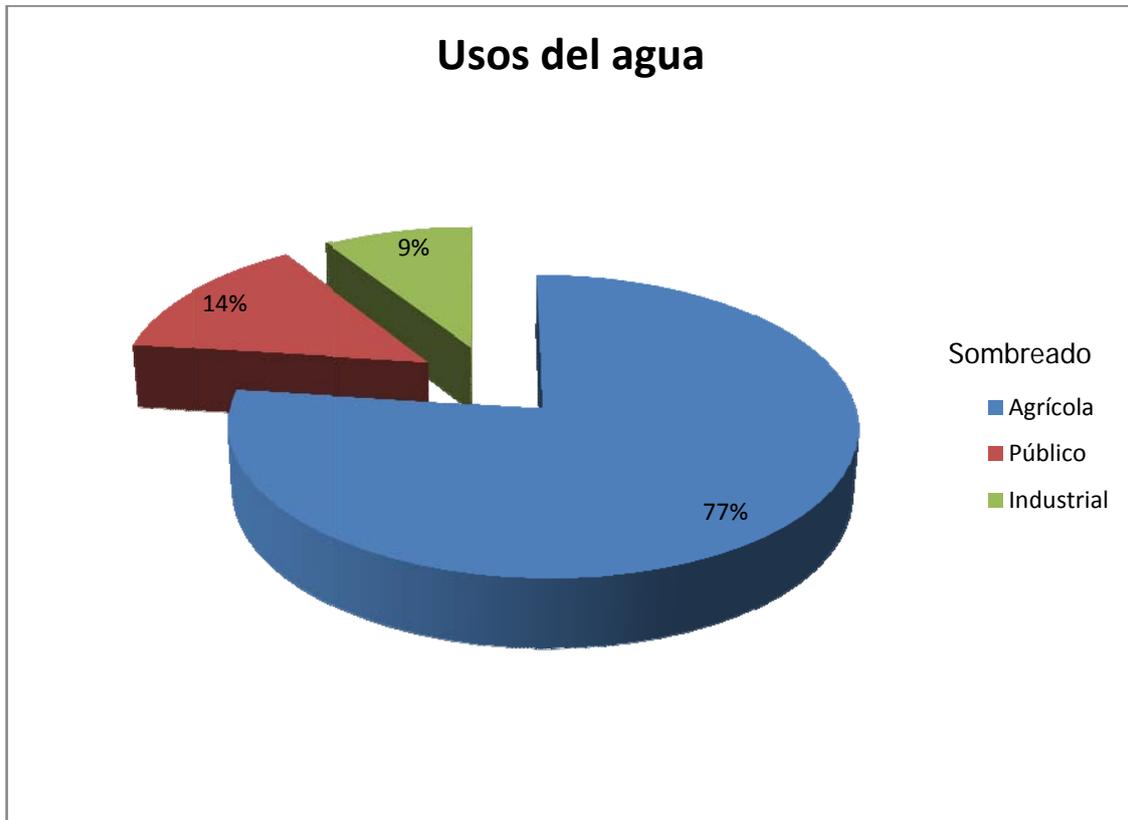
La superficie cosechada varía entre 18 y 22 millones de hectáreas anualmente. El valor de la producción es el 6.5% del PIB, y la población ocupada en estas actividades oscila entre 4 y 5 millones de personas.

Uso para abastecimiento público

En esta categoría el agua se ocupa para abastecer a los usuarios domésticos, industrias y servicios conectados a redes de agua potable. Con base en los Censos de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua (INEGI), se estima que de 1998 a 2003 se incrementó el volumen de agua en 22%. En 2003, el agua facturada representó el 49% del agua empleada, lo que implica que el 51% restante se perdió en fugas, tomas clandestinas.

Uso en industria autoabastecida

Representado por la industria que se abastece directamente de ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país. Los principales rubros son industria química, azucarera, petróleo, celulosa y papel. (CONAGUA, 2009).



Gráfica 1.2 Usos consuntivos del agua en México. (SEMARNAT, 2008).

1.2.2 Distribución del agua en el Valle de México

En el Valle de México residen aproximadamente 20 millones de personas, de las cuales 9 millones viven en el Distrito Federal. Se necesitan $59 \text{ m}^3/\text{s}$ para abastecer el 98% de las tomas domiciliarias en el Distrito Federal y 90% en la zona metropolitana, el resto se abastece por medio de carros cisterna.

El agua proviene de 47 manantiales y 856 pozos, en el Distrito Federal se distribuyen 290 L/hab/d, de los cuales el 69% proviene de fuentes subterráneas y el 31% restante se obtiene de la cuenca del río Cutzamala. El 67% es usada en fuentes domesticas, el 17% en las industrias y el 16% restante se destina a los comercios. (Jiménez, 2005).

1.2.3 Tratamiento y reuso del agua

Las descargas de aguas residuales se dividen en domésticas e industriales, las primeras corresponden a los sistemas de alcantarillado urbano y las segundas son aquellas provenientes de la actividad industrial. En el 2007 se trataron cerca de 79.3 m³/s que representan sólo el 38.3% del total descargado por los sistemas de alcantarillado urbano, en el mismo año la industria mexicana trató 29.9 m³/s de aguas residuales.

Así mismo, se reutilizaron 4, 722 millones de m³ de agua, destacando la transferencia hacia los cultivos agrícolas. (SEMARNAT, 2008).

Actualmente, en el D.F. se reusan casi 2.5 m³/s provenientes de 16 plantas de tratamiento. Desde 1989 se intensificó la utilización del agua residual tratada en actividades que no requieren de calidad potable. Destacan los convenios firmados con los industriales de las zonas de Vallejo e Iztacalco, a quienes se les concesionaron, en 1993, las plantas de Acueducto de Guadalupe y de Ciudad Deportiva, respectivamente. En esa época se amplió la capacidad de la planta de tratamiento Cerro de la Estrella, en Iztapalapa; con el fin de atender la zona canalera de Xochimilco. (DGCOH, 1996).

No obstante lo anterior, se ha reportado muy poco acerca del uso del agua residual tratada en otras actividades, por ejemplo en la industria de la construcción, en la que como se verá más adelante, no es obligatorio emplear para la elaboración de concretos agua potable, motivo por lo cual, este trabajo se centró en esa posibilidad, ocupando agua residual tratada de dos plantas de tratamiento: Cerro de la Estrella y San Juan de Aragón de las que a continuación se presenta una breve reseña.

1.2.3.1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella

Desde 1956 el Departamento del Distrito Federal aprovecha y reusa las aguas residuales tratadas, la primera planta se ubicó en Chapultepec, utilizando sus aguas en el llenado de lagos recreativos y riego de áreas verdes.

La planta que se ubica en el Cerro de la Estrella comenzó su operación en 1971, produciendo inicialmente un caudal a nivel secundario de 2 mil L/s. Desde 1994, su capacidad ha aumentado hasta 4 mil L/s de agua a nivel terciario.

En un principio esta producción se usaba para riego agrícola en Tláhuac y Xochimilco, así como en canales para la zona turística. Después, los sectores comercial e industrial se integraron al uso de agua residual tratada. En la actualidad, esta planta da servicio también, a las zonas lacustres de Mixquic, Tláhuac y Xochimilco. Las aguas residuales que recibe provienen de la estación de bombeo "Aculco" en Iztacalco y corren por una tubería de 1.83m de diámetro y una longitud de 8,000 m.

En esta planta se utiliza el cribado (rejillas de 6mm de separación entre ellas), un Canal Parshall (cuantifica y distribuye el agua hacia los trenes de tratamiento), seguido de tanques de sedimentación primaria (decantación por gravedad, a través de un sistema de recolección de sólidos), después recibe un tratamiento secundario (tanque de lodos activados y sedimentador secundario), para continuar con un tratamiento terciario (filtración por medio de filtros empacados con arena, antracita y grava). Como siguiente paso se desinfecta (se emplea cloro, manejándose cilindros de 900 kg), finalmente pasa a un cárcamo de donde se bombea hasta los usuarios de este sistema. El 56 por ciento se emplea en el llenado de canales y lagos recreativos, y el riego agrícola de la zona chinampera de Mixquic, Tláhuac y Xochimilco.

Un 25 por ciento para la recarga del acuífero; 8 por ciento en el riego de áreas verdes y otro 8 por ciento en el sector industrial, el restante 3 por ciento se emplea en el sector comercial, en el lavado de trenes del Sistema de Transporte Colectivo-Metro. (GDF, 2009).



Figura 1.3 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Cerro de la Estrella”.

1.2.3.2. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Juan de Aragón.

Se encuentra en la Delegación Gustavo A. Madero, y cuenta con una superficie de 5 hectáreas. La planta San Juan de Aragón está diseñada para tratar un caudal de 500 L/s, cuenta con dos unidades de tratamiento de lodos activados, con un tren de tratamiento formado por tratamiento preliminar basado en rejillas de 2.5 cm abertura, un tratamiento primario que consta de un tanque de sedimentación, un tratamiento secundario a partir de reactores biológicos de lodos activados, recirculación y clarificadores y finalmente un tanque de contacto de cloro.

El volumen total de agua tratada es de 21, 600,000 L/d, de este volumen 700,000 L/d son desechados durante todas las etapas de tratamiento. En la actualidad la planta es abastecida por dos colectores, ubicados en Oceanía y Av. 503. El 82% del agua tratada en San Juan de Aragón, se destina a la irrigación de áreas verdes, el 10% se utiliza en las industrias, el 6 % y el 2% para usos comerciales (lavado de autos, etc.). (HUMBERTO, 2008).

Con base en lo anterior puede notarse la importancia del agua para los seres humanos y de las pocas acciones que se siguen a nivel mundial para racionarla y reutilizarla, en México la mayor parte del agua potable se pierde en fugas y la que se ocupa no se trata para reutilizarla, con lo cual se agravan los problemas para abastecer eficientemente a toda la población por lo que actualmente se presentan serios problemas al grado de cortar por completo el suministro en varias zonas de la capital mexicana.

1.3 Concreto

En términos generales el concreto es una mezcla de cemento, agregados y agua, dosificados para obtener ciertas propiedades requeridas que se describen más adelante. A continuación se mencionan las características del cemento Portland, los agregados y el agua empleados en la elaboración de concreto.

1.3.1 Cemento Portland

Desde la antigüedad la actividad constructiva ha seguido un proceso de innovación, en el cual se busca maximizar las características de diversos materiales, en un inicio los materiales que se empleaban en la construcción se usaban tal cual se encontraban en la naturaleza, posteriormente se fueron modificando.

Pasaron de ser una simple roca a un tabique con forma y dimensiones determinadas y dejar de colocarlos a unirlos con una pasta cementante. Enseguida se describe el proceso de cómo fue que se llegó a la creación del cemento.

Prehistoria

Se utilizaron bloques de piedra de gran tamaño y cuya estabilidad dependía de su colocación. (Stonehenge de Inglaterra).

Egipto

Se utilizan ladrillos de barro o adobe secados al sol y colocados en forma regular pegándolos con una capa de arcilla del Nilo con o sin paja para crear una pared sólida de barro seco. Este tipo de construcción prevalece en climas desérticos donde la lluvia es nula y todavía se practica en muchas partes del planeta.

Grecia y Roma

Se utilizó la cal mezclada con arena para hacer mortero en la isla de Creta. Los romanos adaptaron y mejoraron esta técnica para lograr construcciones de gran durabilidad como son el Coliseo Romano y Panteón Roma así como un sin número de construcciones desperdigadas por todo el Imperio Romano.

Los griegos fueron los primeros en percatarse de las propiedades cementantes de los depósitos volcánicos al ser mezclados con cal y arena que actualmente conocemos como puzolanas (latín: puteoli, un pueblo cercano a la bahía de Nápoles). (CEMEX, 2009).

Siglos XVII y XVIII

En 1756, John Smeaton fue comisionado para reconstruir el faro de Eddystone, en la costa de Cornwall, y encontró que el mejor mortero se obtenía cuando se mezclaba "puzolana" con caliza que contenía una alta cantidad de material arcilloso.

Al reconocer el papel de la arcilla, que hasta entonces se consideraba indeseable, Smeaton fue el primero en conocer las propiedades químicas de la cal hidráulica. A partir de esto, se desarrollaron otros tipos de cementos hidráulicos, como el "cemento romano" que obtuvo Joseph Parker por calcinación de nódulos de caliza arcillosa, que vinieron a culminar en la patente del "cemento Portland", efectuada en 1824 por Joseph Aspdin, un constructor de Leeds. Este cemento se preparaba calentando una mezcla de arcilla finamente triturada y caliza dura en un horno, hasta eliminar el CO_2 ; esta temperatura era mucho más baja que la necesaria para la formación de clinker.

El prototipo del cemento moderno fue obtenido en 1845 por Isaac Johnson, quien quemó una mezcla de arcilla y caliza hasta la formación de clinker, con lo cual se produjo la reacción necesaria para la formación de un compuesto fuertemente cementoso. (NEVILLE, 1982).

1.3.1.1 Proceso de fabricación del Cemento Portland

El primer paso en el proceso de fabricación de cemento portland es la obtención de materias primas.

En general, las materias primas consisten en combinaciones de piedra caliza, tiza, arcilla y arena. En la cantera, las materias primas se reducen en las trituradoras.

La primera piedra se reducirá a 5 pulgadas (127 mm), luego a $\frac{3}{4}$ de pulgada (19 mm). Una vez que las materias primas llegan a la fábrica, los materiales son proporcionados para crear una mezcla de cemento con una composición química definida.

Existen dos métodos diferentes que se utilizan para la fabricación de cemento portland, el proceso seco y el húmedo.

En el proceso húmedo, se forma una lechada por la adición de agua en la proporción adecuada de las materias primas. Después la mezcla de materias primas pasa al extremo superior de un horno cilíndrico inclinado. La velocidad de la mezcla a través el horno la controla la pendiente y la rotación del mismo. La quema de combustible que consiste en polvo de carbón o de gas natural ocurre en el extremo inferior del horno. En el interior, las materias primas alcanzan temperaturas de 1430 °C a 1650 °C.

A 1480 °C, una serie de reacciones químicas hacen que los materiales se funden y crean cemento gris-negro llamados "pellets".

A menudo del tamaño de canicas que se conoce como clinker. Éste se descarga al rojo vivo desde el extremo inferior del horno y se traslada a varios tipos de enfriadores para bajar la temperatura. Una vez frío se combina con yeso. El clinker es tan fino que casi todo pasa a través de una malla N ° 200. Este polvo fino de color gris es el cemento portland.

En el proceso seco, las proporciones de las materias primas, se trituran y se mezclan, el polvo resultante pasa al horno, y se repiten los pasos del proceso húmedo. (PCA, 2009).



Figura 1.4 Proceso de fabricación del Cemento Portland. (CRUZ AZUL, 2009).

1.3.1.2 Composición del Cemento Portland

Se compone principalmente de cal, sílice, alúmina y óxido de hierro.

Se suelen considerar 4 compuestos como componentes principales del cemento, a los cuales se les ha asignado una abreviación:

Tabla 1.1 Composición del Cemento Portland. (NEVILLE, 1998).

Compuesto	Composición	Abreviación
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Aluminoferrita teracálcica	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Además de estos compuestos principales, existen algunos compuestos menores como MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O y Na_2O , que generalmente no sobrepasan de un pequeño porcentaje del peso del cemento. Los últimos dos compuestos son muy relevantes y se les conoce como álcalis, éstos reaccionan con algunos agregados, los productos de esta reacción ocasionan una desintegración del concreto, además de afectar la rapidez con que el cemento adquiere resistencia. (NEVILLE, 1998).

Hay dos teorías sobre el endurecimiento o desarrollo de la resistencia del cemento.

- Teoría de Le Chatelier. Los productos de hidratación del cemento tienen una solubilidad menor que los compuestos originales, de tal forma que los hidratos se precipitan desde una solución sobresaturada. El precipitado se encuentra en forma de cristales agregados entrelazados que poseen propiedades altamente cohesivas y adhesivas.
- Teoría coloidal de Michaelis. Establece que los aluminatos cristalinos, los sulfoaluminatos y los hidróxidos de calcio, dan la resistencia inicial del material.

- El agua saturada de cal ataca posteriormente a los silicatos, lo que origina un silicato hidratado de calcio, bastante insoluble y que forma una masa gelatinosa. Esta masa se endurece gradualmente, debido a la pérdida de agua, ya sea por secado externo o por hidratación de los núcleos o hidratados de granos de cemento, de esta manera se obtiene cohesión. (NEVILLE, 1998).

1.3.2 Agregados

Son materiales granulares que se obtienen de forma natural o artificial, ocupan entre el 60 y 80% del volumen del concreto, se dividen en agregados gruesos y agregados finos. Los primeros se refieren a las partículas de agregados mayores de 4.75 mm hasta 150 mm conocidos también como gravas. Los agregados finos son partículas de agregado menores de 4.75 mm y mayores de 75 μm (malla No. 200) llamados arenas.

También se clasifican de acuerdo a su peso volumétrico, el cual puede ser ligero, normal y pesado. La mayoría de los agregados (arena y grava) tienen un peso volumétrico de entre 1, 520 a 1, 680 kg/m^3 . En general los agregados con pesos volumétricos menores de 1, 120 kg/m^3 se consideran agregados ligeros y aquellos que pesan más de 2, 080 kg/m^3 son llamados agregados pesados.

Algunas de las características de los agregados son:

- Características que dependen de la porosidad: densidad, absorción de humedad, resistencia, dureza.
- Características que dependen del procesamiento: dimensión de partículas, forma y textura.
- Características que dependen de la composición química y mineralógica: resistencia, dureza, modulo de elasticidad. (KUMAR, 1998).

1.3.3 Agua de mezclado

En general el agua potable que pueda beberse se recomienda para la elaboración de concreto.

Sin embargo, se puede utilizar cualquier agua que produzca cubos de mortero con resistencia a los 7 días igual o por lo menos el 90% de la resistencia de cubos testigo hechos con agua potable o agua destilada (Norma ASTM C109). Se ha afirmado que aguas de muy mala calidad pueden afectar la resistencia esperada del concreto y el tiempo de fraguado, y pueden causar efluorescencia, manchado, corrosión del refuerzo y menor durabilidad. (Romero, 2005)

Entre las características importantes del agua para fabricar concreto se incluyen la materia orgánica, azúcar, sólidos disueltos totales (SDT), los cloruros, los sulfatos, los carbonatos y los bicarbonatos. El carbonato de sodio puede acelerar el fraguado y, a la vez, reducir la resistencia del concreto, especialmente si existe reacción con los agregados. Se consideran aceptables contenidos de bicarbonato de calcio y magnesio hasta de 400 mg/L (Portland Cement Association, 1965)

Existen diversos tipos de agua que se pueden emplear en la fabricación de concreto, en las cuales se deben de considerarse los siguientes aspectos:

➤ Agua de mar

El agua de mar que presente una concentración de sal de hasta 35, 000 ppm es adecuada para usarse como agua de mezcla en concreto que no lleve acero de refuerzo. Se ha observado que el concreto mezclado con este tipo de agua endurece con mayor rapidez que el concreto normal.

Aunque la resistencia después de los 28 días puede ser inferior, sin embargo, esto puede solucionarse modificando la relación agua –cemento.

➤ Aguas de desperdicios industriales

En general las aguas que contienen desperdicios industriales contienen menos de 4 000 ppm de sólidos totales, cuando se emplean estas aguas en la elaboración de concreto la resistencia a la compresión disminuye aproximadamente 10 %.

➤ Aguas negras

Comúnmente las aguas negras presentan menos de 400 ppm de materia orgánica, después de que estas aguas reciben tratamiento, la concentración disminuye aproximadamente a 20 ppm o menos. Esta cantidad es demasiado baja para que tenga cualquier efecto importante en la resistencia del concreto. (Lepe, 1981).

Los límites propuestos en la literatura para la calidad del agua de mezcla para concreto son muy amplios y la información disponible no proporciona un criterio único de evaluación como se muestra en la tabla 1.2.

Los cloruros pueden tener efecto corrosivo sobre el acero de refuerzo al atacar su capa de óxido protectora y además pueden rebajar la resistencia del concreto con cemento portland.

Los sulfatos pueden causar reacciones expansivas en concentraciones muy altas. El contenido tolerable de cloruro de sodio y de sulfato de sodio puede ser de 20 000 hasta 40 000 mg/L que no son dañinos (Portland Cement Association, 1965). La materia orgánica puede afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto. Un agua con azúcar en concentración mayor de 3, 400 mg/L afecta el fraguado y la resistencia del concreto. (Mckee y Wolf, 1963).

Aguas con sales de hierro en concentraciones de hasta 40, 000 mg/L no afectan la resistencia del concreto (Portland Cement Association, 1965).

Tabla 1.2 Calidad del agua para Concreto (Romero, 2005)

Característica	IRAM 1601 ^(a)	DIN 4030	Límites tolerables ^(b,c)	NTC 3459 ^(d)	Norma UNE	NOM C – 122 ^(e)	ASTM C – 94 ^(f)
Alcalinidad mg/L	840	-	1 000	1000	-	600	-
Cloruros mg/L	1 000	500	500	500	6 000	400	1 000
Cobre mg/L	-	-	500	-	-	-	-
CO ₂ mg/L	24	15	-	-	-	5	-
DQO mg/L	-	-	-	-	-	150	-
Hierro mg/L	1	-	-	-	-	-	-
Magnesio mg/L	-	300	-	-	-	100	-
Manganeso mg/L	-	-	500	-	-	-	-
NH ₄ ⁺ mg/L	-	15	-	-	-	-	-
pH	5.8 -8.0	>6.5	> 3.0	-	> 5.0	> 6.0	-
Plomo mg/L	-	-	500	-	-	-	-
Sólidos suspendidos, mg/L	-	-	2 000	-	-	2 000	-
Sólidos Totales mg/L	5 000	-	4 000	2 000	15 000	3 500	50 000
Sulfatos mg/L	600	200	3 000	1 250	1 000	3 000	3 000
Sustancias orgánicas solubles en éter mg/L	-	-	-	-	15 000	-	-
Zinc mg/L	-	-	500	-	-	-	-

(a) Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Norma IRAM 1601. Agua para mortero y hormigones de cemento Portland

(b) Tay, J.M y Yip, W. K. Use of Reclaimed Wastewater for Concrete Mixing, JEE, ASCE, Vol. 113.No. 5. Octubre 1987

(c) U. S. Department of the Interior, Concrete Manual. 1988.

(d) ICONTEC, Norma Técnica Colombiana, NTC 3459. 1994

(e) CFE, Manual de Tecnología del Concreto, México, 1994

(f) ASTM, Standard Concrete and Aggregates, Vol. 04 – 02, 2000

1.3.4 Propiedades del concreto

En el concreto existen diversas propiedades, en términos generales se clasifican en propiedades del concreto fresco y propiedades del concreto endurecido, a continuación se describen las más importantes.

1.3.4.1 Propiedades del concreto fresco

Se debe considerar que estas características sólo tienen un interés en el momento de la elaboración del concreto, dentro de esta etapa se encuentran propiedades como:

➤ **Trabajabilidad**

Se define como la propiedad del concreto acabado de mezclar, la cual determina la facilidad y homogeneidad con las cuales se puede mezclar, colocar, compactar y acabar.

El principal factor que afecta la trabajabilidad del concreto radica en contenido de agua de la mezcla, es decir, si se quiere tener un grado de trabajabilidad alta se debe considerar una relación agua-cemento mayor. Por otra parte esta decisión está condicionada por la relación que existe entre la resistencia y la cantidad de agua de una mezcla.

➤ **Segregación**

Se define como la separación de los constituyentes de una mezcla homogénea, en consecuencia la distribución de sus componentes ya no es uniforme. En el caso del concreto las principales causas que intervienen en este fenómeno son la diferencia en el tamaño de las partículas y el peso específico de los constituyentes.

De tal forma que para evitarlo se debe cuidar la granulometría, el manejo y colocación de la mezcla.

➤ Sangrado

Una vez colocado el concreto éste queda en reposo y comienza un proceso natural en el cual los componentes más pesados tienden a descender, en tanto que el agua tiende a subir formando una lámina de agua. Si el agua de sangrado se vuelve a mezclar durante el acabado se formara una superficie de desgaste, la que se puede evitar mediante el retraso de las operaciones de sangrado. Por otra parte si la velocidad de evaporación del agua en la superficie es más rápida que la velocidad de sangrado, puede generar un agrietamiento plástico por contracción. (NEVILLE, 1998).

1.4.3.2 Propiedades del concreto endurecido

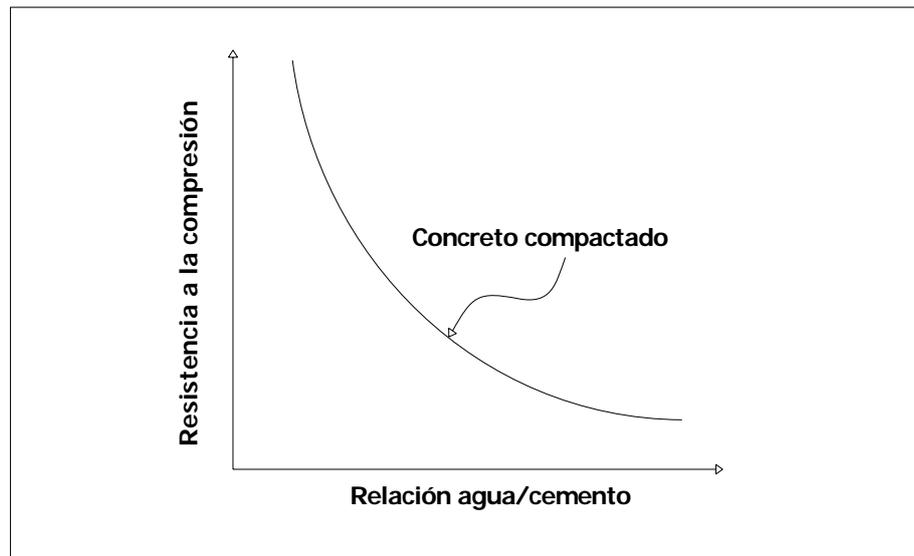
El concreto endurecido se clasificara así una vez que adquirió la forma del molde que lo contenía, y es entonces que cobraran relevancia las siguientes características:

➤ Resistencia

Sin lugar a dudas la propiedad más importante del concreto endurecido es la resistencia, ésta representa la calidad del mismo y es el resultado de todos los factores que intervinieron en su elaboración.

En la práctica se asume que la resistencia de un concreto a una determinada edad y con unas determinadas características de curado está en relación con dos factores primordialmente, el primero de ellos es la relación agua/cemento y la segunda tiene que ver con el grado de compactación de la masa de concreto.

Cuando un concreto está completamente compactado, su resistencia es inversamente proporcional a la relación agua/cemento, es decir, un grado de compactación mayor indica una relación agua/cemento más baja (ver grafica 1.3).



Gráfica 1.3 Correspondencia entre resistencia y relación agua/cemento.

Cabe destacar que las mezclas con alto contenido de cemento y un agregado de gran tamaño presentan una resistencia más baja. Para un determinado tipo de cemento y agregados aceptables, la resistencia que se pueda desarrollar esta influida por los siguientes factores:

- ✓ Relación agua/cemento de mezclado
- ✓ Relación de cemento/agregado
- ✓ Granulometría, textura superficial, forma del agregado

La porosidad juega un papel importante en el desarrollo de la resistencia del concreto, la relación existente entre el volumen total de vacíos y la resistencia es una propiedad de diversos materiales, se sabe que los cementos densos tienen muy poca porosidad por lo tanto alcanzan mayores resistencias.

Dicho de otro modo la resistencia de un concreto está influenciada por el volumen de todos los vacíos dentro del mismo. Debe notarse que la resistencia no es dependiente solamente de la relación agua/cemento, existen otros factores que intervienen, tal es el caso de los agregados.

El esfuerzo al que se forman las grietas depende de las propiedades del agregado grueso, se ha observado que una grava lisa conduce a un agrietamiento con esfuerzos menores y en contraparte una grava áspera-angular lleva a un esfuerzo 10% mayor al anterior.

Aunque no se sabe cuál es el mecanismo de falla se cree que está relacionado con la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado, la pasta de cemento hidratado contiene discontinuidades las cuales afectan la resistencia, es decir, son potenciales defectos que pueden originar una micro-grieta que a su vez puede extenderse por todo el espécimen sujeto a un esfuerzo.

Considerando que existe una distribución uniforme de esfuerzos se puede decir que cuando se presenta una fractura local estará regida por las condiciones de ese punto y la posibilidad de que se propague dependerá del comportamiento y estado del material que rodea a ese punto, esto explica porque los esfuerzos máximos de las fibras de especímenes sujetos a compresión son mayores que los esfuerzos de tensión, ya que en el último caso el material que rodea la fractura no bloquea la misma.

Diversas investigaciones han demostrado que existe micro-grietas en la interface entre la pasta de cemento y el agregado grueso, esto se ha observado en concreto de resistencia media y baja.

Esto puede deberse a las diferencias mecánicas entre el agregado grueso y la pasta de cemento.

A medida que se aplica una carga las micro-grietas permanecen constantes hasta aproximadamente 30% de la carga final, después de este rango comienza a aumentar en longitud y ancho, sin embargo el concreto de alta resistencia muestra una menor longitud en las micro-grietas que el concreto de resistencia normal. Si la carga continua puede producirse la falla con el tiempo. (NEVILLE, 1998).

1.4 Estado del Arte

El agua residual doméstica se origina principalmente de fuentes residenciales y comprende 99.9% agua y 0.1% sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, suspendidos y solubles. El agua residual cruda es un peligro tanto para la salud pública como para el ambiente. Por lo tanto, se debe de tratar antes de su descarga en cuerpos receptores.

Dada la escasez de agua apropiada para el consumo, se ha optado por no utilizar más agua potable para realizar ciertas actividades y emplear en sustitución agua residual tratada, cuyos usos más comunes son el riego de áreas verdes, lavado de autos, reservorios para fines recreativos, entre otros; sin embargo, poco se ha investigado si puede aplicarse para otros fines como lo es la elaboración de mezclas de concreto simple o armado.

Cebeci y Saatci reportaron en 1989 la aplicación de agua residual cruda en las mezclas de concreto tomando como base que no existe normatividad alguna que prohíba el uso de este tipo de agua, como se mencionó en la tabla 1.2 sólo se dan recomendaciones o límites de ciertos parámetros que debe cumplir el agua para mezclas de concreto.

En Estados Unidos se especifica que el concreto elaborado con agua no potable debe ser sometido a una prueba de resistencia a los 7 y 28 días.

Y este no deberá presentar menos del 90% de la resistencia obtenida con especímenes similares elaborados con agua potable.

En este trabajo se evaluaron el tiempo inicial de fraguado, el contenido de aire, la gravedad específica, la resistencia a la flexión y compresión en concreto, utilizando agua destilada y agua residual tratada, obteniendo resultados similares en ambos casos.

En el año 2001 Sonn realizó un estudio en Malasia, donde ocupó agua proveniente de una planta de tratamiento como agua de mezcla en concreto. Estudio de dos características en el concreto, la primera fue la resistencia a la compresión y la segunda el tiempo de fraguado, los resultados fueron comparados con especímenes de concreto elaborados con agua potable; resultó que el agua tratada aumenta la resistencia a la compresión y el tiempo de fraguado.

Un estudio similar se elaboró en la UAM Azcapotzalco en el año 2001, donde se analizó la posibilidad de elaborar concreto utilizando agua residual tratada como agua de mezclado, dicho trabajo incluyó de más de 700 especímenes de concreto, con la finalidad de estudiar algunas propiedades en estado fresco, como son: revenimiento, contenido de aire y peso volumétrico, una vez fraguado se analizó la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad entre otras.

En esta investigación se utilizó agua de diversas plantas de tratamiento, de las cuales el agua procedente de las plantas de Chapultepec, Azcapotzalco y Tlatelolco no presenta efectos adversos en la resistencia, por el contrario presentaron un incremento entre el 10% y 40 %, por otra parte las Plantas de San Juan Ixtayopan y Acueducto de Guadalupe mostraron resistencias superiores al 80% de la resistencia de diseño.

Capítulo 2.

METODOLOGÍA.

2.1 Análisis granulométrico de los agregados pétreos

La granulometría consiste en separar en sus diferentes tamaños a una muestra en su tamaño natural. En términos generales, la relación del agregado grueso a fino debe ser más alta mientras más aumente la finura de la granulometría del agregado fino.

2.1.1 Material y equipo:

Arena

- Juego de mallas (No. 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola)
- Cucharón
- Balanza con 0.01 g de precisión
- Equipo de movimiento rotatorio (Ro-Tap)

Grava

- Juego de mallas (No. 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 4" y charola)
- Cucharón
- Balanza con 0.01 g de precisión

2.1.2 Procedimiento

Se tomó una muestra de 3 kg de arena y 5 kg de grava las cuales se pesaron por separado. A continuación se ordenó el juego de mallas de menor a mayor tamaño y se vertió el material (grava o arena) a través de éstas para su cribado con ayuda del Ro – Tap (Tamizador de materiales pétreos y férreos "Ro-Tap", Testing sieve shakor, Modelo: B, Serie: 1657, fabricante: Tyler Industrial Products.) durante 15 minutos aproximadamente.

Después se pesó el material retenido en cada una de las mallas.

Para saber el tamaño de la grava se considerara el mayor peso acumulado en alguna de las mallas.

Para el caso de la arena, con los datos obtenidos se determinó el modulo de finura (M.F.) con la siguiente ecuación:

$$M.F. (\%) = \frac{\sum \text{malla 4 a la 100}}{100}$$

Mientras que para la grava, el tamaño máximo de los agregados se define como el porcentaje mayor retenido en alguna de las mallas de cribado, El resultado se reportó en pulgadas.



Figura 2.1 Pesado de los agregados.



Figura 2.2 Equipo Ro-Tap.

2.2 Contenido de humedad de los agregados

Si se desea que no exista movimiento de agua en los agregados, se debe de cuidar la absorción de humedad por parte de éstos; ya que cualquier variación en la cantidad de agua en la superficie de los agregados contribuirá a aumentar el agua de la mezcla y ocasionara una transición en la resistencia de proyecto. Por lo anterior, se determinó el contenido de humedad de los agregados utilizados para este trabajo.

2.2.1 Material y equipo:

- Dos vasos de aluminio
- Una balanza con precisión de 0.01 g
- 300 g de arena
- 500 g de grava
- Horno de 100 °C
- Charolas metálicas
- Brocha

2.2.2 Procedimiento

Se tomó una porción del material (grava y arena) del banco para luego registrar su peso así como el de los recipientes utilizados, uno para el agregado fino y otro para el grueso.

Luego se depositó el agregado grueso en el vaso de aluminio identificado como vaso 1 y el agregado fino en el vaso 2 anotándose el peso de ambos nuevamente. Los datos se reportaron en gramos.

Posteriormente se vaciaron los agregados en charolas metálicas y se introdujeron a un horno (Horno eléctrico de convección, Marca: FELISA, Modelo: FE293, Serie: 045, Temperatura: 220 °C, Volt: 117, Watts: 1500 y CPS: 60.) por 24 h a 110°C.

Transcurrido este tiempo, se retiraron las charolas con el material para dejarlas enfriar a temperatura ambiente, y así poder regresar los agregados a sus respectivos vasos para obtener su peso una vez más.

Con los datos obtenidos, se determinó el porcentaje de humedad mediante la siguiente fórmula:

$$C.H (\%) = \frac{Wh - Ws}{Ws} * 100$$

Donde:

- C.H = Contenido de humedad
- Wh = Peso húmedo
- Ws = Peso seco



Figura 2.3 Obtención de las muestras.

2.3 Dosificación de concreto hidráulico

Se diseñaron dos mezclas de concreto de acuerdo con el Método del ACI (American Concrete Institute), para las resistencias que se presentan a continuación considerando el peso seco compactado del agregado grueso de 1600 kg/m³.

- $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$
- $f'c= 140 \text{ kg/cm}^2$

Las resistencias propuestas corresponden a la resistencia mínima con la que puede utilizarse el método y una resistencia media, debido a que el objetivo de este trabajo no incluye el estudio de concretos armados, en los cuales el uso de resistencias superiores es común.

2.3.1 Procedimiento

2.3.1.1 Elección del revenimiento

Cuando no se especifica el revenimiento se puede seleccionar un valor apropiado para la obra. Ver la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción (IMCYC, 1993).

Tipos de construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7.5	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de subestructura sencillos	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

2.3.1.2 Tamaño Máximo del Agregado (T.M.A.).

Cuando no se cuenta con el T.M.A., se tiene que seleccionar un T.M.A. que sea 1 ½ veces la separación de la varilla.

2.3.1.3 Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire.

Es la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que se requiere para producir determinado revenimiento. Ver la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado. (IMCYC, 1993).

REVENIMIENTO (cm)	AGUA (kg/m ³), PARA EL CONCRETO DE AGREGADO DE TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (mm) INDICADO.							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto simple sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido, por ciento.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	168	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10	202	184	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	197	197	174	174	166	154	-

Tabla 2.2 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado. (IMCYC, 1993). Cont.

REVENIMIENTO (cm)	AGUA (kg/m ³), PARA EL CONCRETO DE AGREGADO DE TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (mm) INDICADO.							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Promedio recomendado de contenido de aire total, por ciento, según el nivel de exposición.								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

2.3.1.4 Selección de la relación agua/cemento (a/c).

Se determina por los requisitos de resistencia. Ver la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto. (IMCYC, 1993).

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS (kg/cm ²)	RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR PESO	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
250	0.62	0.56
140	0.82	0.74

2.3.1.5 Cálculo del contenido de cemento por m³.

El contenido de cemento es el resultado de dividir el contenido de agua entre la relación agua/cemento.

2.3.1.6 Estimación del contenido de agregado grueso.

Se determina por la granulometría de los agregados gruesos. Los agregados con tamaño máximo nominal y granulometría iguales producen concretos de trabajabilidad satisfactoria. Ver la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.
(IMCYC, 1993).**

T.M.A (mm)	VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO VARILLADO EN SECO, POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO PARA DISTINTOS MÓDULOS DE FINURA DE LA ARENA.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

2.3.1.7 Cálculo del peso de la grava.

El peso de la grava es el producto del volumen del agregado grueso varillado en seco por el peso seco compactado del agregado grueso.

2.3.1.8 Peso del concreto.

Se utilizo la Tabla 2.5

Tabla 2.5 Primera estimación del concreto fresco. (IMCYC, 1993).

T.M.A (mm)	PRIMERA ESTIMACIÓN DEL PESO DEL CONCRETO FRESCO	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
9.5	2280	2200
12.5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37.5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

2.3.1.9 Cálculo del peso de la arena.

El peso de la arena es la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los demás componentes.

2.3.1.10 Peso neto de la grava.

Considerando que el agregado grueso contiene cierta cantidad de humedad se tendrá que hacer una corrección por humedad, con la cual se reduce el agua de mezclado y la cantidad de grava se incrementa correspondientemente.

2.3.1.11 Peso neto de la arena.

Considerando que el agregado fino contiene cierta cantidad de humedad se tendrá que hacer una corrección por humedad, con la cual se reduce el agua de mezclado y la cantidad de arena se incrementa correspondientemente.

2.3.1.12 Peso neto del agua.

El peso neto del agua es la diferencia entre el contenido de agua de mezclado menos el producto del agregado grueso por el contenido de humedad menos el producto del agregado fino por el contenido de humedad.



Figura 2.4 Agregados pétreos.



Figura 2.5 Revolvedora.



Figura 2.6 Prueba de revenimiento.

2.4 Resistencia a la compresión simple en concreto

La resistencia de un material depende de su habilidad para soportar una carga sin una deformación excesiva o una falla. Cuando se le aplica una fuerza a un cuerpo, la fuerza tenderá a cambiar la forma y tamaño del cuerpo, a este cambio se le llama deformación y puede ser visible o pasar prácticamente inadvertido sino se le aplica el equipo necesario para hacer mediciones precisas.

2.4.1 Material y equipo:

- Maquina universal
- Estufa
- Espátula
- Equipo de cabeceo
- Cilindro de concreto
- Flexómetro
- Aceite quemado
- Azufre

2.4.2 Procedimiento:

Se tomó cada uno de los cilindros y se cabecearon de la siguiente manera: se colocó el azufre en un recipiente y se puso a calentar en la estufa, se untaron con aceite quemado el disco del equipo de cabeceo; cuando el azufre se volvió líquido se vació en el disco y se colocó el primer cilindro bajándolo de forma vertical por la pared del equipo de cabeceo hasta llegar al disco y se sujetó por unos segundos mientras el azufre se enfriaba y tomaba una consistencia sólida.

Posteriormente se repitió el procedimiento con la otra cara del cilindro y así sucesivamente con los demás cilindros. Después se colocó cada uno de los cilindros entre las patinas de la máquina universal, se les aplicó carga hasta que ocurrió la falla.



Fotografía 2.7 Cabeceo de los cilindros.



Fotografía 2.8 Maquina universal.

2.5 Calidad del agua potable y residual utilizada.

En el Laboratorio de Ingeniería Ambiental del Centro Tecnológico Aragón se determinaron algunos parámetros de calidad del agua potable empleada para la realización de los especímenes de control. De acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, que fueran relevantes para este trabajo así como de algunos parámetros del agua residual tratada de ambas plantas de tratamiento que fueran de importancia y que no fueron proporcionados por las mismas.

Capítulo 3.

RESULTADOS.

3.1 Análisis granulométrico de los agregados pétreos

3.1.1 Grava

Se tomaron 5 kg de grava y se cribaron en el juego de mallas, pesándose el material retenido en cada una de ellas y en la charola, los resultados se presentan a continuación:

Tabla 3.1 Peso del material retenido (grava) en cada tamiz después de cribado.

Grava	
Malla (pulgadas)	Peso (g)
3"	0.0
2"	0.0
1 1/2"	0.0
1"	1607.6
3/4"	2987.2
1/2"	216.5
3/8"	61.5
1/4"	74.5
Charola	42.0

El Tamaño Máximo de los Agregados (T.M.A.) en pulgadas se determinó de acuerdo al peso máximo retenido en las mallas de cribado, el cual fue de 2987.2 g en la malla de $\frac{3}{4}$ " por lo que el T.M.A. fue de $\frac{3}{4}$ ".

3.1.2 Arena

Se utilizaron 3 kg de arena, los cuales fueron introducidos en el equipo Ro-Tap durante 15 minutos aproximadamente, después se pesó el contenido de acumulado en cada una de las mallas.

Tabla 3.2 Peso de arena retenida en cada tamiz después de cribado.

Arena	
Malla (Numero)	Peso (g)
4	3.3
8	719.30
16	413.0
30	464.4
60	322.8
100	227.7
200	116.5
Charola	218.1

A continuación se fijo el módulo de finura (M.F.) de la arena elaborando la siguiente tabla:

Tabla 3.3 Módulo de Finura de la arena (M.F.).

Modulo de finura de la arena (M.F.)					
Malla (Numero)	Abertura (mm)	Peso (g)	Porcentaje (%)	Porcentaje de enteros	Porcentaje acumulado
4	4.75	3.25	0.13	0	0
8	2.36	719.30	28.89	29	29
16	1.18	413.00	16.59	17	46
30	0.60	464.40	18.85	19	65
60	0.30	322.80	12.96	13	78
100	0.15	227.70	9.14	9	87
200	0.074	116.50	4.64	5	92
Charola	-	218.10	8.8	9	-
Total	-	2485.05	100	100	397

Una vez que se obtuvo el total de la columna de porcentaje acumulado se dividió entre 100 y dio como resultado 3.97, y por conveniencia usaremos un M.F. = 3.

3.2 Contenido de humedad de los agregados

3.2.1 Grava

Se tomó una muestra de grava del banco de material con un peso de 506.75 g, enseguida se pesó una charola metálica la cual tuvo un peso de 86.4 g, como paso siguiente se vació la grava en la charola metálica, con lo que se tuvo un peso de 593.15 g, después se introdujo al horno aproximadamente a 110°C durante 24 h, seguido de esto se volvió a pesar la muestra junto con la charola, finalmente se restó el peso de la charola y se aplicó la fórmula que a continuación se presenta:

- Peso del vaso = 86.4 g
- Peso de la grava = 506.75 g
- Peso del vaso más la grava = 593.15 g
- Peso del vaso más la grava después de introducirlos del horno = 576.1 g
- Peso de la grava seca = 489.7 g

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \left(\frac{506.75 \text{ g} - 489.7 \text{ g}}{489.7 \text{ g}} \right) * 100 = 3.5 \%$$

3.2.2 Arena

Se extrajo una muestra de arena del banco que pesaba 431.65 g, la cual se agregó a una charola metálica con un peso de 88.5 g, que suman 520.15 g, como siguiente paso se introdujo al horno por 24 h, para después volver a pesar la muestra y determinar el contenido de humedad de la siguiente manera:

- Peso del vaso = 88.5 g
- Peso de la arena = 431.65 g
- Peso del vaso más la arena = 520.15 g
- Peso del vaso más la arena después de introducirlos del horno = 501.9 g
- Peso de la arena seca = 413.4 g

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \left(\frac{431.65 \text{ g} - 413.4 \text{ g}}{413.4 \text{ g}} \right) * 100 = 4.4 \%$$

3.3 Dosificación del concreto hidráulico.

Se diseñaron dos mezclas de concreto de acuerdo con el Método del ACI (American Concrete Institute), para las resistencias que se presentan a continuación considerando el peso seco compactado del agregado grueso de 1600 kg/m³.

- $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$
- $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$

3.3.1 Resultados para la resistencia a la compresión $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

3.3.1.1 Elección del revenimiento.

De acuerdo a la tabla 2.1. "Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción" se selecciono un revenimiento máximo de 7.5 cm.

3.3.1.2 Tamaño máximo del agregado (T.M.A.).

El T.M.A. fue de $\frac{3}{4}$ " (19 mm) por conveniencia, ya que es un tamaño comercial y no influye en la separación de la varilla.

3.3.1.3 Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire.

Se utilizó la tabla 2.2. "Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado. (IMCYC, 1993)." Se considero un concreto sin aire incluido, un revenimiento de 7.5 cm y un T.M.A. de $\frac{3}{4}$ ", por lo que se obtuvieron 205 kg/m³ de agua.

3.3.1.4 Selección de la relación agua/cemento (a/c).

Dicha relación se basó en la tabla 2.3 "Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto. (IMCYC, 1993)." Debido a que se trató de un concreto sin aire incluido y la resistencia de diseño fue a los 28 días, la relación a/c fue de 0.62.

3.3.1.5 Cálculo del contenido de cemento por m³.

Se sustituyó la cantidad de agua en la relación agua/cemento de la siguiente manera:

Relación agua/cemento= 0.62

Agua: 205 kg/cm³

Despejando "c" se tiene:

$$c = \frac{205 \text{ kg/cm}^2}{0.62}$$

$$c = 330.65 \text{ kg} \approx 331 \text{ kg}$$

3.3.1.6 Estimación del contenido de agregado grueso.

Para saber la cantidad de agregado grueso (grava), se ocupa la tabla 2.4. "Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto. (IMCYC, 1993)." De acuerdo al análisis granulométrico de los agregados el modulo de finura "F.M." fue igual a 3.0, por lo que el volumen de grava por m³ fue de 0.6.

3.3.1.7 Cálculo del peso de la grava.

El peso de la grava fue el resultado de multiplicar el contenido de grava por el peso seco compactado de la misma, quedando de la siguiente manera:

$$0.6 \times 1600 \text{ kg/m}^3 = 960 \text{ kg}$$

3.3.1.8 Peso del concreto.

Se empleo la tabla 2.5. "Primera estimación del concreto fresco. (IMCYC, 1993)." Con un T.M.A. ¾" y se obtuvo un peso de 2345 Kg

3.3.1.9 Cálculo del peso de la arena.

Éste se determinó con la diferencia del peso del concreto fresco menos el peso de los demás ingredientes, es decir, 2345 kg – (205 kg+331kg+960kg)=849 kg

3.3.1.10 Peso neto de la grava.

Considerando un 3.5% de absorción de humedad por parte de la grava, se obtuvo lo siguiente: $960 \text{ kg} \times 1.035 = 993.6 \text{ kg} \approx 994 \text{ kg}$

3.3.1.11 Peso neto de la arena.

Considerando un 4.4% de absorción de humedad por parte de la arena, se tiene lo siguiente: $849 \text{ kg} \times 1.044 = 886.4 \text{ kg} \approx 887 \text{ kg}$

3.3.1.12. Peso neto del agua.

Se rectifico la cantidad de agua de la mezcla, con los siguientes datos:

Peso del agua: $205 \text{ kg} = 205 \text{ L}$

Peso de la grava: 960 kg

Peso de la arena: 849 kg

Contenido de humedad de la grava: 3.5%

Contenido de humedad de la arena: 4.4%

Peso neto del agua: $205 \text{ kg} - [(0.035 \times 960 \text{ kg}) + (0.044 \times 849 \text{ kg})] = 134 \text{ L}$

3.3.1.13 Dosificación para 1 m^3 de concreto con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

➤ Cemento = 331 kg

- Grava = 994 kg
- Arena = 887 kg
- Agua = 134 L

3.3.1.14 Dosificación para 3 cilindros de concreto de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro.

$$\text{Volumen de concreto} = \left[\left(\frac{\pi(0.15 \text{ m}^2)}{4} \right) 0.30 \text{ m} \right] 1.2 = 0.019 \text{ m}^3$$

- Cemento = 331 kg x 0.019 = 6.3 kg
- Grava = 994 kg x 0.019 = 18.8 kg
- Arena = 887 kg x 0.019 = 16.8 kg
- Agua = 134 L x 0.019 = 3 L

3.3.2 Resultados para la resistencia a la compresión $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$

3.3.2.1 Elección del revenimiento.

De acuerdo a la tabla 2.1. "Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción" se seleccionó un revenimiento máximo de 7.5 cm.

3.3.2.2 Tamaño máximo del agregado (T.M.A.).

Al igual que para el diseño de 250 kg/cm² se eligió un T.M.A. de ¾".

3.3.2.3. Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire.

Se manejó la tabla 2.2. "Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado.

(IMCYC, 1993).” Considerando un concreto sin aire incluido, un revenimiento de 7.5 cm y un T.M.A. de $\frac{3}{4}$ ”, por lo que se alcanzaron 205 kg/m^3 de agua.

3.3.2.4 Selección de la relación agua/cemento (a/c).

Dicha relación se consiguió con la tabla 2.3 “Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto. (IMCYC, 1993).” Debido a que se trato de un concreto sin aire incluido y la resistencia de diseño fue a los 28 días, la relación a/c fue de 0.82.

3.3.2.5 Cálculo del contenido de cemento por m^3 .

Se sustituyó la cantidad de agua en la relación agua/cemento de la siguiente manera:

Relación agua/cemento= 0.82

Agua: 205 kg/m^3

Despejamos “c” y obtuvo lo siguiente:

$$C = \frac{205 \text{ kg/m}^3}{0.82}$$

c=250 kg

3.3.2.6 Estimación del contenido de agregado grueso.

Para saber la cantidad de agregado grueso (grava), se manejó la tabla 2.4. “Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto. (IMCYC, 1993).” De acuerdo al análisis granulométrico de los agregados el modulo de finura “F.M.” fue igual a 3.0, por lo que el volumen de grava por m^3 fue de 0.6.

3.3.2.7 Cálculo del peso de la grava.

El peso de la grava se obtuvo de multiplicar el contenido de grava por el peso seco compactado de la grava, quedando de la siguiente manera:

$$0.6 \times 1600 \text{ kg/m}^3 = 960 \text{ kg}$$

3.3.2.8 Peso del concreto.

Se empleó la tabla 2.5. "Primera estimación del concreto fresco. (IMCYC, 1993)."

Con un T.M.A. $\frac{3}{4}$ " y se obtuvo un peso de 2345 Kg

3.3.2.9 Cálculo del peso de la arena.

Éste se logró con la diferencia del peso del concreto fresco menos el peso de los demás ingredientes, es decir, $2345 \text{ kg} - (205 \text{ kg} + 250 \text{ kg} + 960 \text{ kg}) = 930 \text{ kg}$

3.3.2.10 Peso neto de la grava.

Considerando un 3.5% de absorción de humedad por parte de la grava, se obtuvo lo siguiente: $960 \text{ kg} \times 1.035 = 993.6 \text{ kg} \approx 994 \text{ kg}$

3.3.2.11 Peso neto de la arena.

Considerando un 4.4% de absorción de humedad por parte de la arena, se alcanzó lo siguiente: $930 \text{ kg} \times 1.044 = 971 \text{ kg}$

3.3.2.12 Peso neto del agua.

Se rectificó la cantidad de agua de la mezcla, con los siguientes datos:

Peso del agua: 205 kg = 205 L

Peso de la grava: 960 kg

Peso de la arena: 930 kg

Contenido de humedad de la grava: 3.5%

Contenido de humedad de la arena: 4.4%

Peso neto del agua: $205 \text{ kg} - [(0.035 \times 960 \text{ kg}) + (0.044 \times 930 \text{ kg})] = 131 \text{ L}$

3.3.2.13 Dosificación para 1 m³ de concreto con $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

- Cemento = 250 kg
- Grava = 994 kg
- Arena = 971 kg
- Agua = 131 L

3.3.2.14 Dosificación para 3 cilindros de concreto de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro.

$$\text{Volumen de concreto} = \left[\left(\frac{\pi(0.15 \text{ m}^2)}{4} \right) 0.30 \text{ m} \right] 1.2 = 0.019 \text{ m}^3$$

- Cemento = 250 kg x 0.019 = 4.8 kg
- Grava = 994 kg x 0.019 = 18.8 kg
- Arena = 971 kg x 0.019 = 18.4 kg
- Agua = 131 L x 0.019 = 3 L

3.4 Resistencia a la compresión simple en concreto

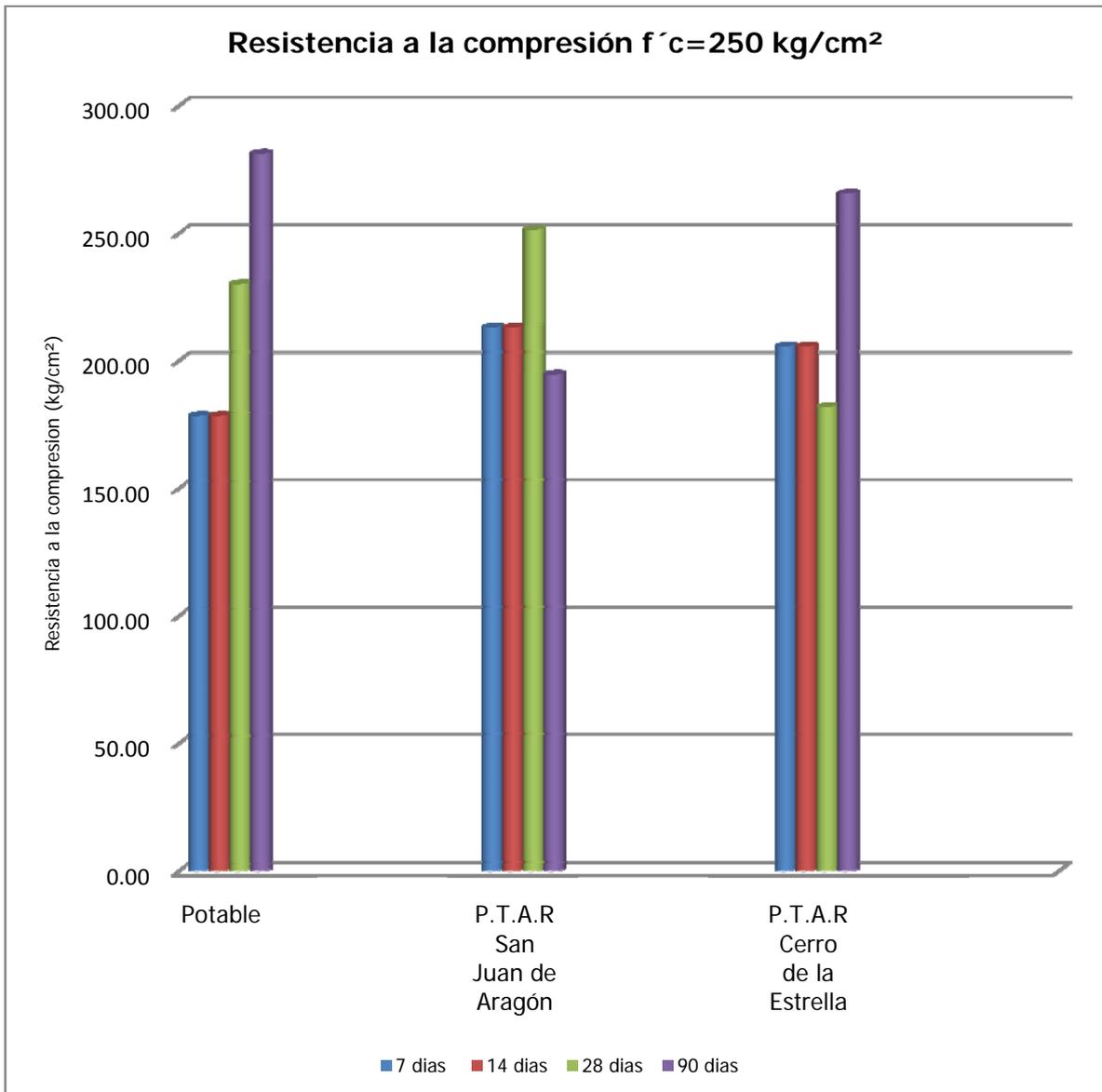
3.4.1 A continuación se presentan los resultados de la prueba de compresión simple en los cilindros de concreto:

Tabla 3.4 Resultados de la prueba de compresión simple.

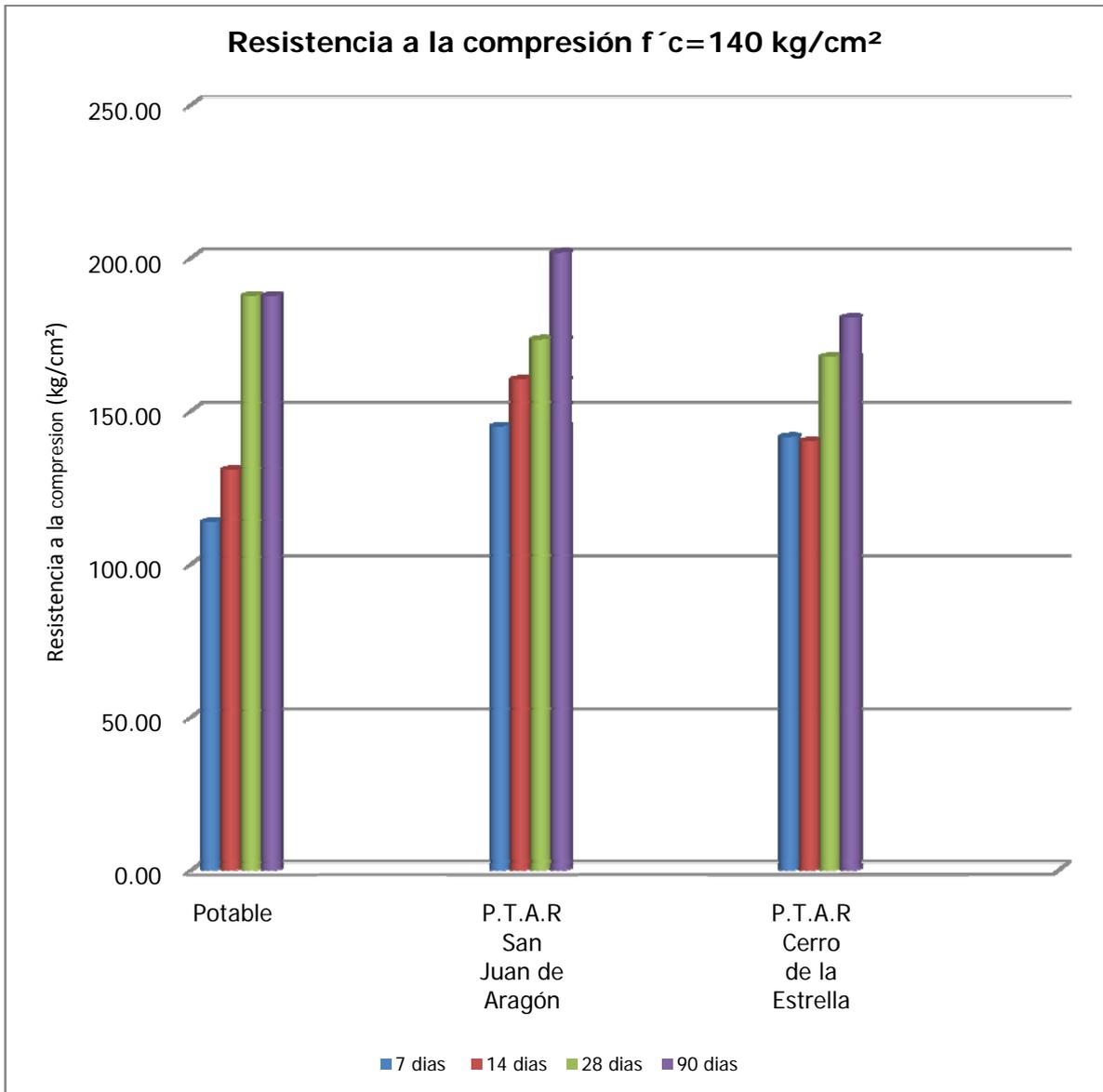
$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$				
Tipo de agua	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)			
	7 días	14 días	28 días	90 días
Potable	178	178	230	281
P.T.A.R San Juan de Aragón	213	213	251	195
P.T.A.R Cerro de la Estrella	206	206	182	266
$f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$				
Tipo de agua	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)			
	7 días	14 días	28 días	90 días
Potable	114	131	188	188
P.T.A.R San Juan de Aragón	142	160	173	190
P.T.A.R Cerro de la Estrella	141	140	168	180

3.4.2 Análisis de la resistencia a la compresión simple en concreto.

Grafica 3.1 Análisis de la resistencia a la compresión $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$



Grafica 3.2 Análisis de la resistencia a la compresión $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$



En la gráfica 3.1 se muestran los resultados de los cilindros con resistencia $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. Se observa que el espécimen testigo va ganando resistencia con el paso de los días como se esperaba, sin embargo, en los cilindros elaborados con agua de la Planta de Tratamiento San Juan de Aragón ocurre una disminución del 23% aproximadamente con respecto a la resistencia a los 28 días.

Lo cual puede explicarse debido a que el agua contenía una DQO (Demanda Química de Oxígeno) de 142.1 mg/L, muy cercano al límite recomendado de 150 mg/L, y que al descomponerse con el paso del tiempo, generó compuestos ácidos que afectaron el proceso de la ganancia de resistencia. Lo anterior no sucede con el concreto de $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ ya que el efecto probablemente se contrarrestó con la elevada alcalinidad del agua que se encuentra en mayor abundancia que en los cilindros de menor resistencia, como se aprecia en la relación a/c de las dosificaciones.

En el caso de los cilindros con agua del Cerro de la Estrella se aprecia un error experimental, pues aparentemente la tendencia debía ser hacia la ganancia de resistencia, no obstante, hay una disminución a los 28 días y vuelve a ganar resistencia a los 90 días, lo anterior quizá ocurrió porque el agua con que se elaboraron los cilindros fallados a los 28 días, permaneció almacenada casi una semana, y la recomendación general, incluso al ocupar agua potable, es que no se utilice el agua almacenada por más de 7 días.

Los resultados que se presentan en la gráfica 3.2 indican un desempeño óptimo para los tres tipos de cilindros, los cuales rebasaron la resistencia de diseño, al igual que para los de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, se observa que el agua residual tratada favorece la ganancia de resistencia en los primeros 14 días no así con el agua potable. La mayor resistencia se obtuvo con aquellos elaborados con el agua residual tratada proveniente de San Juan de Aragón que alcanzó hasta 201.7 kg/cm^2 .

3.5. Calidad de agua utilizada.

Tanto el agua residual tratada de la PTAR de San Juan de Aragón como el agua potable utilizada (Laboratorio L4 de Ingeniería Civil de la FES Aragón) se analizaron en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental del Centro Tecnológico.

Los resultados se presentan en los anexos (ver paginas 72, 73, 76 y 77) La mayoría de los parámetros analizados para el Cerro de la Estrella fueron proporcionados por el Laboratorio de Control de Calidad de la planta (ver páginas 74 y 75).

En la tabla 3.5 "Comparación de análisis químicos" se analizan los límites establecidos de algunos parámetros por las diferentes normas y los valores obtenidos de las distintas muestras de agua que se ocuparon. La mayoría de los parámetros cumplen con los límites propuestos, excepto la alcalinidad en la muestra de San Juan de Aragón. Debe destacarse, que el agua de esta planta se tomó directamente del tanque de aireación de lodos activados y no al final del tren de tratamiento como la del Cerro de la Estrella, la cual si estaba clorada.

Tabla 3.5 Comparación de análisis químicos.

Característica	NOM C – 122	Potable	C. Estrella	SJA
Alcalinidad mg/L	600	320	156	892
Cloruros mg/L	400	335	74	
Cobre mg/L	-	0.17		
CO ₂ mg/L	5			
DQO mg/L	150	12.11	32	141.1
Hierro mg/L	-			
Magnesio mg/L	100	50		
Manganeso mg/L	-	0		
NH ₄ ⁺ mg/L	-	0.21		
pH	> 6.0	7.71	7.27	8.12
Plomo mg/L	-			
Sólidos suspendidos, mg/L	2 000	4	440	13
Sólidos Totales mg/L	3 500	1018		1312
Sulfatos mg/L	3 000	5	39.4	104.2
Sustancias orgánicas solubles en éter mg/L	-	ND		
Zinc mg/L	-			

En el tema 1.3.3 “Agua de mezclado”, se menciona las cantidades recomendables de ciertas características químicas, en las cuales se cumplió dicho parámetro en los tres tipos de agua utilizadas en el experimento (Potable, Planta de Tratamiento Aguas Residuales Cerro de la Estrella y Planta de Tratamiento Aguas Residuales San Juan de Aragón).

Capítulo 4.
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES.

4.1 Conclusiones

A partir de los resultados derivados de los ensayos realizados, análisis de calidad de los distintos tipos de agua y referencias consultadas, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- No existe una normatividad nacional o internacional que especifique algún tipo de agua a utilizar para la elaboración de concreto. Sólo hay recomendaciones de algunos parámetros de calidad sugeridos.
- En términos generales, los tres tipos de aguas utilizadas cumplen con todos los parámetros establecidos por los términos de referencia consultados, de éstos, los límites más estrictos los establece la NOM - C- 122. Agua para concreto. Sólo el agua residual tratada proveniente de la planta de San Juan de Aragón rebasa el límite establecido de 600 mg CaCO₃/L para la alcalinidad ya que el valor reportado es de 892 mg CaCO₃/L.
- El agua residual tratada, favorece la resistencia temprana del concreto (a los 7 y 14 días) a diferencia de agua potable debido a su contenido de carbonatos.
- Los concretos cuya resistencia de diseño fue de $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ tiene un comportamiento óptimo en los tres casos, pues alcanzaron la resistencia establecida.
- En el caso de los especímenes con $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ elaborados con agua tratada del Cerro de la Estrella se observa un error experimental a los 28 días, ya que la tendencia es hacia la ganancia de resistencia.

- Los especímenes de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ elaborados con agua tratada de la PTAR San Juan de Aragón, presentan una disminución de la resistencia a los 90 días atribuible a la descomposición de materia orgánica, por lo que debe vigilarse la concentración de ésta aún cuando no sobrepase los límites recomendados.
- La alcalinidad del agua de San Juan de Aragón, ayuda a contrarrestar el efecto de la descomposición de materia orgánica en los cilindros de $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$.
- El cloro tiene un efecto en la reducción de la resistencia como se observa en los especímenes elaborados con el agua del Cerro de la Estrella la cual estaba clorada, mientras que el agua proveniente de San Juan de Aragón no tenía cloro.
- El agua residual tratada es recomendable para elaborar concretos, especialmente aquellos cuya resistencia sea baja como en la fabricación de banquetas, guarniciones, firmes y plantillas; generalmente de una resistencia no máxima de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

4.2 Recomendaciones

Derivado de lo anterior se recomienda lo siguiente:

- Continuar el estudio haciendo énfasis en el comportamiento de los especímenes a largo plazo (28 y 90 días).
- Evaluar los efectos del agua residual tratada con y sin cloración en concretos reforzados.

- Hacer un seguimiento de la durabilidad de los especímenes realizados con agua residual tratada, para identificar fenómenos como la eflorescencia, expansiones, etc.
- Complementar este trabajo con ensayos en especímenes de mortero para descartar el efecto que tiene el agregado grueso al estar en contacto con el agua.
- Hacer pruebas complementarias como de esfuerzo por tensión y pruebas en el concreto fresco.

Capítulo 5.

REFERENCIAS.

Brooks, D. B, 2002. Agua manejo a nivel local. México: Editorial Alfaomega. 77 p.

CEBECI, O. Z. y **SAATCI**, A. M. 1989. Domestic Sewage as Mixing Water in Concret. *ASI Materials Journal*. 86-M47, 503-506.

CEMEX, 2009. Historia del cemento y concreto. Documento en línea: http://www.cemexmexico.com/ce/ce_pr_hc.html. Última actualización: 2009.

CONAGUA, 2008. Acerca del agua. Documento en línea: <http://www.cna.gob.mx/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=e7820bc7-2da0-4646-a13e-ba8d39bd2493>. Última actualización: Octubre 2008.

CONAGUA, 2009. Usos del agua. Documento en línea: <http://www.cna.gob.mx/Espaniol/TmpContenido.aspx?id=35fc066b-084c-45a4-975c-ae6f9c2660b1>. Última actualización: Marzo 2009.

CRUZ AZUL, 2009. Elaboración del cemento. Documento en línea: www.cruzazul.com.mx/productos/elaboracion.html#proceso. Última actualización: 2005.

DGCOH, 1996. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Compendio 1996, 3ª Edición. Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal, 81 p. México.

GDF, 2009. Gobierno del Distrito Federal: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Delegación Iztapalapa. Documento en línea: <http://www.visitasguiadas.df.gob.mx/visitas/residuales.html>. Última actualización: 2009.

HUMBERTO, R. S, 2008. Balance de materia en una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas. México 2008. 81 p.

IMCYC, 1993. Proporcionamiento de mezclas, Concreto normal, pesado y masivo ACI 211.1. México 1993. 56 p.

Jiménez, B. E. C, 2005. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. México: Editorial Limusa. 926 p.

Lepe, S. J. L, 1981. Proyecto y control de mezclas de concreto. México: Editorial Limusa. 163 p.

Mckee, J. E. y Wolf, H. W. 1963. Water Quality Criteria, 2nd edition. California State Water Quality Control Board.

Müller, *et al.*, 2008. ¿De quién es el agua?, Editorial Gustavo Gilli, 530 p.

NEVILLE, A. M, 1982. Tecnología del Concreto. Cuarta reimpresión. Traducido por Ing. Víctor M. Pavón: Editorial Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 383 p.

NEVILLE, A. M y **BROOKS**, J.J, 1998. Tecnología del Concreto. Traducido por Rosa Gabriela Pineda Sánchez: Editorial Trillas. 329 p.

KUMAR, P. M y **MONTEIRO**, P. J. M, 1998. CONCRETO, Estructura, propiedades y materiales. Traducido por Arq. Heraclio Esqueda Huidobro: Editorial Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 381 p.

PCA, 2009. Historia y Fabricación del Cemento Portland. Documento en línea: http://translate.google.com.mx/translate?hl=es&langpair=en|es&u=http://www.cement.org/basics/concretebasics_history.asp&prev=/translate_s%3Fhl%3Des%26q%3Delaboracion%2Bdel%2Bcemento%2Bportland%26tq%3Dmanufacture%2Bof%2Bportland%2Bcement%26sl%3Des%26tl%3Den. Última actualización: 2009.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, 1965. Portland Cement Association, Concrete Technology. 1965.

ROMERO, J. A. 2005. Calidad del Agua. Segunda edición. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 468 p.

SEMARNAT, 2008. Estadísticas del Agua en México. Documento PDF: Edición 2008. 223 p.

SEMARNAT, 2008. Programa Nacional Hídrico. Documento PDF: Febrero 2008. 163 p.

SOON, L. O., **RAZMAN**, S.M., **ISMAIL**, M. y **ALI**, M. 2001. REUSING TREATED EFFLUENT IN CONCRETE TECHNOLOGY. Journal Technology. 34(F), 1-10.

UAM, 2006. Elaboración de concretos con agua tratada. Documento en línea: <http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/concretos.htm>. Última actualización: 2006.

ANEXOS

Tabla A. Determinación de la resistencia a la compresión a los 7 días.

$f'c=250 \text{ kg/cm}^2$					
Tipo de agua	Espécimen	Carga axial (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión "Promedio" (kg/cm ²)
Potable	1	31,400	176	178.41	178.41
	2	31,400	176	178.41	
	3	31,900	176	181.25•	
P.T.A.R San Juan de Aragón	1	36,000	176	204.55•	213.07
	2	37,000	176	210.23	
	3	38,000	176	215.91	
P.T.A.R Cerro de la Estrella	1	35,800	176	203.41	205.68
	2	34,600	176	196.59•	
	3	36,600	176	207.95	
$f'c=140 \text{ kg/cm}^2$					
Tipo de agua	Espécimen	Carga axial (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión "Promedio" (kg/cm ²)
Potable	1	20,000	176	113.64	113.64
	2	19,500	176	110.80•	
	3	20,000	176	113.64	
P.T.A.R San Juan de Aragón	1	25,000	176	142.05	142.05
	2	25,000	176	142.05	
	3	26,000	176	147.73•	
P.T.A.R Cerro de la Estrella	1	25,000	176	142.05	141.48
	2	22,800	176	129.55•	
	3	24,800	176	140.91	

- Este valor no se considero en el promedio.

Tabla B. Determinación de la resistencia a la compresión a los 14 días.

$f'c=250 \text{ kg/cm}^2$					
Tipo de agua	Espécimen	Carga axial (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión "Promedio" (kg/cm ²)
Potable	1	31,400	176	178.41	178.41
	2	31,400	176	178.41	
	3	31,400	176	178.41	
P.T.A.R San Juan de Aragón	1	36,000	176	204.55•	213.07
	2	37,000	176	210.23	
	3	38,000	176	215.91	
P.T.A.R Cerro de la Estrella	1	35,800	176	203.41	205.68
	2	34,600	176	196.59•	
	3	36,600	176	207.95	
$f'c=140 \text{ kg/cm}^2$					
Tipo de agua	Espécimen	Carga axial (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión "Promedio" (kg/cm ²)
Potable	1	23,000	176	130.68	130.68
	2	23,000	176	130.68	
	3	22,000	176	125.00•	
P.T.A.R San Juan de Aragón	1	29,200	176	165.91•	160.23
	2	28,200	176	160.23	
	3	28,200	176	160.23	
P.T.A.R Cerro de la Estrella	1	24,500	176	139.20	140.06
	2	24,800	176	140.91	
	3	26,400	176	150.00•	

- Este valor no se considero en el promedio.

Tabla C. Determinación de la resistencia a la compresión a los 28 días.

$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$					
Tipo de agua	Espécimen	Carga axial (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión "Promedio" (kg/cm ²)
Potable	1	39,000	176	221.59•	230.11
	2	40,000	176	227.27	
	3	41,000	176	232.95	
P.T.A.R San Juan de Aragón	1	44,000	176	250.00	251.42
	2	43,500	176	247.16•	
	3	44,500	176	252.84	
P.T.A.R Cerro de la Estrella	1	32,000	176	181.82	181.82
	2	32,000	176	181.82	
	3	32,000	176	181.82	
$f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$					
Tipo de agua	Espécimen	Carga axial (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión "Promedio" (kg/cm ²)
Potable	1	33,000	176	187.50	187.50
	2	33,500	176	190.34•	
	3	33,000	176	187.50	
P.T.A.R San Juan de Aragón	1	30,500	176	173.30	173.30
	2	30,000	176	170.45•	
	3	30,500	176	173.30	
P.T.A.R Cerro de la Estrella	1	29,500	176	167.61	167.61
	2	28,500	176	161.93•	
	3	29,500	176	167.61	

- Este valor no se considero en el promedio.

Tabla D. Determinación de la resistencia a la compresión a los 90 días.

$f'c=250 \text{ kg/cm}^2$					
Tipo de agua	Espécimen	Carga axial (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión "Promedio" (kg/cm ²)
Potable	1	46,000	176	261.36•	281.25
	2	50,000	176	284.09	
	3	49,000	176	278.41	
P.T.A.R San Juan de Aragón	1	34,500	176	196.02	194.60
	2	36,500	176	207.39•	
	3	34,000	176	193.18	
P.T.A.R Cerro de la Estrella	1	46,500	176	264.20	265.63
	2	47,000	176	267.05	
	3	46,000	176	261.36•	
$f'c=140 \text{ kg/cm}^2$					
Tipo de agua	Espécimen	Carga axial (kg)	Área (cm ²)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión "Promedio" (kg/cm ²)
Potable	1	33,000	176	187.50	187.50
	2	33,000	176	187.50	
	3	32,500	176	184.66•	
P.T.A.R San Juan de Aragón	1	33,000	176	187.50	201.70
	2	37,000	176	210.23•	
	3	34,000	176	193.18	
P.T.A.R Cerro de la Estrella	1	30,000	176	170.45•	180.40
	2	32,000	176	181.82	
	3	31,500	176	178.98	

- Este valor no se considero en el promedio.

Tabla E. Análisis Físico-Químico de Agua Potable proveniente de la Facultad de Estudios Superiores Aragón.

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Centro Tecnológico Aragón Laboratorio de Ingeniería Ambiental	
	ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS	

Hoja 1 de 2

Solicitud No.0:	Fecha: 23de junio de 2009
Solicitado por:	
Fecha de Muestreo: 23/06/2009	Recepción: 23/06/2009
Procedencia:	Agua potable proveniente del laboratorio L4 de Ingeniería Civil de la FES Aragón

Parámetro		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
Temperatura °C		22.5								
pH		7.71								
C. E. Microsiemens/cm 20°		1696								
Turbiedad (UTN)		0								
Color (Pt – Co) Verdadero/aparente		13 / 17								
Olor										
Materia Flotante		Ausente								
Miligramos por litro	OD	5.49								
	DBO ₅ Total									
	DBO Soluble.									
	DQO Total	12.11								
	SÓLIDOS	Totales								
		Totales fijos								
		Totales volátiles								
		Susp. Totales								
		Susp. Fijos								
		Susp. volátiles								
		Disueltos totales								
		Disueltos fijos								
	Disueltos volátiles									
	Sedimentables									
Miligramos por litros	Acidez CaCO ₃	Anaranjado de metilo	0							
		TOTAL	48.5							
	Alcalinidad CaCO ₃	Fenolftaleína	0							
		Verde de bromocresol	320							
		Carbonatos	0							
		Bicarbonatos	305.33							
		Hidróxidos								
	TOTAL	320								
	Dureza CaCO ₃ CaCO ₃	Calcio								
		TOTAL	78.45							

Tabla E. Análisis Físico-Químico de Agua Potable proveniente de la Facultad de Estudios Superiores Aragón. Cont.

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Centro Tecnológico Aragón Laboratorio de Estudios Ambientales ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS	 FES Aragón
---	---	---

Hoja 2 de 2 .

Muestra n°		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	
Miligramos por litro	Cloruros	335							
	Sulfatos	5							
	Sodio								
	Potasio								
	Cloro libre	0.02							
	Cloro residual	0.02							
	Nitrogeno	Amoniacal	0.21						
		Orgánico							
		TOTAL							
		Nitritos	0.01						
		Nitratos	0.38						
	mg Fósforo/L	Reactivo Total							
		Total							
		Reactivo Disuelto							
		Total Disuelto							
	Grasas y Aceites								
	SAAM Detergentes	0							
	Aluminio	0							
	Arsénico								
	Boro								
	Cadmio								
	Cianuros								
	Cobre total	0.17							
	Cromo								
	Hierro								
	Magnesio	50							
	Manganeso	0							
	Mercurio								
Níquel									
Plomo									
Zinc									

OBSERVACIONES	
Descripción de las muestras: M1 = Agua potable proveniente del laboratorio L4 de Ingeniería Civil de la FES Aragón	
ANALIZADO POR: M. en C. Marjorie Márquez V. M. en C. Sergio Martínez G. C. José Luis Bucio Bernal.	REVISADO POR: : M. en C. Sergio Martínez González
FECHA DE REPORTE: 23 de junio de 2009	

Tabla F. Análisis Físico-Químico de Agua de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Cerro de la Estrella".

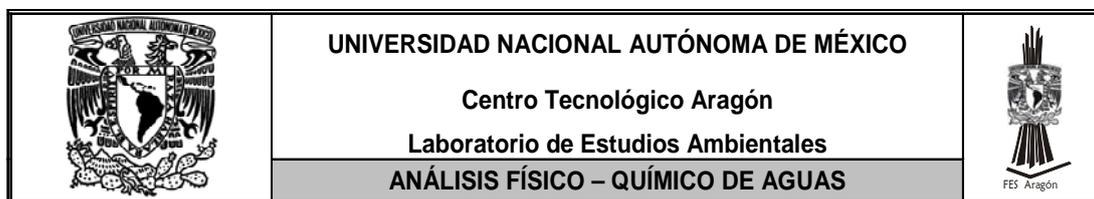
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Centro Tecnológico Aragón Laboratorio de Ingeniería Ambiental ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS	
---	---	---

Hoja 1 de 2

Solicitud No.0:	Fecha: 22 de junio de 2009
Solicitado por:	
Fecha de Muestreo: 22/06/2009	Recepción: 22/06/2009
Procedencia:	Agua Residual Tratada de la P.T.A.R. del Cerro de la Estrella

Parámetro		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
Temperatura °C		20								
pH		7.27*								
C. E. Microsiemens/cm 20°		375								
Turbiedad (UTN)		6.15								
Color (Pt – Co) Verdadero/aparente										
Olor										
Materia Flotante										
Miligramos por litro	OD	5.5								
	DBO ₅ Total									
	DBO Soluble.									
	DQO Total	32								
	SÓLIDOS	Totales								
		Totales fijos								
		Totales volátiles								
		Susp. Totales	440							
		Susp. Fijos	320							
		Susp. volátiles	120							
		Disueltos totales								
	Disueltos fijos									
	Disueltos volátiles									
ml/L	Sedimentables	0.1								
Miligramos por litros	Acidez CaCO ₃	Anaranjado de metilo								
		TOTAL								
	Alcalinidad CaCO ₃	Fenolftaleína								
		Naranja de Metilo								
		Carbonatos								
		Bicarbonatos								
		Hidróxidos								
		TOTAL	156							
	Dureza CaCO ₃	Calcio	56							
		TOTAL	148							

Tabla F. Análisis Físico-Químico de Agua de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Cerro de la Estrella". Cont.



Hoja 2 de 2

Muestra n°		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	
Miligramos por litro	Cloruros	74 *							
	Sulfatos	39.4 *							
	Sodio								
	Potasio								
	Cloro libre								
	Cloro residual	0.2							
	Nitrógeno	Amoniacal							
		Orgánico							
		TOTAL							
		Nitritos							
		Nitratos							
	mg Fósforo/L	Reactivo Total							
		Total							
		Reactivo Disuelto							
		Total Disuelto							
	Grasas y Aceites								
	Fenoles								
	SAAM Detergentes								
	Arsénico								
	Boro								
	Cadmio								
	Cianuros								
	Cobre								
	Cromo								
	Hierro								
	Magnesio								
	Manganeso								
	Mercurio								
	Níquel								
	Plomo								
Zinc									

OBSERVACIONES

Descripción de las muestras:
M1 = Efluente total PTAR "Cerro de la Estrella", la eficiencia reportada por la planta fue del 81%. Los parámetros con asterisco se midieron en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental del Centro tecnológica Aragón UNAM

ANALIZADO POR: PTAR Cerro de la Estrella

REVISADO POR: : M. en C. Sergio Martínez González
FECHA DE REPORTE: 22 de junio de 2009

Tabla G. Análisis Físico-Químico de Agua de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "San Juan de Aragón".

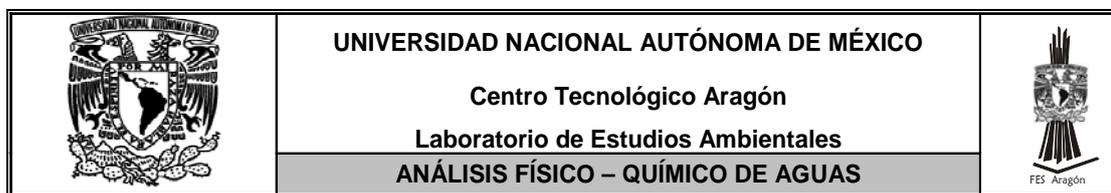
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Centro Tecnológico Aragón Laboratorio de Ingeniería Ambiental ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS	
---	---	---

Hoja 1 de 2

Solicitud No.1:	Fecha: 23 de junio de 2009
Solicitado por:	
Fecha de Muestreo: 23/06/2009	Recepción: 23/06/2009
Procedencia:	Agua Residual del tanque de aireación la P.T.A.R. San Juan de Aragón

Parámetro		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
Temperatura °C		21.5								
pH		8.12								
C. E. Microsiemens/cm 21.5°		1965								
Turbiedad (UTN)		10								
Color (Pt – Co) Verdadero/aparente										
Olor										
Materia Flotante										
Miligramos por litro	OD	2.2								
	DBO ₅ Total									
	DBO Soluble.									
	DQO Total	141.1								
	SÓLIDOS	Totales	1312							
		Totales fijos	1058							
		Totales volátiles	254							
		Susp. Totales	13							
		Susp. Fijos	4							
		Susp. volátiles	9							
		Disueltos totales	1274							
		Disueltos fijos								
	Disueltos volátiles									
Miligramos por litros	Acidez CaCO ₃	Anaranjado de metilo								
		TOTAL								
	Alcalinidad CaCO ₃	Fenoftaleína	0							
		Naranja de Metilo	892							
		TOTAL	892.4							
	Dureza CaCO ₃	Bicarbonatos	1087.9							
		Hidróxidos	0							
		Carbonatos	0							
	Dureza CaCO ₃	Calcio								
		TOTAL	4.4							

Tabla G. Análisis Físico-Químico de Agua de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "San Juan de Aragón". Cont.



Hoja 2 de 2

Muestra n°		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	
Miligramos por litro	Cloruros								
	Sulfatos	104.2							
	Sodio								
	Potasio								
	Cloro residual								
	Nitrogeno	Amoniacal							
		Orgánico							
		TOTAL							
		Nitritos							
	mg Fósforo/L	Nitratos							
		Reactivo Total							
		Total							
		Reactivo Disuelto							
	Total Disuelto								
	Grasas y Aceites								
	Fenoles								
	SAAM Detergentes								
	Arsénico								
	Boro								
	Cadmio								
	Cianuros								
	Cobre								
	Cromo								
	Hierro								
	Magnesio								
	Manganeso								
	Mercurio								
	Níquel								
Plomo									
Zinc									

OBSERVACIONES	
Descripción de las muestras:	
M1 = Agua proveniente del tanque de aireación total PTAR "San Juan de Aragón"	
ANALIZADO POR: M. en C. Sergio Martínez González M. en C. Marjorie Márquez Vázquez	REVISADO POR: M. en C. Sergio Martínez González FECHA DE REPORTE: 26 de junio de 2009