

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO ELABORADO CON AGUA RESIDUAL TRATADA

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por la Br.

Dieguez P, Veronica M.

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO ELABORADO CON AGUA RESIDUAL TRATADA

TUTORES ACADÉMICOS: Prof. Henry Blanco

Prof. Cesar Peñuela

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por la Br.:
Dieguez P, Veronica M.

Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2011

ACTA

El día 25 de Octubre del 2011 se reunió el jurado formado por los profesores:

Henry Blanco / Cesar Peñuela
María E. Rincones
Trino Baloa

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: **“Propiedades Físicas del Concreto Elaborado con Agua Residual Tratada”**.

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que la bachiller hizo de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Veronica M. Dieguez P.	20	Veinte

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO

Caracas, 25 de Octubre de 2011

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de vivir, estar conmigo en cada paso que doy cuidándome y dándome fuerzas para seguir adelante, y además regalarme una familia maravillosa.

A mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por darme una carrera para mi futuro y creer en mí, brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que esté a mi lado.

A todo los que me ayudaron en mi trabajo especial de grados para que pudiera ser concluido de la mejor manera.

AGRADECIMIENTOS.

A mi familia por su apoyo incondicional en todo, por su amor y cariño. ¡Son los mejores del mundo! Gracias a dios por la familia que me dio.

A mi príncipe Gabriel González por apoyarme, darme ánimo y alentarme a seguir adelante y por comprenderme en los momentos que debía estar haciendo este trabajo y no pude estar con él TE AMO.

A mis amigos de la Universidad, especialmente al Calvo, Carlita, La gordis, Mariana y todos aquellos que estuvieron a mi lado durante mi carrera sin ustedes todo este tiempo no hubiese sido lo mismo. Los quiero.

Al Prof. Henry Blanco por toda su atención, motivación, disposición y sobre todo su apoyo incondicional.

Al Prof. Cesar Peñuela por su entusiasmo y apoyo para poder realizar este trabajo.

A todo el personal de la Planta de Tratamiento “El Chorrito” por su apoyo especialmente al Ing. José Crespo y a Deruska Bolaños.

Al todo el personal de la Planta Experimental de Tratamiento de Aguas-UCV, especialmente a Reina y Alejandro por su disposición y apoyo.

Al personal técnico del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, especialmente a Elioner por su disposición y ayuda para poder realizar este trabajo.

Y todos aquellos que aportaron un granito de arena para que este trabajo pudiera salir adelante.

MUCHÍSIMAS GRACIAS

Dieguez Padrin, Veronica María
PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO ELABORADO CON
AGUA RESIDUAL TRATADA

Tutores Académicos: Prof. Henry Blanco

Prof. Cesar Peñuela

Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil. 2011, n° pág. 106.

Palabras claves: Aprovechamiento agua residual, Reuso del Agua Residual
Tratada, Mezcla de Concreto, Propiedades físicas del concreto.

RESUMEN

En esta investigación se plantea la elaboración y análisis del comportamiento de una mezcla de concreto preparada con agua residual tratada para determinar la influencia de sus constituyentes en las propiedades físicas del concreto y su potencial uso en la industria de la construcción. Se seleccionó una planta de lodos activados en aireación extendida “El Chorrillo”, ubicada en el margen derecho del río San Pedro, en los Altos Mirandinos la cual trata parte de las aguas residuales provenientes de Los Teques, Estado Miranda. El agua efluente de la planta fue utilizada para preparar la mezcla de concreto que también fue comparada con una mezcla patrón realizada con agua potable proveniente del abastecimiento de la misma ciudad de Los Teques. Los resultados de la calidad del agua residual tratada se encontraron en los límites establecidos por las normas para ser usada como agua de mezclado, sin embargo la diferencia de la resistencia de la mezcla realizada con agua residual tratada en comparación con la realizada con agua potable fue superior al 10%. Aún cuando los demás ensayos como tiempo de fraguado, peso unitario, absorción, erosión y ultrasonido reflejaron condiciones más desfavorables en la mezcla preparada con agua residual tratada los mismos no fueron significativamente diferente a la mezcla patrón. Finalmente se concluye que la materia orgánica, carbonatos y bicarbonatos y nitratos pueden ser los constituyentes que afectan fundamentalmente las propiedades del concreto. Los nitratos resultaron en concentraciones superiores cuando se comparó el agua de mezclado con las utilizadas en investigaciones previas, razón por la cual se recomienda realizar nuevos estudios dirigidos a comprobar si efectivamente es uno de los componentes que deteriora el concreto.

ÍNDICE

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Generalidades.....	2
1.2. Marco referencial.	3
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Aportes.....	7

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. El reuso del agua residual tratada y su importancia.....	8
2.2. El reuso en el mundo y sus principales usos.	9
2.3 Normativa para la reutilización de aguas residuales tratadas.	11
2.4. Proyectos de reutilización de agua residual	14
2.5. Reutilización de las aguas residuales dentro de la industria de la construcción.	15
2.6. Importancia del agua para la elaboración del concreto.	17
2.6.1. Agua de Mezclado.	18
2.6.2. Agua de Curado.....	18
2.6.3. Calidad del agua para mezclado.....	18
2.7. El agua residual como agua de mezclado para el concreto.	19
2.7.1. Componentes del agua residual tratada que podrían afectar las propiedades del concreto.....	19
2.8. Influencia de los componentes de un agua residual tratada en las propiedades del concreto.....	24

2.8.1. Carbonatos y bicarbonatos (Alcalinidad).	25
2.8.2. Sales de hierro.	25
2.8.3. Manganeso, Estaño, Zinc, Cobre y Plomo.	25
2.8.4. Aceites y grasas.	26
2.8.5. Algas.	26
2.8.6. Sulfatos.	26
2.8.7. Cloruros.	26
2.8.8. Nitratos.	27
2.8.9. Materia Orgánica.	28
2.8.10. Azúcares.	28
2.9. Experiencias de estudios realizados del comportamiento de concretos realizados con agua residual tratada.	28
2.9.1. Uso de las aguas residuales tratadas para mezclas de concreto en Kuwait. (2001).	29
2.9.2. Elaboración de concretos con aguas tratadas. México (2001).	33
2.9.3. Uso de Aguas Residuales Municipales en Concreto para las Construcciones. Pakistán (2005).	36
2.9.4. Uso del Sistema de las aguas residuales tratadas, Lagunas de Estabilización para agua de amasado y curado de concreto. Brasil (2008).	39

CAPITULO III

MÉTODO.	44
3.1. Selección de la planta de tratamiento de aguas residuales.	44
3.2. Obtención del agua residual tratada y el agua potable para la realización de las mezclas de concreto.	45
3.2.1 Verificación de la estabilidad de la planta de tratamiento de aguas residuales.	45
3.2.2 Recolección del agua para la preparación de la mezcla de concreto.	48
3.2.3 Parámetros a determinar en el agua residual tratada y agua potable.	50
3.3. Realización de la mezcla y las probetas de concreto.	52
3.3.1 Diseño de mezcla.	52

3.3.2 Elaboración de probetas.	52
3.4. Ensayos de las probetas.	55
3.4.1. Ensayo de resistencia a la compresión.....	55
3.4.2. Ensayo de ultrasonido.	56
3.4.3. Ensayo de tiempo de fraguado de la pasta de cemento.	58
3.4.4. Ensayos de durabilidad del concreto.	60
3.4.4.1. Ensayo de absorción.	60
3.4.4.2. Ensayo de erosión.	61
3.4.5. Comparación de los pesos unitarios de ambas mezclas.	62
3.4.6. Comparación de color de ambas mezclas.	63

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	64
4.1. Selección de la planta de tratamiento.	64
Fuente: PETA-UCV (2011).....	65
4.2. Obtención del agua para la realización de las mezclas de concreto.	67
4.2.1 Verificación de la estabilidad de la planta.	67
4.2.2. Calidad del agua residual tratada y agua potable utilizada para la mezcla de concreto.	73
4.3. Ensayos realizados al concreto.....	76
4.3.1. Ensayo de tiempo de fraguado de la pasta de cemento.	76
4.3.2. Comparación de los pesos unitarios de las probetas de concreto.	79
4.3.3. Ensayo de ultrasonido en las probetas de concreto.	80
4.3.4. Ensayo de absorción en las probetas de concreto.	81
4.3.5. Ensayo de erosión en las probetas elaboradas con agua residual tratada y agua potable.	81
4.3.6. Comparación de color de mezclas con agua residual tratada y agua potable.	82
4.3.7. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con agua residual tratada y agua potable.	82

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
5.1. Conclusiones.....	88
5.1. Recomendaciones.	90
 BIBLIOGRAFÍA	 91
ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Limites adecuados para los parámetros presentes en el agua para mezclado de concreto establecidos por la norma Mexicana NOM C-122	21
Tabla 2.2. Limites adecuados para los parámetros presentes en el agua para mezclado de concreto establecidos por la norma MERCOSUR NM 137:97	22
Tabla 2.3. Limites adecuados para los parámetros presentes en el agua para mezclado de concreto establecidos por la norma ASTM C-94/C 94 M – 03.	22
Tabla 2.4. Resumen de los parámetros y los limites adecuado al momento de utilizar un agua para elaboración de mezclas de concreto.	24
Tabla 2.5. Calidad del agua para la elaboración de concreto. Kuwait (2001).	30
Tabla 2.6. Tiempo de fraguado inicial y final de los distintos tipos de agua.	30
Tabla 2.7. Calidad del agua para la elaboración de concreto. México (2001)	34
Tabla 2.8. Resistencias a la compresión del concreto. México (2001).	36
Tabla 2.9. Calidad del agua para la elaboración de concreto. Pakistán (2005).	37
Tabla 2.10. Resistencia a la compresión del concreto. Pakistán (2005)	37
Tabla 2.11. Calidad del agua para la elaboración de concreto. Brasil (2008)	40
Tabla 2.12. Tiempo de fraguado inicial y final que obtuvieron para cada muestra de agua.	41
Tabla 2.13. Resistencia a la compresión del concreto. Brasil (2008).	42
Tabla 3.1. Método analítico de las propiedades físicas y químicas del agua.	50

Tabla 3.2. Método analítico de los metales del agua. .	51
Tabla 3.3. Método analítico de los constituyentes inorgánicos no metálicos del agua.	51
Tabla 3.4. Método analítico de los constituyentes orgánicos del agua.....	51
Tabla 3.5. Método analítico de los exámenes microbiológicos del agua.	52
Tabla 3.6 Diseño de mezcla de concreto.	52
Tabla 4.1. Análisis químico de los efluentes de la P.T.A.R. El Chorruto. - Edo. Miranda en los meses de Marzo y Junio del 2011. .	65
Tabla 4.2. Análisis químico de los afluentes y efluentes de la P.T.A.R. El Chorruto. - Edo. Miranda en los meses de Junio y Julio del 2010.....	66
Tabla 4.3. Porcentajes de incremento entre el agua residual y el agua potable.	74
Tabla 4.4. Límites permitidos para la utilización de un agua como agua para mezclado del concreto.....	75
Tabla 4.5. Tiempo de fraguado de mezcla con agua residual tratada y agua potable.	79
Tabla 4.6. Pesos Unitarios de las probetas con agua residual tratada y agua potable.	80
Tabla 4.7. Velocidades de pulso ultrasónico en las probetas con agua residual tratada y agua potable.	80
Tabla 4.8. Promedio de Absorción en las probetas con agua residual tratada y agua potable.	81

Tabla 4.9. Promedio de erosión de las probetas con agua residual tratada y agua potable.	82
Tabla 4.10. Resistencia a la compresión promedio para cada mezcla de concreto. .	83
Tabla 4.11. Porcentaje de diferencia entre las resistencias a la compresión de las distintas mezclas de agua residual tratad y agua potable a los 28 días	84
Tabla 4.12. Comparación de los distintos trabajos realizados.....	86
Tabla 4.12. Comparación de los distintos trabajos realizados (continuación)..	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de Venezuela con las principales concreteras y plantas de tratamiento de aguas residuales de lodos activados	5
Figura 2.1. Resistencia a la compresión de concreto. Kuwait (2001)	32
Figura 3.1. Medición del Oxígeno Disuelto	46
Figura 3.2. Medición de Sólidos Sedimentables en los reactores A y B	47
Figura 3.3. Lodos sedimentables en 30 min en los reactores A y B	48
Figura 3.4. Recolección de agua residual tratada para la realización de las mezclas de concreto.	49
Figura 3.5. Elaboración de las mezclas y probetas con agua residual tratada y agua potable.	55
Figura 3.6. Ensayo de resistencia a la compresión	56
Figura 3.7. Influencia de los defectos en el tiempo de viaje de un Pulso Ultrasónico	57
Figura 3.8. Ensayo de ultrasonido en las probetas a los 28 días	58
Figura 3.9. Elaboración de las mezclas y probetas para la medición del tiempo de fraguado	59
Figura 3.10. Medición del tiempo de fraguado por medio del Aparato de Vicat.	60
Figura 3.11. Medición y pesado de las probetas	62
Figura 4.1. Oxígeno Disuelto en los reactores P.T. El Chorrito	68

Figura 4.2. Índice Volumétrico de lodos	69
Figura 4.3. Oxígeno Disuelto en la salida de la planta de tratamiento “El Chorrito” ..	70
Figura 4.4. Turbiedad en la salida de la planta.....	71
Figura 4.5. pH en la salida de la planta de tratamiento “El Chorrito”.	72
Figura 4.6. Tiempo de fraguado inicial de la pasta de cemento realizada con agua potable.....	77
Figura 4.7. Tiempo de fraguado inicial de la pasta de cemento realizada con agua residual tratada.....	78
Figura 4.8. Ensayo de resistencia a la compresión en cilindros preparados con mezcla de agua residual tratada y agua potable	84

INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo Especial de Grado, se realizaron mezclas de concreto donde se sustituyo el agua potable por agua residual tratada y se evaluó cual sería el efecto que produce en el concreto la incorporación de esta agua residual tratada como agua de mezclado.

Para lograr esto, se seleccionó el agua residual tratada de una planta de nuestro país, con la cual se elaboró una mezcla de concreto a la cual se le realizaron ensayos físicos y químicos que luego fueron comparados con una mezcla patrón realizada de igual manera pero utilizando el agua potable. Es importante mencionar que el agua residual tratada empleada para este estudio tiene su origen en el agua potable que se utilizó para la realización de la mezcla de concreto patrón.

Esto se realizó con el fin de aportar más datos sobre el uso potencial del agua residual tratada en la elaboración de mezclas de concreto, ya que son poco los trabajos realizados en esta área y estos no presentan resultados concluyentes, al menos en lo que a las propiedades del concreto se refiere, lo cual justifica la realización de mayores investigaciones para así tener más evidencias que contribuyan a comprobar el uso del agua residual tratada para la producción de concreto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Generalidades.

El agua es un tema de interés debido a la gran importancia que tiene en la humanidad y para todo ser vivo, es por ello que su conservación es motivo de estudio desde hace muchos años. Una de las formas que se ha encontrado para conservar el agua es su tratamiento después de haber sido utilizada y convertida en agua residual. Este tratamiento consiste en procesos físicos, químicos y biológicos; que tiene como finalidad eliminar los contaminantes que se pueden encontrar en el agua después haber sido utilizada en diversas actividades.

Este tratamiento en sus inicios solo se realizaba con el fin de que los cuerpos de agua no resultaran contaminados por las descargas de las aguas residuales. En los últimos años el agua residual tratada ha tomado mayor importancia, ya que se está estudiando su reutilización en distintas áreas para así disminuir el consumo del agua potable y de esta manera ser más efectiva e integral la conservación del recurso agua.

En la actualidad existen normas que regulan el reuso del agua residual tratada y en ellas se clasifican cada uno de sus tipos, entre los cuales se encuentra la industria de la construcción. Se establece que puede ser utilizada para la compactación de suelos, control del polvo, lavado de materiales y producción del concreto. (Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud de Costa Rica 2007).

Específicamente en la producción del concreto, el agua es imprescindible para la elaboración de la mezcla y ocupa normalmente entre 15% y 20% del volumen total del concreto fresco (Porrero et al., 2008).

Dado que esta cantidad de agua asociada al uso de la producción de concreto, representa un porcentaje importante en la elaboración de la mezcla, podría ser interesante considerar la utilización del agua residual tratada para estos fines.

1.2. Marco referencial.

A pesar que se encuentra establecido en normas de países como Estados Unidos y Costa Rica la posibilidad de la reutilización del agua residual tratada para la construcción, no existen suficientes estudios que comprueben el comportamiento de dicha agua en esta industria, especialmente en la producción del concreto, la cual es una área muy delicada ya que el concreto debe tener unas propiedades y características especiales para que se pueda emplear en las distintas estructuras sin sufrir daños.

Entre los estudios que se han efectuado se encuentran los realizados por Ibrahim Al-Ghusain y Mohammad J. Terro en el año 2001, en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Kuwait; en el que se concluyó que la resistencia se ve afectada con la utilización del agua residual tratada, pero cuando el agua proviene de un tratamiento terciario se obtiene resistencias mayores que las de un concreto realizado con agua potable.

También se encuentran los realizados por Islam-UI-Haque, M A Baig and Mohsin Mi, en el año 2005 en el Instituto de Ciencias Ambientales e Ingeniería de la Universidad Nacional de Ciencias y Tecnología de Rawalpindi, Pakistán; el cual demostró que la resistencia no se ve afectada modificando la mezcla con agua residual tratada.

La investigación de Adán Vázquez e ingenieros Francisco González Díaz, Luis Rocha y J. Antonio Flores, en el año 2001 en la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México; determina que el agua residual tratada puede ser utilizada siempre y cuando se aplique un tratamiento adicional para eliminar o

reducir el contenido de aceites y grasas, ya que es este parámetro el único que queda fuera de límite, y podría causar efectos negativos en la adherencia entre el concreto y el acero, así como efectos de retardo en el fraguado.

Por último tenemos los estudios realizados por Jorge Luis Melo Da Silva en la Universidad Federal de Ceará, Brasil, en el año 2008, que realizaron mezclas de concreto con agua residual tratada proveniente de un sistema de lagunas de estabilización. Concluyeron que es posible obtener concreto de buena calidad con un efluente de aguas residuales en lugar de agua potable ya que en mucho de los casos las resistencias fueron superiores que las obtenidas en las mezclas realizadas con agua potable.

Los estudios mencionados muestran tendencias, en la mayoría de los casos, a que la resistencia del concreto no se ve afectada; sin embargo no parecen concluyentes, al menos en lo que a las propiedades del concreto se refiere, lo cual justifica la realización de mayores investigaciones para así tener más evidencias que contribuyan a comprobar el uso del agua residual tratada para la producción de concreto.

Adicionalmente y con la idea de mostrar la factibilidad de uso del agua residual tratada para la preparación de concreto en Venezuela, en caso de que sus propiedades no sean modificadas significativamente, se presenta a continuación un mapa en donde se ubican las principales concreteiras existentes, así como las plantas de tratamiento de aguas residuales en la modalidad de lodos activados.

Con esta ubicación geográfica se puede verificar de manera preliminar, si es posible tener disponibilidad de agua residual tratada para la preparación del concreto, presentando una visión global de factibilidad de este uso del agua residual tratada, siempre y cuando los resultados de esta u otras investigaciones confirmen que efectivamente es posible usar el agua residual tratada para la elaboración de concreto.

Tal como se observa en el mapa estados como Zulia, Nueva Esparta, Carabobo, Vargas, Sucre y Miranda cuentan con plantas de tratamiento de lodos activados y concreteras; pudiendo ser estos estados en donde se evalué inicialmente la factibilidad económica de este reuso del agua residual para la elaboración de concreto, en caso de que los resultados obtenidos en este trabajo así lo indique.



Figura 1.1. Mapa de Venezuela con las principales concreteras y plantas de tratamiento de aguas residuales de lodos activados

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento de la mezcla de concreto elaborada con agua residual tratada.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar la calidad del agua residual tratada proveniente de la planta de tratamiento El Chorrillo (Estado Miranda) como componente de la mezcla de concreto.
- Comparar la resistencia del concreto elaborado con agua residual tratada y con agua potable.
- Verificar si el tiempo de fraguado de la pasta de cemento realizada con agua residual tratada cumpla con el establecido con la norma COVENIN 2385-2000.
- Comparar la durabilidad del concreto elaborado con el agua residual tratada y con agua potable.
- Verificar si las características físicas del concreto se modifican cuando se utiliza agua residual tratada.

1.4. Aportes.

Este estudio presenta relevancia para la industria de la construcción ya que describirá el comportamiento que presenta una mezcla de concreto realizada con agua residual tratada, lo que permitirá analizar si el agua residual tratada afecta las propiedades del concreto.

Si se comprueba la factibilidad del uso de un agua residual tratada en la elaboración de mezcla de concreto, esto podría resultar interesante para la producción de concreto en las concreteiras que se encuentren cercanas a las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Este trabajo también presenta una gran importancia, ya que podría contribuir con una disminución en el consumo del agua potable y lo más importante de todo buscarle un uso al agua residual tratada y así disminuir el impacto al ambiente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. El reuso del agua residual tratada y su importancia.

El crecimiento acelerado de la población, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, la desigualdad en la distribución de los recursos hídricos y las sequías periódicas; ha llevado a un mejor aprovechamiento de este recurso. Es por ello que en los últimos años el agua residual ha tomado más importancia ya que su tratamiento y posterior reutilización supone un importante medio para disminuir el uso del agua potable en actividades que no requieran este tipo de agua. (Hernández, 1995).

Existen distintas actividades urbanas, comerciales, industriales y agrícolas que se pueden satisfacerse con una calidad de agua de menor exigencia a la del agua potable; es por esto que el agua residual tratada es cada vez más usada para este tipo de actividades. (Hernández, 1995).

La reutilización de las aguas residuales que ha sido implementada en más países es para la actividad agrícola, debido a que aproximadamente el 70% del total del agua requerida por la población es utilizada para la agricultura y el 30% remanente es empleado para consumo humano doméstico, comercial e industrial; lo cual lo hace muy atractiva. (Madera, 2005)

Además del elevado porcentaje que se estaría ahorrando de agua potable en el área de la agricultura, la reutilización trae consigo una gran cantidad de beneficios ya que el agua tratada contiene más nutrientes que el agua potable, por lo que las áreas verdes se ven beneficiadas y además el agua de reuso es más económica que el agua potable, por lo que su uso masivo significa un gran ahorro. (López, 2008)

A pesar que el uso más común de reutilización es el aprovechamiento del agua tratada en actividades agrícolas, en los últimos años se está buscando nuevas áreas para reutilizar estas aguas residuales entre las que se encuentran actividades: recreativas, industriales, recarga de acuíferos, entre otras.

Actualmente se están desarrollando cada vez más programas de reutilización de aguas residuales a nivel mundial, pero estos programas muchas veces no cuenta con la confianza necesaria por algunos pobladores, especialmente en las áreas donde existe abundancia de agua, debido a que tienen temor a riesgos con su salud o con el medio natural. Sin embargo, después de implementar campañas que expliquen sus beneficios y responder a todas las inquietudes de los pobladores, estos programas son aceptados y muy bien valorados. (Hernández, 1995).

Un ejemplo que puede ilustrar la importancia de la reutilización de las aguas residuales en un medio urbano es que para regar un campo de fútbol se utiliza aproximadamente 2628 m³ de agua potable al mes. Pero, si en vez de utilizar esta agua potable se utiliza agua residual tratada para regarlo, se estaría ahorrando suficiente agua potable para abastecer a 243 personas durante el mismo mes con una dotación diaria para cada persona de 360 l/día. (Matos, 2001).

2.2. El reuso en el mundo y sus principales usos.

Los inicios de la reutilización de las aguas residuales tuvieron lugar en los estados de Arizona y California de Estados Unidos a principios de los años 20 para el área de la agricultura. Pero es a partir de 1965 que se impulsa de manera decisiva el reciclaje y el reuso de las aguas residuales. (Arreguín et al, 1997)

Es importante destacar que cada país tiene distintas necesidades, es por ello que el tipo de reutilización del agua dependerá de estas. Es por esto que en países como Arabia, Túnez, España, Egipto e Israel el reuso del agua en agricultura ha tomado enorme importancia; mientras que en Estados Unidos México e India el

reuso se practica en el área industrial, como por ejemplo agua de enfriamiento en industrias, lavado e inclusive para el control de incendios. En experiencias como la de Japón, el agua se reusa en riego de plantas de ornato, jardines, parques, áreas de golf y en algunas localidades para el arrastre de excreta y orina en los sanitarios. (Arreguín et al, 1997)

Una práctica cada vez mas implementada en la reutilización dentro del área urbana son las redes de acueducto duales (agua residual tratada /agua potable) de distribución. El primer país en incorporar este tipo de sistema fue Estados Unidos en la ciudad de Grand Canyon Village (Arizona) en 1926. (Hernández, 1995)

En América Latina no existe mucha tendencia a esta implementación del reuso de aguas residuales. El país que más se encuentra trabajando en esta área es México el cual tiene una gran variedad de proyectos de gran envergadura en esta área. Unas de sus experiencias más recientes es el realizado por La Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT) el cual desarrollo un proyecto sobre el reuso del agua. Este proyecto lleva el nombre de “línea morada”, y sus alcances son el reuso del agua residual tratada en el ambiente urbano (riego de áreas verdes y actividades industriales), así como la recarga a fuentes de abastecimiento de agua a nivel local. (Sierra, 2008).

En nuestro país existe un proyecto en la ciudad de Maracaibo, donde se estudio de factibilidad y diseño definitivo de un sistema de riego para el uso de esas aguas a fin de incorporar 6.000 Ha a la producción agrícola, lo que contribuiría a mejorar la calidad socioeconómica y ambiental del área de influencia del proyecto. Otro impacto positivo de la ejecución de este proyecto es la protección del abastecimiento de agua potable del área sur de la ciudad de Maracaibo a través de la preservación de los acuíferos subterráneos de la zona. (Rosillo, 2002).

Uno de los tipos de reuso que tiene menos desarrollo hasta el momento es la reutilización de las aguas residuales para el consumo humano, debido a la gran

cantidad de controles que esto demanda y la poca aceptación que tiene entre la población. Pero esto no implica que no se está buscando la forma de implementar este tipo de reutilización, habitualmente sus estudios se dividen en dos ámbitos los cuales son: reutilización indirecta y reutilización directa. La reutilización potable indirecta consiste en descargar el agua tratada en un cauce y captarla más tarde, aguas abajo, con el fin de ser incorporada a las fuentes de abastecimiento. La reutilización potable directa consiste en incluir directamente en el sistema de abastecimiento el efluente obtenido en la planta de tratamiento de aguas residuales, que se supone de calidad adecuada. (Hernández, 1995)

Otra de las opciones que existe y una de las más novedosas en la actualidad es la reutilización de las aguas residuales tratadas es en el área de la construcción, para compactación de suelos, control de polvo, lavado de los agregados y hasta para la producción de concreto. Pero este tipo de reutilización aun no ha cobrado importancia, por lo cual es muy poco utilizada (Tchobanoglous, 2000).

En la industria de la construcción y específicamente en la fabricación de concreto se utilizan grandes cantidades de agua, por lo cual sería de interesante la implementación un programa de reutilización de agua residual tratada en esta área, es por ello que es de gran importancia el desarrollo de trabajos en los que se verifique la posibilidad del uso de este tipo de agua sin que se produzca modificaciones en el concreto.

2.3 Normativa para la reutilización de aguas residuales tratadas.

En distintos países existen normas que regulan el reuso del agua residual tratada; los estándares oficiales para la reutilización fueron analizados en Estados Unidos en septiembre de 1990 y fueron presentados ante la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency, EPA).

Las áreas recomendadas por la EPA para la reutilización del agua son las siguientes categorías:

- Reutilización urbana: Riego de zonas en donde haya acceso del público (por ejemplo en zonas verdes, campos de golf, parques, plazas deportivas y cementerios), lavado de automóviles, inodoros, combate de incendios y otros usos con similar acceso o exposición al agua.
- Irrigación de áreas de acceso restringido: Cultivo de césped, silvicultura y otras áreas donde el acceso del público es prohibido o restringido.
- Reutilización agrícola; cultivos alimenticios: Riego superficial o por aspersión, de cualquier cultivo comestible que no se procese previo a su venta, incluyendo aquellos que se consumen crudos y riego de cultivos que, previo a su venta al público, han recibido el procesamiento físico o químico necesario para la destrucción de los organismos patógenos que pudieran contener.
- Reutilización agrícola; cultivos no alimenticios: Riego de pastos, forrajes, cultivos de fibras y semillas, y otros cultivos no alimenticios.
- Lagos recreacionales: Reuso en cuerpos de agua artificiales donde pueda existir un contacto ocasional (por ejemplo: pesca, canotaje y navegación).
- Lagos ornamentales. (acceso restringido).
- Usos en la construcción: Compactación de suelos, control del polvo, lavado de materiales y producción de concreto.
- Usos industriales.
- Recarga de aguas subterráneas.
- Reutilización indirecta para agua potable.

La normativa de Costa Rica dentro de su Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales del Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud de Costa Rica del año 2007, establece que los parámetros que hay que analizar obligatoriamente en las aguas residuales si se desea reutilizar en cualquier área son los siguientes:

- Caudal.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno ($\text{DBO}_{5, 20}$).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Potencial de hidrógeno (pH).
- Aceites y Grasas (AyG).
- Sólidos sedimentables (SS).
- Sólidos suspendidos totales (SST).
- Sustancias activas al azul de metileno (SAAM).
- Temperatura (T).

Los ingenieros ambientales y los gobiernos de los distintos países que implementan el reuso del agua residual como uso frecuente, enfrentan el reto de establecer las tecnologías más apropiadas que les permitan alcanzar los estándares establecidos por las distintas normativas para la reutilización de las aguas. En este sentido, el tratamiento de las aguas residuales domésticas es una actividad que debe cumplir con dos objetivos fundamentales: la protección de la salud pública y la conservación o protección del ecosistema acuático. El primero es particularmente importante en países tropicales, en los cuales existe una alta incidencia de enfermedades infecciosas, cuyos agentes patógenos son dispersados en el ambiente de manera eficiente por las excretas o las aguas residuales; el segundo, entretanto, contribuye a la pérdida de valor económico del recurso y del medio ambiente, lo cual

genera a su vez una disminución del bienestar para la comunidad ubicada en la zona donde se producen las descargas.

Por ello es necesario establecer opciones tecnológicas que protejan la salud de la población, que impliquen el uso moderado o bajo de grandes recursos económicos o de energía, que produzcan un agua con calidades adecuadas para su reuso. (Madera, 2005)

2.4. Proyectos de reutilización de agua residual

Las características técnicas de los proyectos de reutilización son muy variables de unos casos a otros, ya que depende fundamentalmente del tipo de reutilización que se necesita, de las condiciones específicas de disponibilidad de agua residual y de los usuarios del agua regenerada. Por lo tanto, es necesario que la planificación de los sistemas de reutilización se realice sobre la base de unos objetivos claramente definidos. Una vez conocido para que se que se desea reutilizar el agua residual tratada, según distintos trabajos recomiendan seguir los siguientes pasos:

1. Estudio de viabilidad de la reutilización.
 - a. Definir los posibles usos y usuarios.
 - b. Determinación de calidad exigible según destino del agua.
 - c. Estimación los costos como: inversiones necesarias según usos, rentabilidad de las inversiones, etc.
 - d. Informe de viabilidad: posibilidades y límites.
 - e. Estudiada la viabilidad de la reutilización se pasará a desarrollar detalladamente la propuesta más viable realizando un adecuado análisis técnico - económico

2. Análisis técnico - económico.

- a. Caracterización física del medio receptor: clima, topografía, etc.
- b. Caracterización detallada del agua residual disponible, y de la calidad exigida al efluente.
- c. Definición del método de tratamiento adecuado y de las instalaciones necesarias.
- d. Evaluación económica de la inversión.

Por último se establecerá una fase de elaboración y ejecución de inversión y control del mismo que contendrá:

3. Proyecto y ejecución de la actuación.

- a. Definición de usos y usuarios.
- b. Hipótesis del proyecto.
- c. Tratamiento de las aguas residuales para conseguir la calidad objetivo.
- d. Ingeniería del proceso.
- e. Presupuesto de ejecución.
- f. Plan de funcionamiento y explotación: gestión técnica y económica.
(Pérez et al, 1997)

2.5. Reutilización de las aguas residuales dentro de la industria de la construcción.

Como se pudo observar anteriormente una de las áreas que recomienda la EPA para la reutilización del agua residual es la industria de la construcción, específicamente para ser utilizada en:

- Compactación de suelos.
- Control del polvo.
- Lavado de materiales.
- Producción de concreto.

La EPA sugiere que para poder reutilizar el agua tratada en esta área el nivel de tratamiento debe ser secundario, el cual es usado para remover principalmente $\text{DBO}_{5,20}$ y sólidos suspendidos. Los procesos biológicos que se usan normalmente para ello son los de lodos activados, lechos percoladores, biodiscos y sistemas de lagunas.

La calidad del agua exigida por la EPA para esta reutilización son:

- $\text{pH} = 6 - 9$.
- $\text{DBO}_{5,20} = 30 \text{ mg/l}$.
- Sólidos suspendidos totales = 30 mg/l .
- *E. coli* = 200 organismos /100 ml.
- Cloro residual $\geq 1 \text{ mg/l}$.

Para los parámetros de pH y $\text{DBO}_{5,20}$ recomiendan un monitoreo con una frecuencia semanal; para el caso de los sólidos suspendidos totales y *E. coli* diariamente, y para el cloro residual un monitoreo continuo. Esto lo recomiendan con el fin de tener un agua de calidad que pueda ser reutilizada en el área de la construcción.

A pesar que se recomienda esta reutilización y existen normas que avalan esta posibilidad, en la industria de la construcción es una de las áreas donde es menos reutilizada este tipo de agua. Esto es debido a que en ellas son exigidos unos

altos niveles de seguridad y se debe cumplir ciertos parámetros específicos dependiendo del área donde se esté trabajando.

Unos de los pocos usos que se le da en la actualidad al agua residual en esta industria, es el lavado de los camiones para poder extraerle el concreto residual que queda en su interior. (Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL), 2007).

Otra práctica que se está implementando es la desarrollada por la empresa Hormigones Minetti de Argentina, específicamente en las localidades de Buenos Aires y Rosario las cuales dispone de las primeras dos plantas equipadas para recuperar concreto y agua proveniente del concreto residual que llega todos los días a la planta. En la cual extrae el agua que se encuentra en el concreto residual y esta agua después es reutilizada en su planta para elaboración de nuevo concreto o para el lavado de los equipos. . (Hormigones Minetti, 2011)

Pero países como México están realizando varios trabajos que consiste en la implementación de acueductos que lleven agua residual directamente a las industrias, incluyendo las concreteras, por lo cual se están realizando diversos estudios evaluando la factibilidad de utilizarlos en las mezclas de concreto. (SAPAL, 2007).

2.6. Importancia del agua para la elaboración del concreto.

El agua es uno de los componentes esenciales en las mezclas de concreto, debido a que es la que entra en contacto con el cemento para proporcionar propiedades de fraguado a fin de formar un sólido compacto con los agregados. Dentro de la elaboración de un concreto existe dos clasificaciones para el agua, de mezclado y la de curado.

2.6.1. Agua de Mezclado.

Es la cantidad de agua que requiere el concreto por unidad de volumen para que se hidraten las partículas del cemento y para proporcionar las condiciones de manejabilidad adecuada que permitan la aplicación y el acabado del mismo en el lugar de la colocación en el estado fresco. (Bauzán, 2010).

2.6.2. Agua de Curado.

Es la cantidad de agua adicional que requiere el concreto una vez endurecido a fin de que alcance los niveles de resistencia para los cuales fue diseñado. Este proceso adicional es muy importante en vista de que, una vez colocado, el concreto pierde agua por diversas situaciones como:

- Altas temperaturas por estar expuesto al sol o por el calor reinante en los alrededores.
- Alta absorción de la base donde se encuentra colocado el concreto.
- Fuertes vientos que incrementan la velocidad de evaporación. (Bauzán, 2010).

2.6.3. Calidad del agua para mezclado.

El agua utilizada para la mezcla de concreto debe estar libre de materiales que afectan de manera significativa la reacción de hidratación del cemento. El agua potable por lo general puede ser considerada como aceptable para su uso en mezcla concreto. Pero esto no es limitante, ya que también se puede emplear para la elaboración del concreto agua que no se considera potable, tomando como precaución algunos constituyentes que podrían ser dañinos para el concreto. (ACI, 1991).

Si se va a emplear un agua dudosa en el concreto, se deben verificar ciertos parámetros ya que si existe un exceso de impurezas en el agua de mezclado puede causar reacciones perjudiciales al concreto o alteraciones en sus propiedades. (Kosmatka, 2009)

Los requisitos de calidad para el agua de mezclado no tiene ninguna relación con el aspecto bacteriológico, básicamente se refiere a las características fisicoquímicas y sus efectos que podría tener en las propiedades del concreto. Normalmente se recomienda agua potable para la mezcla de concreto pero aún dentro de esta pueden existir componentes que pueden afectar al concreto. (Vázquez, 2001).

2.7. El agua residual como agua de mezclado para el concreto.

Como fue especificado anteriormente uno de los usos recomendados es la reutilización del agua residual para la producción del concreto, pero como se ha visto, la calidad del agua para la mezcla de concreto es fundamental por la incidencia que puede tener sobre sus propiedades básicas. Así mismo parámetros como los bacteriológicos que no afectan la resistencia del concreto también deben ser considerados para preservar los niveles de seguridad.

Por lo cual esta situación amerita determinar los parámetros de calidad del agua residual tratada que pueden afectar las propiedades del concreto, en especial sales inorgánicas como cloruros y sulfatos y la materia orgánica. (Vázquez, 2001).

2.7.1. Componentes del agua residual tratada que podrían afectar las propiedades del concreto.

Cada país tiene una norma que rige cuáles son los parámetros que hay que prestarle atención al momento de utilizar un agua que no sea potable para la mezcla de concreto. Entre estas normas se encuentran:

- Norma Técnica Colombiana 3459 “Agua Para la Elaboración de Concreto” la cual fue realizada en el año 2001, y establece que el agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto.

Hay que tener cuidado con altos niveles de las impurezas orgánicas, las aguas que tengan color oscuro, un olor profundo o en aquellas donde sean visibles algas deben ser ensayadas ya que pueden tener altos niveles de impurezas orgánicas.

Las aguas que contengan calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato, cloruros, nitratos y carbonatos, también deben ser de cuidado ya que esto podría ser nocivo para el concreto y no deben tener un contenido mayor de 2000 mg/l de contenido total de estos elementos.

- Norma Oficial Mexicana NOM C-122, establece que las aguas que contengan cloruros, sulfatos y magnesio, podrán ser empleadas 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 los límites adecuados, los cuales se presentan en la tabla 2.1. que se muestra a continuación.

Tabla 2.1. Limites adecuados para los parámetros presentes en el agua para mezclado de concreto establecidos por la norma Mexicana NOM C-122

Parámetro	Cemento ricos en calcio	Cemento sulfatorresistente
Cloruros (concreto pretensado) (mg/l)	400	600
Cloruros (concreto húmedo o con elementos de aluminio) (mg/l)	700	1000
Sulfatos (mg/l)	3000	3500
Carbonato de calcio y magnesio (mg/l)	600	600
pH	Menor de 6,0	Menor de 6,0
Materia Orgánica (mg/l)	150	150
Álcalis total como Na ⁺ (mg/l)	300	450
Dióxido de carbonato CO ₂ (mg/l)	Menor de 5	3
Sólidos suspendido en agua natural (mg/l)	2000	2000
Sólidos suspendido en agua reciclada (mg/l)	50000	50000
Magnesio (mg/l)	100	150
Total de impurezas en solución (mg/l)	3500	4000

Fuente: Vázquez, 2001

- Norma Mercosur NM 137:97: Esta norma fue realizada en Brasil y forma parte de los Organismos de Normalización de los países integrados del MERCOSUR, en la cual se establece los parámetros adecuados que debe tener el agua para preparación de morteros y concreto de cemento Portland, los cuales se presentan a continuación:

- **Requisito Físicos**

- Determinación de tiempos de fraguado: No puede diferir en más de 30 min entre el agua potable y el agua que se desea utilizar.
- Ensayos a compresión: No puede diferir en más de 10% entre las muestras realizadas con el agua potable y el agua de estudio, los cuales se deben ensayar a los 7 y 28 días.

- **Requisito Químicos**

Tabla 2.2. Límites adecuados para los parámetros presentes en el agua para mezclado de concreto establecidos por la norma MERCOSUR NM 137:97

Parámetro		Límites	
		Mínimo	Máximo
Residuos Sólidos (mg/l)		--	5000
pH		5,5	9
Hierro (mg/l)		--	1
Sulfatos (mg/l)		--	2000
Cloruros (mg/l)	Concreto simple		2000
	Concreto armado		700
	Concreto pretensado		500

Fuente: Norma Mercosur (1997).

- Norma ASTM C-94/C 94 M - 03: En esta norma se establece que el agua de mezclado deberá ser clara y, aparentemente limpia. Si contiene cantidades de sustancias que pueden decolorar o que tuviera un aroma o sabor inusual o desagradable o provocar sospecha, no debe utilizarse a menos que los registros de servicio de concreto hecho con ella o cualquier otra información indiquen que no es perjudicial para la calidad del hormigón. Además establece los límites de los parámetros presentados en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Límites adecuados para los parámetros presentes en el agua para mezclado de concreto establecidos por la norma ASTM C-94/C 94 M – 03.

Parámetro	Límite adecuado
Cloruros (mg/l)	500
Sulfatos (mg/l)	3000
Alcalinidad (mg/l)	600
Sólidos totales (mg/l)	50000

Por último se tiene la norma de nuestro país, COVENIN 2385-2000 “Concreto y mortero. Agua de mezclado. Requisitos”, la cual establece que cuando es dudosa la procedencia del agua de mezclado debe cumplir con algunos ensayos físicos y

químicos para que esta pueda ser utilizada para la realización de concreto, entre las que se encuentran los siguientes:

- **Físicos**

- Determinación de tiempos de fraguado: No puede diferir en más de 15 min en tres mezclas de muestras.
- Ensayos a compresión: No puede diferir en más de 10% entre las muestras realizadas con el agua potable y el agua de estudio.

- **Químicos**

- Sólidos disueltos: 5000 mg/l.
- Cloruros: 500 mg/l.
- DQO: 250 mg/l.
- pH: 5,0 a 7,5.

En la tabla 2.4. se presenta un resumen de todos los parámetros y los límites adecuados que se deben considerar al momento de utilizar un agua de procedencia dudosa en una mezcla de concreto que se presentan en alguna de las normas anteriormente mencionadas.

Tabla 2.4. Resumen de los parámetros y los límites adecuados al momento de utilizar un agua para elaboración de mezclas de concreto.

Parámetro	Límites máximos adecuados.			
	ASTM C-94/C	COVENIN	NM 137:97	NOM C-122
Cloruros (mg/l)	500	500	500	400
Sulfatos (mg/l)	3000	--	2000	3000
Hierro (mg/l)	--	--	1	--
pH	--	5,0 a 7,5	5,5 a 9,0	< 6,0
DQO (mg/l)	--	250	--	150
Sólidos suspendidos (mg/l)	--	--	--	2000
Sólidos disueltos (mg/l)	--	5000	--	--
Sólidos totales (mg/l)	50000	--	5000	--

2.8. Influencia de los componentes de un agua residual tratada en las propiedades del concreto

A continuación se presenta la influencia de cada uno de los parámetros que se pueden encontrar en el agua en una mezcla de concreto. Casi todos estos parámetros afectan la resistencia y el tiempo de fraguado; es por ello que es recomendable considerarlos cuando se va a utilizar agua residual tratada para producción de concreto. Entre los parámetros se encuentran:

- Carbonatos y bicarbonatos (Alcalinidad).
- Sales de hierro.
- Manganeso
- Estaño
- Zinc
- Cobre
- Plomo.
- Aceites y grasas.
- Algas.

- Sulfatos.
- Cloruros.
- Nitratos.
- Materia Orgánica.
- Azucares.

2.8.1. Carbonatos y bicarbonatos (Alcalinidad).

Los carbonatos y los bicarbonatos de sodio y potasio pueden causar efectos sobre el tiempo de fraguado en el concreto. Por lo general el carbonato de sodio puede causar un fraguado rápido, mientras que el bicarbonato puede tanto acelerar como retardar el fraguado en el concreto. Cuando la suma de las sales disueltas excede a 1000 mg/l, podrían causar estos tipos de cambios en el concreto. (Grases et al., 2008).

2.8.2. Sales de hierro.

Las aguas residuales normalmente no contienen grandes cantidades de sales de hierro pero se podría dar el caso que si contienen cantidades mayores de 40,000 mg/l, podrían causar manchas superficiales en el concreto. No se conoce otro efecto nocivo que puedan causar en el concreto. (Grases et al., 2008).

2.8.3. Manganeso, Estaño, Zinc, Cobre y Plomo.

Aunque dentro de las aguas residuales este tipo de sales son casi inapreciables, si se tuviera concentraciones conjuntas mayores de 500 mg/l podría causar apreciables disminuciones de su resistencia y retrasos considerables en el tiempo de fraguado. (Grases et al., 2008).

2.8.4. Aceites y grasas.

En las aguas residuales podemos conseguir aceites vegetales y animales sobre todo cuando tenemos una planta que trata aguas residuales domésticas y en menor cantidades aceites minerales, los cuales pudieran reducir la resistencia en más del 20% cuando se tienen en concentraciones superiores a 2 gramos por cada 100 g de cemento. Generalmente ocurre cuando se tienen aceites minerales en las aguas y además estos también podrían causar una dificultad de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados. (Kosmatka, 2009).

2.8.5. Algas.

Las aguas residuales tratadas con sistemas de lagunas pueden contener algas, las cuales pueden influir en la hidratación de cemento, provocar aire dentro del concreto y además reducir la adherencia entre el agregado y la pasta; lo que podría causar reducciones en la resistencia del mismo, por lo cual no se recomienda que las aguas para la fabricación de concreto contengan algas. (Kosmatka, 2009).

2.8.6. Sulfatos.

Uno de los componentes que puede contener el agua residual que puede ser más nocivo son los sulfatos, debido a que estos tienen un efecto destructivo a pequeña escala ya que causa un aumento del volumen lo cual va destruyendo el concreto. Se pueden causar efectos a pequeña escala desde cantidades de 150 mg/l contenidos en el agua. (ACI, 1991)

2.8.7. Cloruros.

El efecto adverso de los iones cloruro sobre la corrosión de la armadura (refuerzo) es la principal razón por lo cual hay que considerar cuando hay presencia de estos en el agua usada para la preparación del concreto.

Es difícil el establecimiento de límites aceptables del contenido de cloruros, pues hay muchas fuentes de iones de cloruro en el concreto. Un límite aceptable depende principalmente del tipo de estructura y del medio al cual este expuesta durante su vida útil.

El instituto americano de concreto (ACI) 318 limita el contenido de iones solubles en agua en el concreto armado de la siguiente manera:

- Concreto pretensado 6 gramos por cada 100 g de cemento.
- Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su vida 0,15 gramos por cada 100 g de cemento.
- Concreto reforzado que va a ser mantenido seco y protegido de la humedad durante su vida 1 gramos por cada 100 g de cemento.
- Otras construcciones en concreto reforzado 0,30 gramos por cada 100 g de cemento.
- Para el concreto sin refuerzo este valor no está limitado. (Kosmatka, 2009).

2.8.8. Nitratos.

Los nitratos pueden estar presentes dentro de las aguas residuales tratadas en mayor o menor cantidad dependiendo del tipo de tratamiento al cual es sometida el agua residual.

No se encuentran establecidos los límites que pueden llegar a ser nocivos para el concreto, pero se ha encontrado que puede causar un deterioro en el concreto. (ACI, 1991).

2.8.9. Materia Orgánica.

La materia orgánica podría modificar el tiempo de fraguado o reducción de la resistencia. Aunque se tengan aguas con menos de 400 mg/l de materia orgánica podría reducir hasta un 10% la resistencia del concreto. (Grases et al., 2008).

2.8.10. Azúcares.

Pequeñas cantidades de azúcares de 0,03% al 0,15% del peso de cemento, puede disminuir la resistencia a los 7 días y cantidades mayores a 0,25% del peso del cemento puede causar variaciones en el fraguado y grandes reducciones de resistencia a los 28 días. (Kosmatka, 2009).

Como se puede apreciar por más que en muchas normas no son regulados algunos de estos parámetros, pueden llegar a ser nocivos para el concreto de una u otra manera. Es por ello que siempre que se vaya a utilizar un agua distinta a la potable es recomendable realizar ensayos a esta mezcla para verificar su resistencia.

2.9. Experiencias de estudios realizados del comportamiento de concretos realizados con agua residual tratada.

Por lo antes expresado se puede apreciar que esta área requiere mucho estudio, los cuales son escasos y los pocos realizados no conducen a un resultado concluyente. También hay que destacar que de ser posible el uso de agua residual tratada en la elaboración del concreto, sin modificaciones sustanciales en sus propiedades, la relación costo beneficio será quien defina ciertamente su factibilidad de uso.

En las referencias encontradas aparece Singapur, como uno de los países donde se realizaron las primeras pruebas de mezclas de concreto con agua residual

tratada y con agua potable, cuyos resultados mostraron que con el agua residual el concreto tuvo resistencias mayores que con la mezcla realizada con agua potable, sin embargo no se encontraron mayores detalles de este trabajo.

Los trabajos e investigaciones encontrados con detalles metodológicos y resultados obtenidos se presentan a continuación.

2.9.1. Uso de las aguas residuales tratadas para mezclas de concreto en Kuwait. (2001).

Estos ensayos fueron realizados en el año 2001 por Ibrahim Al-Ghusain y Mohammad J. Terro, en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Kuwait.

Para este ensayo realizaron probetas en forma de cubos con un diseño de mezcla para alcanzar una resistencia a la compresión de 25 MPa (255 kgf/cm²), donde realizaron 4 mezclas distintas variando en cada una de ellas el agua de mezclado. El agua utilizada en este trabajo fue: agua potable, agua residual con un tratamiento primario, agua residual con un tratamiento secundario y agua residual con un tratamiento terciario constituido por filtración y desinfección con cloro. Todas estas aguas fueron obtenidas de una planta de tratamiento de aguas residuales local, la cual cuenta básicamente con un tratamiento de lodos activados con tratamiento terciario de filtración y cloración.

Los ensayos que le realizaron a estos cubos de concreto fueron:

- Pruebas de resistencia a la compresión a los 3, 7, 21 y 28 días y a los 3, 6 y 18 meses. Estos ensayos los realizaron de acuerdo a la Norma Británica (BS 1881: Parte 116).
- Pruebas de tiempo de fraguado, realizadas con el concreto recién mezclado de acuerdo a la norma ASTM estándar de C 484.

La calidad del agua que utilizaron para estos ensayos tenían las siguientes características las cuales se presentan en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Calidad del agua para la elaboración de concreto. Kuwait (2001).

Parámetros	Aguas según el tipo de tratamiento			Agua potable
	Preliminar	Secundario	Terciario	
Temperatura (°C)	26	26	26	25
pH	7,4	7,8	7,3	8
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	221	12	7	0
Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)	172	10	5	0
Sólidos suspendidos fijos (mg/l)	49	2	2	0
Sólidos totales (mg/l)	986	876	773	301
Sólidos volátiles totales (mg/l)	716	134	104	116
Sulfatos (mg/l)	230	180	160	110
Nitratos (mg NO ₃ ⁻ -N/l)	0	0,4	1,9	0,2
Nitritos (mg NO ₂ ⁻ -N/l)	0	0	0,6	0
Cloruros (mg/l)	287	290	340	133
Amonio (mg/l)	37	44	36	0
DQO (mg/l)	407	61	29	3
Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	228	66	57	66
Sulfito (mg/l)	0,9	0	0,2	0
Cloro residual libre (mg/l)	0	0	0,18	0,02
Cloro residual total (mg/l)	0	0	1,71	0,05

Una vez realizado los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados:

- Tiempo de fraguado.

Tabla 2.6. Tiempo de fraguado inicial y final de los distintos tipos de agua.

		Tiempo de Fraguado Inicial (horas)	Tiempo de Fraguado Final (horas)
Tipo de tratamiento	Primario	4,91	8,85
	Secundario	5,78	8,50
	Terciario	4,48	7,65
	Agua Potable	4,61	7,07

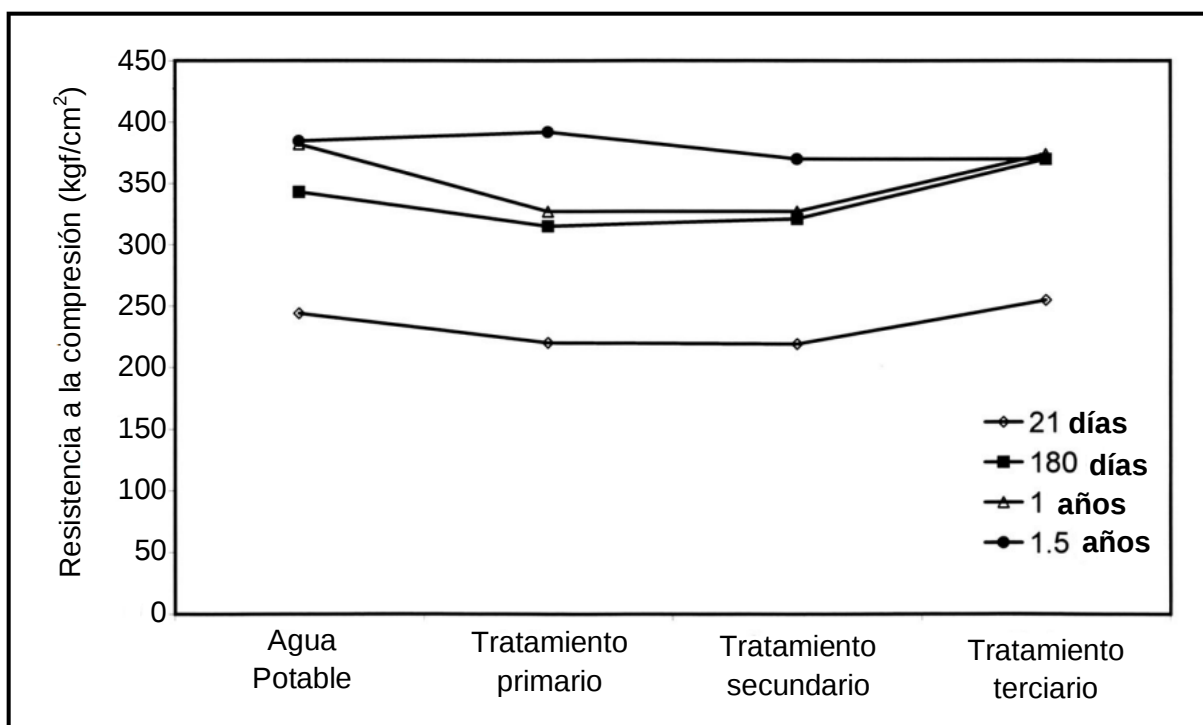
Ellos determinaron que el tiempo de fraguado inicial es mayor en el agua con tratamiento secundario podía ser atribuido a la mayor concentración de amoníaco en el efluente secundario. Los tiempos de fraguado finales parecen estar directamente relacionados con la calidad del agua de mezcla, ya que obtuvieron una diferencia de casi dos horas entre el agua potable y el agua residual con tratamiento primario y podría estar relacionado directamente con la cantidad de materia orgánica presente en el agua.

- Densidad

Los diferentes tipos de agua de la mezcla no afectaron significativamente la densidad de la concreto fresco como lo indica la variación de menos del 5% de densidad entre el concreto hecho con agua potable (2320 kg/m³) y el que se hizo con agua residual con tratamiento terciario (2210 kg/m³).

- Resistencia a la compresión

El efecto del tipo de agua de la mezcla en el desarrollo de la fuerza se muestra en la figura 2.1, donde se presenta el efecto de la edad (21 d, 180 d, 1 año y 1,5 años) para cada una de las aguas empleadas para la realización del concreto. En general, el concreto con agua residual con tratamiento primario y secundario mostraran menores resistencias para las edades de hasta 1 año.



fuentes: Al-Ghusain y Terro 2001

Figura 2.1. Resistencias a la compresión del concreto. Kuwait (2001)

Después de todos estos ensayos que realizaron concluyeron lo siguiente:

- Los tiempos de fraguado iniciales y finales fueron más afectados en las mezclas realizadas con agua de tratamiento primario y secundario.
- Las mezclas con agua de tratamiento primario y secundario mostraron un desarrollo más lento de la resistencia y la mezcla con agua de tratamiento terciario mostraron resistencias mayores a los 3 y 7 días que las realizadas con agua potable.
- Las aguas residuales con tratamiento terciario, son apropiadas para realizar mezclas de concreto, ya que tanto en los ensayos de resistencia y corrosión del concreto se obtienen resultados similares a los realizados con agua potable; no ocurre lo mismo con los realizados con aguas con tratamiento primario y secundario ya que no se tiene resistencias adecuadas para su utilización.

2.9.2. Elaboración de concretos con aguas tratadas. México (2001).

Fue realizado en México por Adán Vázquez e ingenieros Francisco González Díaz, Luis Rocha y J. Antonio Flores, en el año 2001, donde seleccionaron cinco plantas de agua residual tratada de ese país, para realizar mezclas de concreto con cada uno de sus efluentes y luego compararlos con una mezcla realizada con agua potable. Tres de las plantas seleccionadas cuentan con tratamiento de lodos activados convencionales más desinfección con cloro, otra cuenta con el mismo tratamiento anterior pero también incluye filtración con arena y antracita, y la última tiene un tratamiento terciario de filtración con arena y absorción con carbono activado.

Las pruebas realizadas para este estudio fueron:

- En estado fresco: asentamiento y peso volumétrico.
- En estado endurecido: resistencia a compresión, módulo de elasticidad, expansiones en barras de mortero y método del gel fluorescente.

La calidad del agua que ellos utilizaron se presenta en la tabla 2.7.

**Tabla 2.7. Calidad del agua para la elaboración de concreto.
México (2001).**

Parámetro	Acueducto de Guadalupe	Azcapotzalco	San Juan de Ixtayopan	Agua potable
pH	8	7,7	7,6	7,7
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	--	718	1183	483
Sólidos totales (mg/l)	--	493	--	313
Sólidos disueltos totales (mg/l)	--	491	1065	313
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	--	4,6	25	0
Aceites y Grasas (mg/l)	--	3,75	63	6,77
DBO (mgO_2/l)	--	38	--	17
DQO (mgO_2/l)	--	74	63	41
Calcio (mg/l)	--	37	--	25
Magnesio(mg/l)	--	14	--	20
Potasio (mg/l)	--	19	--	11
Sodio (mg/l)	--	80	--	38
Alcalinidad total (mg/l CaCO_3)	635	251	379	174
Fósforo total (mg/l)	--	6,7	--	0
Fluoruros(mg/l)	--	1,5	--	0,7
Silice (como SiO_2) (mg/l)	--	24	--	26
Sulfatos (mg/l)	235	--	--	--
Cloruros (mg/l)	125	--	230	--

Realizaron con cada una de las aguas tres mezclas con diferentes resistencias de 200, 250 y 300 kg/cm^2 , luego de realizadas cada una de las mezclas los resultados obtenidos fueron:

- Asentamiento.

Las mezclas de concreto elaboradas con agua tratada tuvieron un incremento de asentamiento con respecto a las elaboradas con agua potable. Esto se debió a que el agua de mezclado contenía concentraciones de grasas y aceites.

- Peso volumétrico

El peso volumétrico de los concretos con agua residual tratada tuvieron una disminución con respecto a las elaboradas con agua potable.

- Resistencia a la compresión en cilindros

Las muestras de concreto hechas con agua potable arrojaron resultados dentro de lo esperado, mostraron un incremento gradual de su resistencia a edades de 7, 28 y 90 días.

Agua Tratada 1- Azcapotzalco

Las resistencias obtenidas de los especímenes elaborados con el agua tratada de Azcapotzalco son un ejemplo demostrativo de la fabricación de concretos con altas concentraciones de grasas, ya que la resistencia obtenida a los 7 y 28 días fue la esperada, pero al probarse a los 90 días, la resistencia decreció esto es debido al contenido de sustancias no favorables en el agua de mezclado.

Agua Tratada 2- San Juan Ixtayopan y Agua Tratada 3- Acueducto de Guadalupe.

Se puede observar en la tabla 2.8., que para las muestras elaboradas con agua tratada de la planta de San Juan Ixtayopan, las resistencias a 90 días de los concretos de 200 kg/cm^2 y 250 kg/cm^2 cumplen con la resistencia de diseño, aunque no es el caso de la diseñada para 300 kg/cm^2 . Las resistencias obtenidas de los especímenes elaborados con agua tratada de la planta de Acueducto de Guadalupe, cumplen en todos los casos con las resistencias para las cuales fueron diseñadas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las cantidades de sustancias dañinas que se encontraron en el agua de mezclado, posiblemente harán que a edades mayores la resistencia disminuya.

En las tabla 2.8. se presenta la comparación de resistencia a la compresión en cilindros de concreto de las mezclas con cada uno de los tipos de agua que utilizaron.

Tabla 2.8. Resistencias a la compresión del concreto. México (2001)

Tipo de agua	Días	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)		
		200	250	300
Agua potable	90	212	266	279
	28	199	236	272
	7	117	175	211
Azcapotzalco	90	203	251	268
	28	180	232	292
	7	148	171	225
San Juan Ixtayopan	90	207	290	277
	28	167	259	257
	7	124	193	195
Acueducto de Guadalupe.	90	240	251	314
	28	206	224	288
	7	148	159	220

A partir de los resultados obtenidos concluyeron que el agua residual tratada puede ser utilizada siempre y cuando se les dé un tratamiento adicional para eliminar o reducir el contenido de grasas y aceites, pues podría causar efectos negativos en la adherencia entre el concreto y el acero, así como efectos de retardo en el fraguado.

2.9.3. Uso de Aguas Residuales Municipales en Concreto para las Construcciones. Pakistán (2005).

Este trabajo fue realizado por Islam-UI-Haque, M A Baig and Mohsin Mi, en el año 2005 en el Instituto de Ciencias Ambientales e Ingeniería de la Universidad Nacional de Ciencias y Tecnología de Rawalpindi en Pakistán.

Para determinar los efectos de la resistencia del concreto ellos realizaron cuatro mezclas con distintas aguas las cuales fueron:

- Agua potable
- Agua residual procedente de un tratamiento primario.

- Mezclada de agua potable y agua residual doméstica sin tratamiento. (50%+50%).
- Agua residual doméstica sin tratamiento.

En este trabajo se realizaron ensayos de resistencias a la compresión a las edades de 7, 21 y 28 días. En la tabla 2.9. se presentan las características de cada una de las aguas utilizadas en dicho trabajo y en la tabla 2.10. se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 2.9. Calidad del agua para la elaboración de concreto. Pakistán (2005).

Parámetros	Agua potable	Agua residual con tratamiento primario	50% agua potable + 50% aguas residuales domésticas sin tratamiento.	Aguas residuales domésticas sin tratamiento.
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	845	3075	5020	--
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	676	2613	4267	--
Dureza total (mg/l CaCO_3)	275	450	550	--
Dureza Ca (mg/l CaCO_3)	200	200	200	--
Dureza Mg (mg/l CaCO_3)	75	250	350	--
Alcalinidad (mg/l CaCO_3)	275	800	750	--
Silice (mg/l)	20	35	25	--
Sulfatos (mg/l)	60	350	740	980
Cloruros (mg/l)	80	425	860	--
DQO (mg/l)	12	19	19	--

Tabla 2.10. Resistencia a la compresión del concreto. Pakistán (2005).

Tipo de agua	Edades	Resistencia a la compresión (kgf/cm^2)
Agua potable	28	224
	21	210
	7	167
Agua residual con tratamiento primario	28	216
	21	203
	7	161
50% agua potable + 50% aguas residuales domésticas sin tratamiento.	28	209
	21	198
	7	158
Aguas residuales domésticas sin tratamiento.	28	176
	21	166
	7	130

Con los resultados obtenidos se presentaron algunos puntos que pueden afectar a la resistencia del concreto, los cuales se deben tener en cuenta en el ejercicio de las pruebas de concreto y obras concretas:

- El aumento de la concentración de sulfato es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión del concreto.
- El aumento de la concentración de sólidos disueltos es inversamente proporcional a la compresión resistencia del concreto.
- El aumento del tiempo de curado es directamente proporcional a la resistencia a la compresión del concreto.
- Aumento de la turbidez es inversamente proporcional a la resistencia del concreto debido a la presencia de las impurezas.
- Aumento de las concentraciones de cloruros es inversamente proporcional a la resistencia del concreto.

Finalmente concluyeron que las pruebas indican que las aguas residuales del tratamiento primario puede ser utilizado como agua de mezclas para concreto, además pueden ser utilizada para la elaboración de pavimentos rígidos, para la preparación de la base / sub-base, obras de protección y drenaje.

Además establecen que el 16% del agua dulce del mundo está siendo utilizada para fines de construcción pudiendo ser disminuidos mediante la utilización de las aguas residuales. Esto no sólo ahorra el agua potable, sino que también proporcionan una oportunidad de manejar las aguas residuales.

2.9.4. Uso del Sistema de las aguas residuales tratadas, Lagunas de Estabilización para agua de amasado y curado de concreto. Brasil (2008).

Este estudio fue realizado en el año 2008 por Jorge Luis Melo Da Silva en la Universidad Federal de Ceará, Brasil, para los ensayos utilizaron agua residual tratada proveniente de una planta con la modalidad de lagunas de estabilización, donde tomaron 10 muestras de días distintos; para cada una de ellas se realizó una mezcla de concreto.

Las bases para la realización de este trabajo fueron:

- Verificar la viabilidad, del uso de un efluente de aguas residuales domésticas, procedentes de un sistema de tratamiento de lagunas de estabilización, como el agua de mezcla y curado del concreto producida en escala de laboratorio.
- Comprobar si las aguas residuales del efluente tratado cumple con los parámetros físicos y químicos exigidos por Mercosur Regla 137 para el mismo uso como agua de mezcla y curado del concreto.
- Verificar si la resistencia a la compresión del concreto puede verse comprometida, cuando se utiliza el efluente procedente de tratamiento por el sistema de lagunas de estabilización.

Para ello llevaron a cabo una serie de ensayos entre los cuales se tienen:

- Características del aguas residuales tratadas.
- Tiempo de fraguado.
- Resistencia a la compresión, con ensayos a los 7 y 30 días.

En la tabla 2.11. se presentan los análisis de las distintas muestras de agua utilizada para cada una de las mezclas, además se presentan los límites adecuados para cada uno de estos parámetros.

**Tabla 2.11. Calidad del agua para la elaboración de concreto.
Brasil (2008).**

Día del ensayo	Parámetros									
	pH		Sólidos Totales (mg/l)		Hierro Total (mg/l)		Cloruros(mg/l)		Sulfatos (mg/l)	
19/10/07	6,56	Mínimo 5,5 y máximo 9,0	412	Máx. 5000	0,4	Máx. 1,0	301,1	Máx. 2000 (concreto simple) Máx. 700 (concreto armado) Máx. 500 (concreto pretensado)	12,0	Máx. 2000
26/10/07	7,02		298		0,6		199,6		10,1	
02/11/07	7,41		307		0,7		200,8		14,5	
09/11/07	6,92		288		0,5		245,3		13,2	
15/11/07	8,00		344		0,6		186,2		12,6	
23/11/07	7,77		380		0,3		225,9		11,3	
30/11/07	6,84		247		0,3		223,4		10,2	
06/12/07	6,95		395		0,4		189,6		11,6	
13/12/07	7,94		313		0,5		212,5		11,0	
20/12/07	7,17		253		0,3		195,8		10,8	

Como se puede apreciar en la tabla todos los valores se encuentran entre los límites permitidos. Vale destacar que no se realizaron análisis del agua potable, ya que establecieron que el agua es la misma que se utiliza para todas las pruebas realizadas en el Laboratorio de Materiales.

Los resultados de los ensayos que realizaron fueron los siguientes:

- Tiempo de fraguado.

En la tabla 2.12. se muestran los resultados de los tiempos de fraguado inicial y final que obtuvieron para cada muestra de agua.

Tabla 2.12. Tiempo de fraguado inicial y final que obtuvieron para cada muestra de agua.

Fecha de realización del ensayo	Tiempo de inicio de fraguado (min)		Diferencia máximo admisible (min)	Tiempo final de fraguado (min)		Diferencia máximo admisible (min)
	Agua Potable	Agua residual		Agua Potable	Agua Residual	
20/10/07	130	132	30	170	165	30
27/10/07	145	130		182	180	
03/11/07	132	135		180	175	
10/11/07	130	140		167	170	
17/11/07	137	145		189	174	
24/11/07	135	138		185	168	
01/12/07	140	130		175	178	
08/12/07	142	125		168	175	
15/12/08	129	132		183	167	
22/12/08	135	135		180	170	

En todos los casos el tiempo de fraguado inicial y final para el concreto preparado con agua residual tuvo una diferencia con respecto al del agua potable menor a los 30 minutos establecidos en la norma NM137.

- Resistencia a la compresión.

En las tabla 2.13. se presentan los resultados de resistencia a la compresión que se obtuvieron a los 30 días con cada uno de las aguas para las distintas fechas de realización de las mezclas.

Se observó que la resistencia promedio a los 30 días del concreto preparado con agua residual tratada por un sistema de lagunas de estabilización en la mayoría de los casos es mayor al concreto preparado con agua potable, inclusive en algunos casos es superior al 10%.

Tabla 2.13. Resistencia a la compresión del concreto. Brasil (2008).

Fecha de realización de la mezcla	Fecha del ensayo	Agua Potable		Agua Residual Tratada	
		Limite de resistencia	Promedio	Limite de resistencia	Promedio
20/10/07	17/11/07	294	282	302	288
		280		275	
		271		287	
27/10/07	24/11/07	253	273	257	259
		275		254	
		291		265	
03/11/07	01/12/07	271	267	263	269
		267		259	
		262		285	
10/11/07	08/12/07	257	260	275	270
		259		268	
		265		266	
17/11/07	15/12/07	248	266	307	300
		277		301	
		273		293	
24/11/07	22/12/07	259	256	289	294
		255		295	
		254		297	
01/12/07	29/12/07	305	296	306	297
		293		293	
		291		294	
08/12/07	05/01/07	254	259	259	261
		255		253	
		269		270	
15/12/08	12/01/08	298	263	258	263
		301		255	
		191		276	
22/12/08	19/01/08	306	271	297	293
		263		266	
		246		315	

Luego de realizadas estas pruebas concluyeron que es posible obtener concreto de buena calidad con un efluente de aguas residuales en lugar de agua potable ya que en mucho de los casos las resistencias fueron mayores que las obtenidas en las mezclas realizadas con agua potable y establece que no se presentan modificación en los tiempos de fraguado al utilizar agua residual tratada.

Si se observan los resultados y conclusiones obtenidos en la revisión de los antecedentes del uso de agua residual tratada en la elaboración de concreto, los estudios arrojan diferencias en cuanto al comportamiento del concreto, en muchos casos no relacionadas directamente a la calidad del agua utilizada en la mezcla.

El trabajo de Kuwait presenta que las mezclas realizadas con tratamiento secundario y preliminar no se puede utilizar para realizar mezclas de concreto, mientras que en el caso del estudio realizado en Pakistán y Brasil, se recomienda su utilización ya que se obtienen hasta resistencias mayores a las obtenidas con agua potable, a pesar de que es agua residual con tratamiento primario y con presencia de algas.

En cambio los realizados en México con un agua proveniente de un tratamiento terciario plantean su utilización siempre y cuando se le de un tratamiento para la eliminación de aceites y grasas y recomiendan que el concreto sea utilizado en construcciones que no requieran altos niveles de resistencia como canchas, bancos y camineras; mientras que el trabajo realizado en Kuwait para las mezclas de concreto con agua proveniente de un tratamiento terciario pueden ser utilizadas normalmente ya que se obtienen resultados parecidos a las mezclas realizadas con agua potable.

Vale destacar que las características de las aguas residuales domésticas pueden variar de una ciudad a otra y sobre todo entre los distintos países, ya que éstas van a depender de las características de la población, especialmente por su tipo de alimentación y el clima. Por lo cual se pueden presentar resultados diversos dependiendo del país donde se ejecutan los estudios, por lo que es recomendable que cada país realice sus estudios y verifique la factibilidad de la utilización de sus aguas residuales tratadas para la realización de mezclas de concreto.

CAPITULO III

MÉTODO

El desarrollo de esta investigación fue realizado a través de una serie de etapas que incluyen desde la selección de la planta de tratamiento de aguas residuales y agua potable a ser utilizada, la elaboración de las probetas con cada una de las aguas seleccionadas y finalmente el análisis físico de las mezclas de concreto.

A continuación se describen las etapas que se realizaron para desarrollar los objetivos propuestos.

3.1. Selección de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Para este trabajo se seleccionó La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Chorrillo” en la modalidad de lodos activados en aireación extendida ubicada en Los Teques, Estado Miranda.

Esta planta es la primera construida como parte del Proyecto de Saneamiento del Río Guaire y fue seleccionada, además de por su cercanía a la región capital, porque representa una de las modalidades más comunes en el tratamiento de agua residual doméstica, inclusive la mayoría de los trabajos presentados en la literatura corresponden al uso del agua residual tratada bajo esta modalidad.

Adicionalmente su reciente puesta en marcha en el año 2007, hace suponer un funcionamiento adecuado con lo cual podría esperarse una calidad del agua tratada representativa de un efluente proveniente de este tipo de plantas de tratamiento.

Esta planta trata las aguas residuales de una población estimada de 150.000 hab. en Los Teques, Edo. Miranda. Capta sus aguas desde la quebrada “El Rincón” y opera con un caudal de 500 l/s aproximadamente.

El tratamiento de las aguas comienza con un desbaste y desarenador, seguido por dos reactores biológicos del tipo lodos activados en aireación extendida de 11520 m³ de capacidad cada uno. De estos reactores, el agua es enviada a los sedimentadores donde parte de los lodos son retornados a los reactores, y el resto conducidos a dos densificadores y de allí a los lechos de secado. Luego el agua pasa por un tanque de contacto donde se prevé la aplicación de cloro para su desinfección; al final de este tanque se encuentra un vertedero de tipo cresta aguda y de aquí el agua se descarga al cuerpo receptor. Es importante destacar que actualmente y desde su puesta en marcha, no se aplica cloro para la desinfección.

3.2. Obtención del agua residual tratada y el agua potable para la realización de las mezclas de concreto.

3.2.1 Verificación de la estabilidad de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Para poder asegurar que el agua residual tratada a ser utilizada en la mezcla de concreto fuera representativa de este tipo de sistema, se hizo necesario verificar que la planta se encontraba trabajando de forma adecuada. Por ello se hizo el seguimiento de algunos parámetros en los reactores y en el efluente de la planta. Esto se realizó por un período de dos semanas antes de tomar la muestra del agua con la que se realizaron las mezclas de concreto.

Los parámetros medidos en esta etapa fueron comparados con datos previos que se tenían de la planta del mes de Marzo del 2011. Para esta fecha se disponía de información completa de la planta, por lo cual se podría hacer comparaciones de parámetros medidos en sitio con la calidad del agua efluente de la planta.

Para poder realizar este seguimiento se decidió evaluar algunos parámetros que tuvieran resultados instantáneos y permitiera conocer el funcionamiento de la planta de forma inmediata. Estos parámetros fueron:

- **En los reactores:**

Las muestras fueron tomadas en este punto del proceso debido a que este es donde ocurre la etapa más importante del tratamiento. Estas muestras fueron captadas siempre en la mitad del reactor en la parte final y en la superficie. Los parámetros medidos fueron:

- Oxígeno disuelto: Este se midió al momento de extraer la muestra de los reactores. Fue medido directamente en los laboratorios de la planta de tratamiento “El Chorrito” con un medidor de oxígeno marca Hanna. En la figura 3.1 se presenta el equipo utilizado para la medición de oxígeno disuelto.



Figura 3.1. Medición del Oxígeno Disuelto

- Sólidos Sedimentables: Fueron medidos bajo el método estándar 2540 F del Standard Methods for the Examination of water and wastewater, APHA-AWWA-WEF, edición 20, 1998. Este parámetro representa la cantidad de lodos removidos por sedimentación simple. En la figura 3.2 se presenta la medición sólidos sedimentables en cada uno de los reactores.



Figura 3.2. Medición de Sólidos Sedimentables en los reactores A y B

- Índice Volumétrico de lodos (IVL): Este es un indicador para determinar la sedimentabilidad de los lodos en un reactor. El procedimiento para poder realizar esta medición se realizó bajo el método estándar 2710 D del Standard Methods for the Examination of water and wastewater, APHA-AWWA-WEF, edición 20, 1998. Es importante destacar que su determinación se hizo una vez que se realizaba el análisis de sólidos suspendidos en el reactor en los laboratorios de la Planta Experimental de Tratamiento de Aguas, UCV. (PETA-UCV).

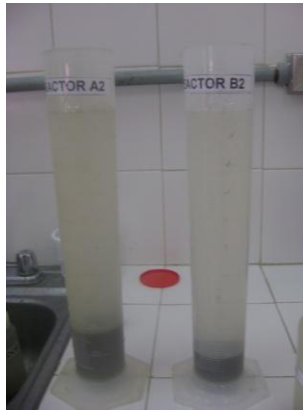


Figura 3.3. Lodos sedimentables en 30 min en los reactores A y B

- **En la vertedero de salida.**

Parte de las muestras analizadas en este proceso de verificación fueron captadas en el vertedero de salida de la planta ya que estas muestras permitirán tener una idea inicial de la calidad del agua con que estaba saliendo la planta. Estos parámetros fueron:

- Oxígeno Disuelto.
- Turbiedad.
- pH.
- Caudal.

Con la determinación de estos parámetros en sitio y de resultados inmediatos se determinó la estabilidad de la planta, garantizando así la calidad del efluente y con ello el agua para la preparación de la mezcla de concreto.

3.2.2 Recolección del agua para la preparación de la mezcla de concreto.

Luego de verificar que la planta se encontraba estable, se procedió a captar una muestra instantánea del efluente de la planta. Para lo cual, con la ayuda del personal de la PETA-UCV, se colocó una pequeña bomba en el vertedero de salida

de la planta, lo que permitió extraer de forma sencilla el agua residual tratada necesaria para los ensayos. Esta agua se transportó en un tanque de 200 litros de capacidad. El volumen captado de agua fue de 100 litros aproximadamente y fue conducida hasta las instalaciones del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la UCV (IMME-UCV).

A continuación se presentan imágenes del proceso de recolección del agua captado en la planta de tratamiento “El Chorrito”.



a.- Extracción por medio de la bomba.



b.- Llenado del tanque para transportar el agua.

Figura 3.4. Recolección de agua residual tratada para la realización de las mezclas de concreto.

Para poder realizar una comparación más precisa de las mezclas preparadas con agua residual tratada y agua potable; el agua potable seleccionada para hacer la mezcla de concreto, fue captada en el kilometro 11 de la carretera panamericana, procedente de la Planta de Tratamiento La Mariposa, la cual vendría siendo el agua potable utilizada por la población del sector de Los Teques que una vez descartada como agua residual es conducida a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Chorrito”.

Para esta actividad se invirtió aproximadamente 4 horas desde la salida de la PETA-UCV, la llegada a la planta de tratamiento “El Chorrito”, la captación del agua residual tratada, el agua potable en la kilometro 11 de la carretera Panamericana y el retorno al IMME-UCV.

3.2.3 Parámetros a determinar en el agua residual tratada y agua potable.

Los parámetros determinados en cada una de las aguas fueron medidos siguiendo los métodos estándares establecidos por Standard Methods for the Examination of water and wastewater, APHA-AWWA-WEF, edición 20, 1998. A continuación se presentan las tablas donde se indica el método utilizado y el código establecido en este manual para cada uno de los análisis. Estas determinaciones analíticas fueron realizadas por el personal técnico de la PETA-UCV.

Tabla 3.1. Método analítico de las propiedades físicas y químicas del agua.

CARACTERÍSTICA	MÉTODO	CÓDIGO SM 19*
Color	Comparación Visual	2120 B
Turbiedad	Nefelométrico	2130 B
Alcalinidad	Titulo métrico	2320 B
Conductividad Específica	Conductímetro	2510 B
Sólidos Totales	Gravimétrico	2540 B
Sólidos Disueltos Totales	Gravimétrico	2540 C
Sólidos Suspendidos. Totales	Diferencia	--
Sólidos Totales Fijos	Gravimétrico	2540 E
Sólidos Disueltos Fijos	Gravimétrico	2540 E
Sólidos Suspendidos. Fijos	Diferencia	--
Sólidos Totales Volátiles	Diferencia	--
Sólidos Disueltos Volátiles	Diferencia	--
Sólidos Suspendidos. Volátiles	Diferencia	--
Sólidos Sedimentales	Volumétrico	2540 F

Tabla 3.2. Método analítico de los metales del agua.

CARACTERÍSTICA	MÉTODO	CÓDIGO SM 19*
Aluminio	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Al B
Cadmio	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Cd B
Calcio	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Ca B
Cobre	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Cu B
Hierro	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Fe B
Magnesio	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Mg B
Manganeso	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Mn B
Sodio	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Na B
Potasio	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-K B
Plomo	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Pb-B
Zinc	Espectrofotometría de Absorción Atómica	3500-Zn B

Tabla 3.3. Método analítico de los constituyentes inorgánicos no metálicos del agua.

CARACTERÍSTICA	MÉTODO	CÓDIGO SM 19*
Boro	Colorimétrico	4500-B C
Cianuro	Electrodo Selectivo	4500-CN F
Cloro Residual	Colorimétrico	4500-Cl G
Cloruros	Cromatografía Iónica	4500-Cl F
Fluoruro	Cromatografía Iónica	4500-F F
pH	Electrométrico	4500-H ⁺ B
Nitrógeno Amoniacal	Titulométrico	4500-NH ₃ -C
Nitritos	Cromatografía Iónica	4500-NO ₂ C
Nitratos	Cromatografía Iónica	4500-NO ₃ C
Nitrógeno Orgánico	Macro Kjeldahl	4500-N _{org} B
Oxígeno Disuelto	Iodométrico	4500-O B
Fosfatos	Sulfatante anionico como sustancia activa al azul de metileno	4110 C
Fósforo Total	Colorimétrico	4110-PO ₄ ³ B

Tabla 3.4. Método analítico de los constituyentes orgánicos del agua.

CARACTERÍSTICA	MÉTODO	CÓDIGO SM 19*
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Diluciones	5210 B
Demanda Química de Oxígeno	Reflujo Abierto	5220 B
Detergentes	Sulfatante anionico como sustancia activa al azul de metileno	5540 C
Aceites y Grasas	Extracción Soxhlet	5520 D
Fenoles	Fotométrico Directo	5530 D

Tabla 3.5. Método analítico de los exámenes microbiológicos del agua.

CARACTERÍSTICA	MÉTODO	CÓDIGO SM 19*
Coliformes Totales	Filtración por Membrana	9222 B
Coliformes Fecales	Filtración por Membrana	9222 D

3.3. Realización de la mezcla y las probetas de concreto

3.3.1 Diseño de mezcla.

Para la realización de la mezcla, más que consideran el diseño con una resistencia determinada, se basó en el asentamiento que se deseaba obtener, debido a que el objetivo fundamental era garantizar que las dos mezclas fueran iguales y sólo cambiara el tipo de agua a ser utilizada.

Se prepararon 140 l de concreto con cada una de las aguas y los materiales utilizados y cantidades en cada caso se presentan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Diseño de mezcla de concreto

Cemento Portland Gris Tipo III de Cemex Venezuela (kg)	73
Agua (l)	31
Arena (kg)	124
Piedra Picada (kg)	124

3.3.2 Elaboración de probetas.

Para la elaboración de las probetas se siguió el procedimiento, que establece la Norma Venezolana COVENIN 338-2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”. Se realizaron veintiún (21) cilindros y dos (2) vigas de de 30x10x10 cm con cada tipo de mezcla (42 cilindros y 4 vigas). Estas mezclas fueron realizadas en el IMME-UCV.

El procedimiento utilizado para elaborar las probetas fue igual para las dos mezclas de concreto y se describe a continuación:

1. Se procedió a pesar cada una de las cantidades de los materiales especificados en el diseño de mezcla, estos fueron colocados cuidadosamente en el trompo de mezclado. Primero se colocaron los agregados, piedra picada con la arena, seguido por el cemento y por último el agua, finalmente se mezcló hasta que se formó una pasta uniforme.
2. Se determinó el asentamiento de la mezcla por el método del Cono de Abrams tomando en cuenta lo especificado en la Norma Venezolana COVENIN 339:1994 “Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams”.
3. Se armaron cada uno de los cilindros normativos con dimensiones de 15 cm o 6” de diámetro y 30 cm o 12” de altura, y se engrasaron cada uno de ellos con aceite para motor SAE 15W/40.
4. Se llenaron cada uno de los moldes con tres capas de igual volumen aproximadamente. Cada capa fue compactada con 25 golpes, para lo cual se utilizó la barra compactadora. Los golpes se distribuyeron uniformemente en toda la sección transversal del molde. La capa del fondo fue compactada en toda su profundidad. Cuando se compactó la capa inmediata superior, la barra penetró aproximadamente 20 a 30 mm en la capa inmediatamente inferior. Por último se golpeó suavemente las paredes del molde para eliminar los orificios que quedaron debido a la barra de compactación.
5. Se enrasó cada cilindro, con ayuda de la barra y la cuchara de albañilería, de manera que la superficie quedara perfectamente lisa y al ras con el borde del molde.
6. Se almacenaron las probetas bajo techo, cuidadosamente para que no fueran golpeadas o inclinadas. Esta actividad tuvo una duración de 3 horas aproximadamente.

7. Luego de transcurridas 24 horas se procedió a desencofrar cuidadosamente cada probeta que luego fueron identificadas con un marcador en su parte superior, específicamente para diferenciar las probetas de agua residual tratada y las de agua potable.
8. Como último paso, se procedió al curado de las probetas; con agua potable tomada directamente del IMME-UCV, para lo cual se colocaron en una piscina donde se le agregó cal semanalmente para evitar que crecieran algas. Se dejaron allí hasta el momento de realizar los ensayos.

A continuación en la figura 3.5. se presentan una serie de fotografías que ilustran la secuencia del proceso de preparación de la mezcla y la elaboración de las probetas.



a.- Proceso de mezclado.



b.-Cono de Abrams.



c.- Elaboración de las probetas.



d.- Probetas vaciadas.



e.- Probetas desencofradas.



f.- Curado de las probetas.

Figura 3.5. Elaboración de las mezclas y probetas con agua residual tratada y agua potable.

3.4. Ensayos de las probetas.

Los ensayos a las probetas estuvieron dirigidos a describir el comportamiento mecánico y físico de las mezclas de concreto con agua residual tratada y compararlas con la mezcla realizada con agua potable. Esto fue logrado por medio de la determinación de su resistencia y durabilidad a través de los ensayos de resistencia a la compresión, absorción, erosión y tiempo de fraguado.

3.4.1. Ensayo de resistencia a la compresión.

Los ensayos se realizaron a las edades de 7, 14 y 28 días, donde en cada edad se ensayaron siete (7) probetas. Antes de realizar los ensayos se procedió a pesar y medir los diámetros y altura de cada una.

Este ensayo se realizó siguiendo los pasos establecidos en la Norma Venezolana COVENIN 338-2002: “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”.

Este ensayo fue realizado para medir cuan resistente es el concreto y verificar si no existe diferencias significativas entre las dos muestras. Además este ensayo es uno de los parámetros exigidos por la norma COVENIN 2385-2000 “Concreto y mortero. Agua de mezclado. Requisitos”, donde establece que la diferencia de las resistencias no debe ser mayor a 10% entre las dos mezclas.

La figura 3.6 presenta una ilustración del ensayo de resistencia a la compresión.



Figura 3.6. Ensayo de resistencia a la compresión

3.4.2. Ensayo de ultrasonido.

La realización de este ensayo puede suministrar información muy valiosa sobre la calidad del concreto que se tiene, debido a que permite evaluar la homogeneidad de concreto y detectar grietas y otros defectos en el concreto, a través de una variación de la velocidad, además la velocidad de propagación

ultrasónica está relacionada directamente con la resistencia del concreto, ya que una mayor velocidad indica mayor resistencia del concreto.

En la figura 3.7. se ilustra la influencia de los defectos que puede tener un concreto en el tiempo de traslado de una onda ultrasónica. En la parte superior se puede apreciar el viaje de una onda de un concreto homogéneo. En la segunda parte se puede observar el viaje de una onda donde durante su recorrido atraviesa una zona de concreto más débil y por último se presenta donde el viaje de la onda se ve interrumpido por una grieta o vacío en el concreto y por lo cual no puede ser captada la onda en este sector.

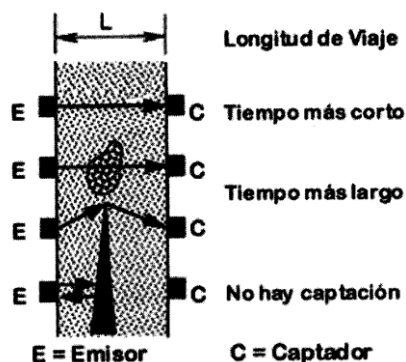


Figura 3.7. Influencia de los defectos en el tiempo de viaje de un Pulso Ultrasónico

Tomado de de Porrero, 2008

Este ensayo se realizó cuando las probetas ya contaban con los 28 días de elaboradas, considerando lo establecido en la norma COVENIN 1681-1980 “Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”.

En la figura 3.8. se presenta una imagen que ilustra la medición de pulso ultrasónico en una de las probetas.



Figura 3.8. Ensayo de ultrasonido en las probetas a los 28 días.

3.4.3. Ensayo de tiempo de fraguado de la pasta de cemento.

Este ensayo fue realizado debido a que es uno de los parámetros exigidos por la norma COVENIN 2385-2000 “Concreto y mortero. Agua de mezclado. Requisitos”, para considerar un agua apta para la realización de mezclas de concreto. Allí se establece que la diferencia entre los tiempos de fraguado de ambas mezclas no debe ser superior a 15 min y 45 min como tiempo inicial y final respectivamente.

Para poder efectuar este ensayo se realizaron dos pastas de cemento (agua con cemento), una con el agua residual tratada y otra con el agua potable, para lo cual se siguieron los pasos establecidos en el capítulo 4 del Comité Conjunto de Concreto Armado “Método para obtener pastas de cementos hidráulicos y morteros de consistencia plástica por mezclado mecánico”, el cual está basado en la norma estadounidense ASTM: C188-44.

Es importante destacar que este ensayo no fue realizado el mismo día que se elaboraron las probetas, sino 35 días después, por lo cual se volvieron a captar muestras de agua y realizar algunos análisis físico – químicos típicos que permitieron verificar que la calidad del agua era la misma que se utilizó para elaboración de las probetas. La razón por lo cual no fue realizada el mismo día de la elaboración de la

probeta fue por el tiempo invertido en el traslado del agua y la elaboración de las 46 probetas, lo cual implicó un día de trabajo.

En la figura 3.9. se presenta algunas imágenes que ilustran la elaboración de las probetas para la medición del tiempo de fraguado.



a.- Proceso de mezclado



b.- Elaboración de la probeta
para medir el tiempo de fraguado

Figura 3.9. Elaboración de las mezclas y probetas para la medición del tiempo de fraguado.

Luego de obtenido la probeta para medir el tiempo de fraguado, se siguieron los pasos establecidos en el capítulo 11 del Comité Conjunto de Concreto Armado “Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de cementos hidráulicos por la aguja de Vicat”, el cual está basado en la norma estadounidense ASTM: C305-64T. Este procedimiento se realizó de igual manera para ambas pastas de cemento.

En la figura 3.10. se presenta algunas imágenes que ilustran la medición del tiempo de fraguado por medio del aparato de Vicat.



Figura 3.10. Medición del tiempo de fraguado por medio del Aparato de Vicat.

3.4.4. Ensayos de durabilidad del concreto.

Estos ensayos son realizados normalmente en mezclas de lodo-cemento, pero se realizaron en este caso para verificar si existe una reacción adversa en la mezcla de concreto con agua residual tratada, siguiendo los pasos establecidos en los trabajos realizados por Rodríguez y Simonpietri, 2002. En estos ensayos se utilizaron las probetas de 30x10x10 cm, elaboradas previamente dos (2) con agua residual tratada y dos (2) con agua potable.

También fueron realizados cuando las probetas ya contaban con los veintiocho (28) días de elaboradas.

3.4.4.1. Ensayo de absorción.

- Se secaron las probetas al horno a una temperatura de 105°C durante 24 horas.
- Se extrajeron del horno y se dejaron enfriar a temperatura ambiente para luego pesarlas.

- Luego se sumergieron completamente en agua durante 24 horas a temperaturas entre 15,5°C y 30°C.
- Se sacaron las probetas del agua y se secaron con un paño húmedo.
- Se pesaron las probetas inmediatamente en los primeros cinco minutos después que sean retiradas del agua.
- La absorción de agua de las probetas se calculó con el uso de la siguiente expresión:

$$A_b = \frac{(P_2 - P_1)}{P_2} * 100$$

Donde:

A_b : Absorción de agua en la muestra. [%]

P_1 : Peso seco de la muestra. [g]

P_2 : Peso de la muestra después de haber sido sumergida en el agua. [g]

3.4.4.2. Ensayo de erosión.

Este ensayo se llevó a cabo con la técnica del cepillado. Los pasos a seguir en este método son los siguientes:

- Se secaron las probetas al horno a una temperatura de 105°C, durante 24 horas.
- Se sumergieron cada una de las probetas dentro del agua durante 24 horas cerciorándose de que las probetas se encontraban cubiertas por el agua.
- Se sacaron del agua.
- Con un movimiento suave se cepilló la probeta con un cepillo de cerdas duras, noventa veces hacia arriba y noventa veces hacia abajo, cuidando de no llegar a las orillas.

- El material resultante se dispuso en un envase y se dejó reposar hasta el siguiente día.
- Se extrajo el agua excedente del envase asegurando que el material que estaba en el fondo quede en el envase.
- Se colocó el material en el horno a 105°C durante 24 horas y se pesó.

3.4.5. Comparación de los pesos unitarios de ambas mezclas.

Con las probetas ya realizadas se procedió a obtener los pesos y dimensiones de cada cilindro, y a calcular la densidad de cada uno de ellos para obtener los pesos unitarios. Esto se realizó debido a que la diferencia de peso unitario entre las mezclas nos permitiría saber si en el interior de las probetas se encuentran espacios vacíos.

En la figura 3.11. se ilustra el proceso de medición de las probetas que condujo a la determinación del peso unitario.



a.- Medido de altura de las probetas.



b.- Pesado de las probetas.

Figura 3.11. Medición y pesado de las probetas.

3.4.6. Comparación de color de ambas mezclas.

La comparación de color se realizó de manera cualitativa, simplemente se compararon las probetas de cada mezcla y se verificó si existían diferencias significativas de color entre ellas.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados se presentan siguiendo el orden establecido en el método del presente trabajo, el cual parte desde la selección del agua a ser utilizada, la realización de las mezclas y las probetas y por último los ensayos para determinar las características físicas y mecánicas del material.

El presente análisis está enfocado a describir el comportamiento del concreto con agua residual tratada, por medio de las propiedades físicas y mecánicas de este tipo de concreto y así determinar la factibilidad de reusar el agua residual tratada en el área de la construcción. Se utilizará como referencia el concreto elaborado con agua potable, así como los resultados obtenidos por los trabajos presentados en el marco teórico.

Dentro de este capítulo se presentan los resultados y análisis de los ensayos experimentales realizados, por medio de tablas y gráficos obtenidos en cada uno de ellos.

4.1. Selección de la planta de tratamiento.

En la tabla 4.1 se presentan algunos de los parámetros que definen la calidad del efluente de la Planta de Tratamiento “El Chorrillo” en el mes de Marzo y de Junio del 2011. Otros parámetros analizados se presentan en el anexo A-1. Los análisis del mes de Marzo permiten reflejar el comportamiento de la planta antes de captar el agua para la realización de las mezclas de concreto que sirvieron como referencia. Los del mes de Junio son de la muestra de agua que se captó para realización las mezclas de concreto que luego serían ensayadas.

Tabla 4.1. Análisis físico, químico y bacteriológico de los efluentes de la P.T.A.R. El Chorrito. - Edo. Miranda en los meses de Marzo y Junio del 2011.

Fecha de captación	10 de Marzo 2011	22 de Junio 2011
Turbiedad (UNT)	14	14
pH	7,5	7,4
Alcalinidad a pH 4,5 (mg CaCO ₃ /l)*	244	146
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg O ₂ /l)	13	6
Demanda Química de Oxígeno (mg O ₂ /l)	70	48
Nitrógeno Total (mg N/l)	20,7	1
Detergentes- MBAS (mg LAS/l)	0,10	0,08
Aceites y Grasas (mg/l)	7	5
Fenoles (mg/l)	0,25	0,06
Cloruros (mg/l)	45	60
Sulfatos (mg/l)	64	41
Nitritos (mg NO ₂ ⁻ N/l)	7,9	1,02
Nitratos (mg NO ₃ ⁻ N/l)	0,20	11,5
Fosforo Total (mg P/l)	4,5	2,6
Calcio (mg/l)	49	26
Magnesio (mg/l)	12	13
Sodio (mg/l)	95	66
Potasio (mg/l)	12	12
Hierro (mg/l)	0,38	Inapreciable
Manganeso (mg/l)	0,08	Inapreciable
Boro (mg/l)	0,43	Inapreciable
Cinc (mg/l)	0,05	Inapreciable
Cobre (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable
Plomo (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable
Aluminio (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable
Sólidos Totales (mg/l)	419	420
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	394	389
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	25	31
Sólidos Sedimentables (mg/l)	< 0,1	< 0,1
Coliformes Totales (org/100 ml)	1,00x10 ⁶	6,8x10 ⁵
Coliformes Fecales (org/100 ml)	8,0x10 ⁵	4,0x10 ⁴

Fuente: PETA-UCV (2011).

En esta tabla se puede apreciar que los valores que presenta una diferencia significativa son los de los correspondientes a nitrógeno total, nitritos y nitratos. Con estos resultados se puede notar que en ese día del mes de junio ocurrió un proceso de nitrificación en la planta el cual consiste en un proceso biológico, donde hay una

conversión de NH_4^+ a NO_3^- , realizado por un grupo reducido de microorganismos autótrofos especializados, conocido como Nitrosomonas y Nitrobacteria, que obtienen su energía en un proceso oxidativo.

Esta planta no fue diseñada para que ocurra el proceso de nitrificación en ningunas de sus etapas, es por ello que una vez que los análisis demostraron que estaba ocurriendo este proceso, se procedió a indagar el motivo por el cual se estaba efectuando este proceso dentro de la planta. La diferencia encontrada es la reciente incorporación del funcionamiento de los dos reactores biológicos, ya que en el mes de marzo estaba solo un reactor biológico en operación.

Al revisar análisis de meses anteriores, se detectó que no es primera vez que ocurre dicho proceso en la planta, análisis realizados en el mes de junio de 2010, evidencia un proceso de nitrificación. Según información obtenida también en ese momento hubo cambio en la operación de la planta incorporando los dos reactores, pues meses anteriores solo estaba operando uno de los reactores biológicos. En la tabla 4.2 se presentan los datos más significativos de junio y julio 2010, donde similar a lo ocurrido entre marzo y junio 2011, al parecer ocurre este proceso de nitrificación cuando se cambia la operación de la planta incorporando los dos reactores biológicos al funcionamiento de la misma.

Tabla 4.2. Análisis químico de los afluentes y efluentes de la P.T.A.R. El Chorrito. - Edo. Miranda en los meses de Junio y Julio del 2010

Parámetro	2 de Junio de 2010		14 de Julio de 2010	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Sólidos Totales (mg/l)	721	505	589	446
DBO _{5,20} (mg/l)	162	13	70	14
DQO (mg/l)	346	60	158	21
Nitrógeno Total (mg/l N)	69,5	0,9	41,7	19,8
Fósforo Total (mg/l P)	4,3	1,6	2,9	0,9
Aceites y Grasas (mg/l)	37	8	46	3
Detergentes (mg/l)	8,8	0,07	2,1	0,05

Para que el proceso de nitrificación ocurra en una planta de lodos activados, los parámetros característicos como tiempo de retención hidráulico (θ_h), tiempo de retención celular (θ_c) y relación sustrato microorganismos (F/M) deben encontrarse dentro de ciertos rangos; razón por la cual se procedió a calcular estos parámetros. Se pudo observar que para los parámetros de tiempo de retención hidráulico y la relación F/M no se presentó diferencias significativas para las distintas fechas. (Ver Anexo A-2)

El parámetro de tiempo de retención celular no se pudo calcular debido a que no se contaba con la información suficiente, lo cual hace suponer que podría ser esta la condición que genera la nitrificación justo cuando se produce los cambios de la operación incorporando 1 ó 2 reactores en el funcionamiento de la planta.

Si bien es cierto que no fue objetivo del trabajo verificar la condición bajo la cual se produce nitrificación en la Planta El Chorrillo, es importante destacarlo, pues esta condición genera una calidad de agua efluente diferente en este sistema, particularmente en lo que las formas de nitrógeno se refiere.

Esta condición puede influir en la mezcla, pues tal como se refiere en el marco teórico, los nitratos deterioran la calidad del concreto, mientras que el nitrógeno amoniacal influye en el tiempo de fraguado.

4.2. Obtención del agua para la realización de las mezclas de concreto.

4.2.1 Verificación de la estabilidad de la planta.

A continuación se presenta las graficas de los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros evaluados en los reactores en el periodo de verificación de la estabilidad de la Planta de Tratamiento “El Chorrillo” y las tablas en el Anexo A-3.1 y A-3.2.

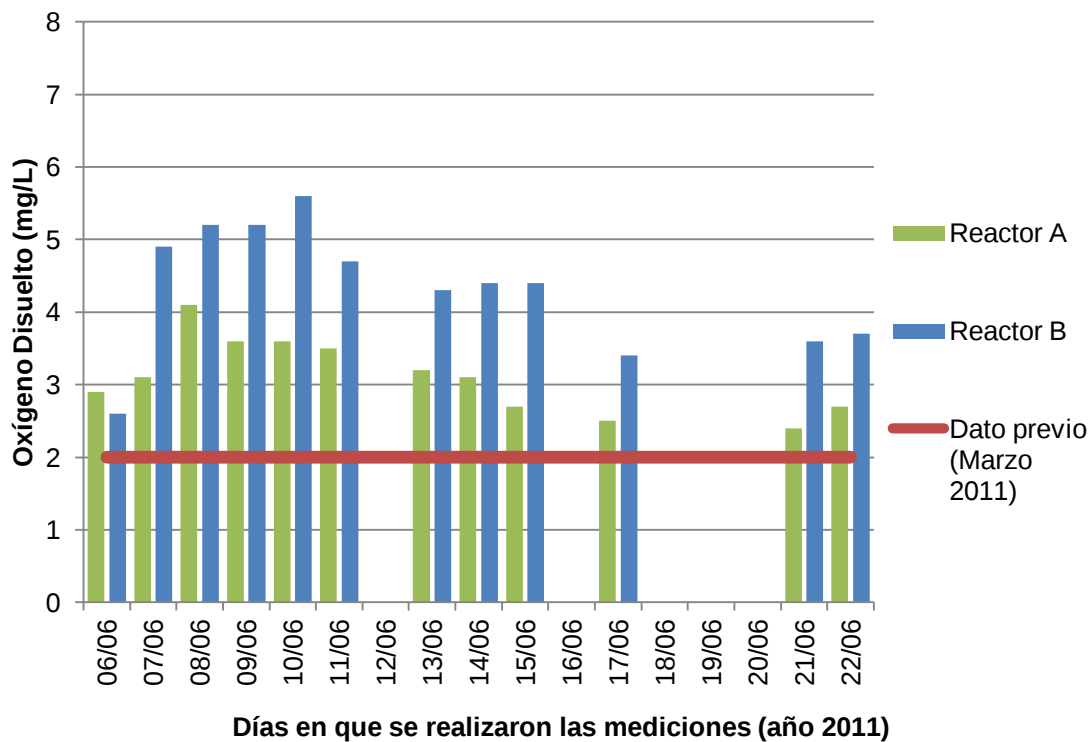


Figura 4.1. Oxígeno Disuelto en los reactores P.T. El Chorrito.

En la figura 4.1. se presenta los resultados obtenido al medir el oxígeno disuelto en cada uno de los reactores en el periodo de verificación de estabilidad de la planta, y se compara con los valores medidos en el mes de Marzo. Como se puede apreciar el oxígeno disuelto en los reactores estuvo siempre por encima de los 2 mg/l, inclusive en algunos momentos superior a 5 mg/l. La literatura reporta que el oxígeno disuelto en un reactor biológico de lodos activados debe ser como mínimo 2 mg/l.

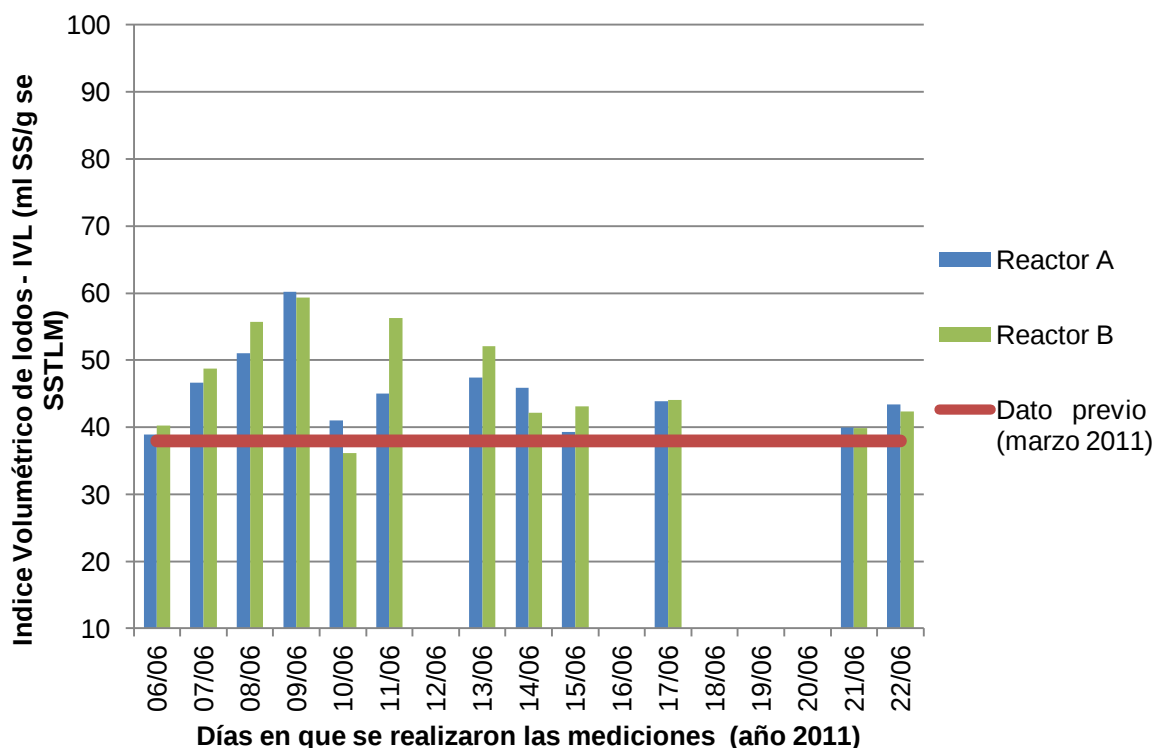


Figura 4.2. Índice Volumétrico de lodos (I.V.L.)

En la figura 4.2. se presenta los resultados obtenidos al calcular el I.V.L. en cada uno de los reactores en el periodo de verificación de estabilidad de la planta. Tal como se observa los valores están entre 40 y 60 $\frac{ml\ SS}{g\ SSTLM}$ lo que refleja una buena sedimentabilidad del lodo, con base en que la literatura presenta que el IVL debe estar entre 40 y 150 $\frac{ml\ SS}{g\ SSTLM}$.

Los valores de temperatura y pH en el reactor también indicaron un funcionamiento adecuado; por lo que se comprobó un buen funcionamiento de los reactores biológicos de la planta.

A continuación se presenta las gráficas de los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros evaluados en el efluente de la planta y en el Anexo A-3.3. las tablas correspondientes.

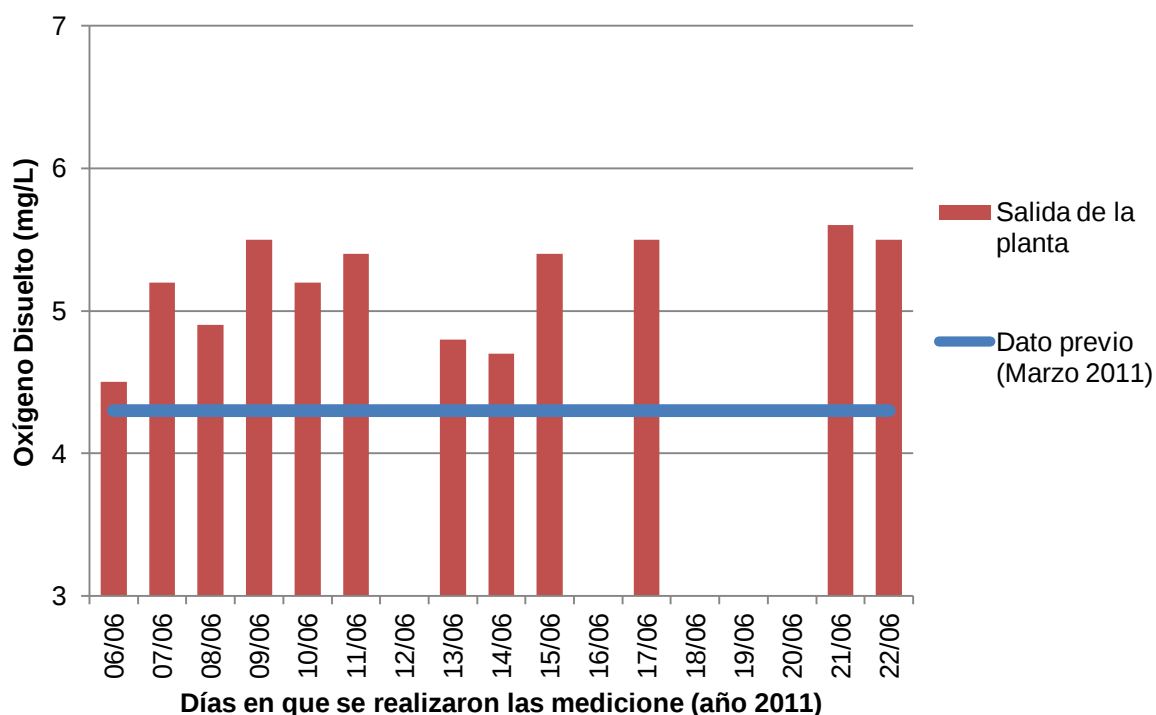


Figura 4.3. Oxígeno Disuelto en la salida de la planta de tratamiento “El Chorrillo”

En la figura 4.3. aún cuando se observa variabilidad en los valores, similar al caso de los reactores, se aprecia que siempre son superiores a los 4 mg/l, inclusive en algunos casos superiores a 5 mg/l, lo que indica un efluente con condiciones aerobias, típico de este tipo de sistemas biológicos.

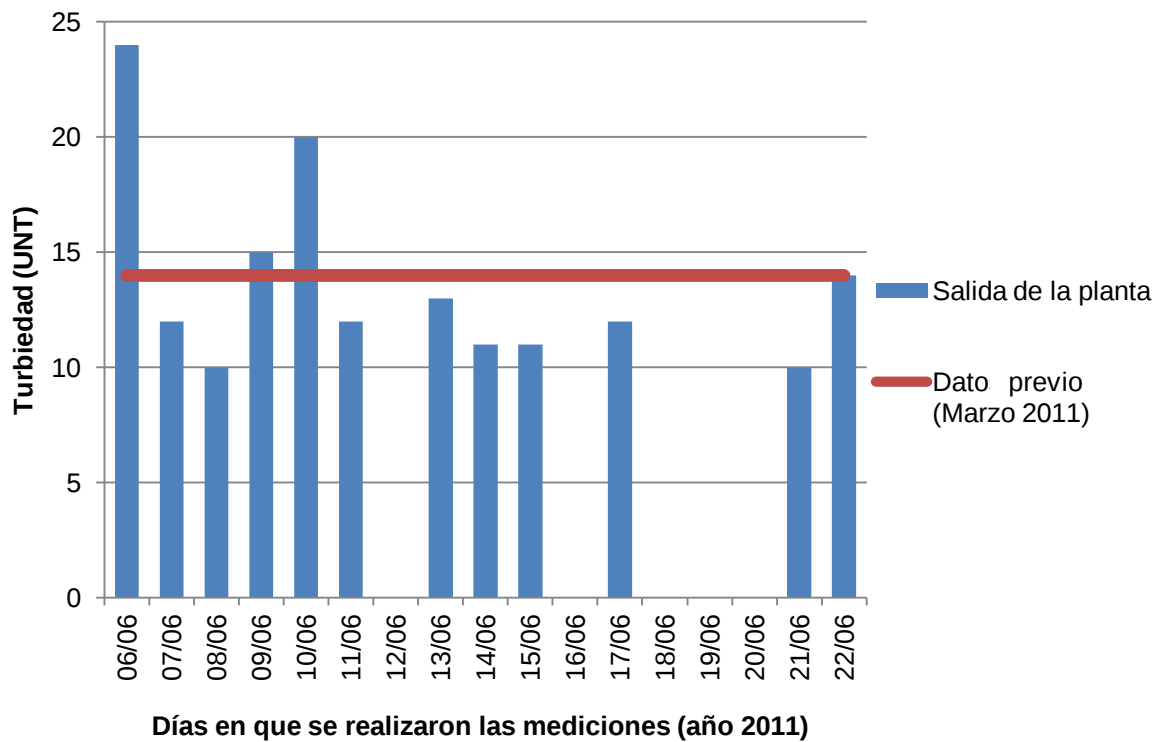


Figura 4.4. Turbiedad en la salida de la planta

En la figura 4.4. se presentan los valores de turbiedad en el efluente que fueron utilizados como una medida de la presencia de sólidos en el efluente y transparencia del mismo. Se puede apreciar que en la mayoría de los casos la turbiedad es menor a 15 UNT, inclusive menor que el valor de referencia (marzo 2011), lo que permitió establecer que el efluente de la planta correspondía a un tratamiento adecuado o al menos similar a las condiciones previas de funcionamiento de este sistema de tratamiento. Al igual que en los casos anteriores se observa una mayor estabilidad hacia los últimos días.

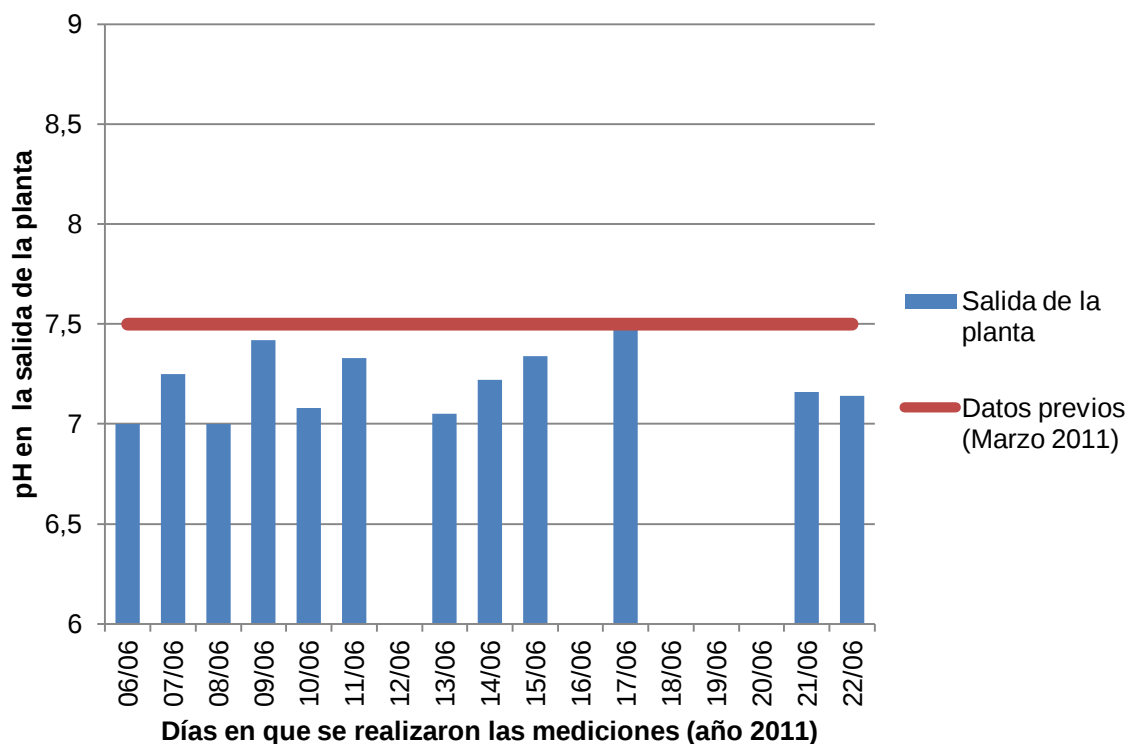


Figura 4.5. pH en la salida de la planta de tratamiento “El Chorrillo”.

En la figura 4.5. se presenta los resultados obtenidos del pH en la salida de la planta en el periodo de verificación de su estabilidad, siendo estable y reflejando condiciones de neutralidad en el agua.

Luego de analizar cada uno de los parámetros evaluados durante el periodo previo a la captación de la muestra, se pudo comprobar la estabilidad y funcionamiento adecuado de la planta, lo cual efectivamente se verificó al obtener los resultados de calidad de agua de la muestra utilizada para preparar las probetas de concreto.

4.2.2. Calidad del agua residual tratada y agua potable utilizada para la mezcla de concreto.

En la tabla 4.6. se presentan los resultados obtenidos en los análisis del agua residual tratada (efluente de la planta de tratamiento El Chorrito) y del agua potable (acueducto), que fueron utilizadas para realizar la mezcla de concreto. Además se presenta el porcentaje de incremento que se tiene del agua residual respecto al agua potable en cada uno de los parámetros analizados.

Como se puede apreciar en la tabla 4.3. parámetros como Hierro, Manganeseo, Boro, Cinc, Cobre, Plomo, Aluminio, Calcio, Magnesio, Sulfatos, Sólidos Sedimentables y pH no presentan variaciones significativas, pues en todo los casos son menores al 10%. Esto establece que no son estos constituyentes presentes en el agua lo que serán responsables de las diferencias en el comportamiento de las mezclas de concreto.

Parámetros como Sólidos Totales, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendidos Totales, Potasio, Sodio, Alcalinidad y Cloruros en el agua residual tratada posee un incremento entre el 25% y 60% con respecto al agua potable; mientras que los Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Nitratos, Fosforo Total, Aceites y Grasas, Detergentes, Nitrógeno Total, Sólidos Volátiles Totales, Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno tiene una variación significativa (100%). Estos parámetros hay que tenerlos en cuenta en el momento del análisis de resultados de los ensayos del concreto debido a que la mayoría de estos constituyentes causan efectos en las propiedades del concreto, específicamente los cloruros, alcalinidad, aceites y grasas, materia orgánica, nitratos y sodio.

Vale destacar también que parámetros como oxígeno disuelto y cloro residual presentan diferencias entre ambos tipos de agua, como es de esperarse, pero estos constituyentes no influyen, al menos no se reporta en la literatura, en las propiedades del concreto.

Tabla 4.3. Porcentajes de incremento entre el agua residual y el agua potable

Tipo de Agua	Residual Tratada	Potable	Porcentajes de incremento que se tiene del agua residual respecto al agua potable
Turbiedad (UNT)	14	1,1	92 %
Conductividad Especifica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	584	320	45 %
Oxígeno Disuelto (mg/l)	4,2	7,2	--
pH	7,4	7	5 %
Alcalinidad a pH 4,5 ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$)	146	96	34 %
Demanda Biológica de Oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{l}$)	6	Inapreciable	100 %
Demanda Química de Oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{l}$)	48	Inapreciable	100 %
Nitrógeno Total ($\text{mg N}/\text{l}$)	1	Inapreciable	100 %
Detergentes MBAS ($\text{mg LAS}/\text{l}$)	0,08	Inapreciable	100 %
Aceites y Grasas (mg/l)	5	Inapreciable	100 %
Cloruros (mg/l)	60	24	60 %
Sulfatos (mg/l)	41	40	2 %
Nitratos ($\text{mg N}/\text{l}$)	11,5	0,27	98 %
Fosforo Total ($\text{mg P}/\text{l}$)	2,6	Inapreciable	100 %
Calcio (mg/l)	26	24	8 %
Magnesio (mg/l)	13	12	8 %
Sodio (mg/l)	66	12	82 %
Potasio (mg/l)	12	9	25 %
Hierro (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	0 %
Manganeso (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	0 %
Sodio (mg/l)	83	66	20%
Boro (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	0 %
Cinc (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	0 %
Cobre (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	0 %
Plomo (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	0 %
Aluminio (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	0 %
Sólidos Totales (mg/l)	420	246	41 %
Sólidos Volátiles Totales (mg/l)	278	3	99%
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	389	226	42 %
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	31	20	35 %
Sólidos Sedimentables (ml/l)	0,1	0,1	0 %
Cloro Residual (mg/l)	Inapreciable	0,42	-
Coliformes Totales ($\text{org}/100 \text{ ml}$)	$6,8 \times 10^5$	0	100 %
Coliformes Fecales ($\text{org}/100 \text{ ml}$)	$4,0 \times 10^4$	0	100 %

Fuente: PETA-UCV (2011).

Una vez analizada la calidad del agua utilizada para la preparación de la muestra se concluye que la diferencia fundamental en los constituyentes que esta presentes en el agua residual tratada y que pueden afectar el comportamiento en el concreto son: Alcalinidad (carbonatos y bicarbonatos), materia orgánica, aceites y grasas, cloruros, nitratos y sodio.

En la tabla 4.4 se presenta los valores obtenidos de los parámetros para cada una de las aguas, específicamente los que pueden influenciar al concreto y los cuales son comparados con los limites permitidos en las distintas normas.

Tabla 4.4. Límites permitidos para la utilización de un agua como agua para mezclado del concreto

	Agua Residual tratada	Agua Potable	Norma COVENIN	Otras Normas y materiales teóricos (*)
pH	7,4	7,0	5 a 7,5	5,0 a 9,0
Demanda Química de Oxígeno (mgO ₂ /l)	48	Inapreciable	250	250
Alcalinidad a pH 4,5 (mg CaCO ₃ /l)	146	96		1000
Aceites y Grasas (mg/l)	5 (155 mg)	Inapreciable	--	2% (1460g)
Cloruros (mg/l)	60	24	500	400
Sulfatos (mg/l)	41	40	--	2000
Nitratos (mg NO ₃ ⁻ N/l)	11,5	0,27	--	--
Hierro (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	--	1
Manganeso (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	--	500
Cinc (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	--	
Cobre (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	--	
Plomo (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	--	
Sólidos Totales (mg/l)	420	246	--	5000
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	389	226	5000 mg/l	--
Sólidos Volátiles Totales (mg/l)	278	3	--	--
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	31	20	--	2000
Cloro Residual (mg/l)	0	0,42	--	1

(*) Las normas presentadas son ASTM C-94/C, Norma Mexicana NM 137:97, Norma Mercosur NOM C-122 y materiales como PCA, EPA y Manual de concreto estructural (Garses et al, 2008).

Aunque no se presenta límite para los sólidos volátiles totales estos son indicadores, junto con la DBO y DQO de la materia orgánica contenida en el agua, por lo cual hay que tenerlos en cuenta al momento de analizar los resultados obtenidos de las mezclas de concreto.

Si comparamos los valores de cada uno de los parámetros de las dos muestras de agua con los límites recomendados por diferentes normas y referencias bibliográficas, se puede apreciar que están muy por debajo de los valores establecidos, inclusive se podría decir que ambas aguas son adecuadas para ser utilizada como agua de mezclado para el concreto.

4.3. Ensayos realizados al concreto.

Tal como se presentó en el método fueron realizados varios ensayos a la pasta de cemento y a probetas elaboradas con concreto. Los resultados de cada uno de estos se presentan en el anexo y a continuación se colocan en tablas los promedios obtenidos en cada uno de ellos.

4.3.1. Ensayo de tiempo de fraguado de la pasta de cemento.

A continuación se muestran las figuras 4.6. y 4.7., las cuales presentan el desarrollo del tiempo de fraguado de las pastas de cemento realizadas con agua residual tratada y con agua potable y en el anexo A-4.1. los valores correspondientes del ensayo.

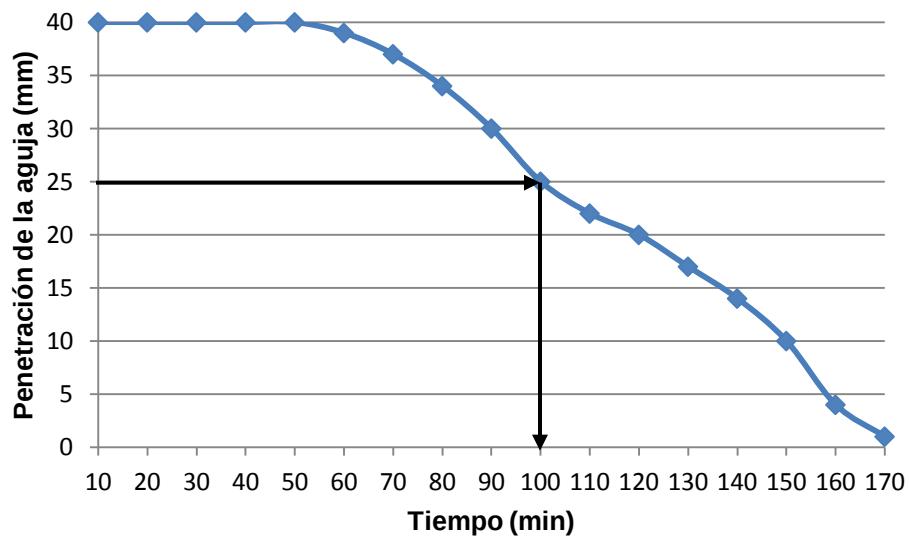


Figura 4.6. Tiempo de fraguado inicial de la pasta de cemento realizada con agua potable

Como se puede notar la pasta de cemento realizada con agua potable comienza a desarrollar su fraguado a partir de los 50 min luego de iniciado el ensayo. Según lo establecido en el capítulo 11 del Comité Conjunto de Concreto Armado “Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de cementos hidráulicos por la aguja de Vacat”, se considera que el tiempo de fraguado inicial es cuando la aguja consigue una penetración de 25 mm, lo cual para el caso de esta pasta se consigue a 100 min y el tiempo final a los 170 minutos que es cuando la aguja no consigue penetrar más a la pasta de cemento. Además se aprecia que el fraguado de la pasta de cemento con agua potable se desarrolló de una forma uniforme, ya que se puede notar que la penetración va disminuyendo regularmente al paso del tiempo. (ver figura 4.6.).

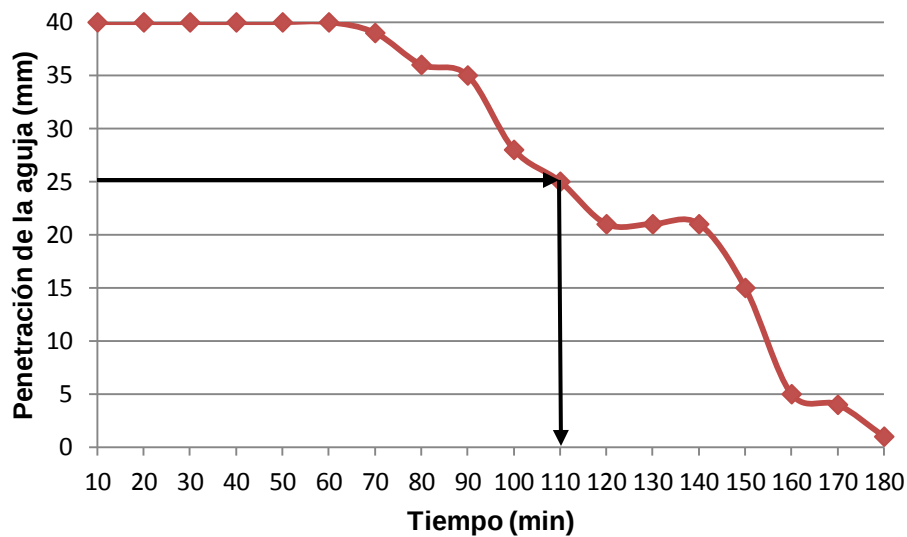


Figura 4.7. Tiempo de fraguado inicial de la pasta de cemento realizada con agua residual tratada

En la figura 4.7. se muestra el desarrollo del tiempo de fraguado de la pasta de cemento realizada con agua residual tratada; se aprecia que alcanza su tiempo de fraguado inicial a las 110 minutos y el fraguado final a los 180 minutos. Además se observa que en este caso el desarrollo del tiempo de fraguado para la pasta no se desarrolla de forma regular, ya que se presentan en algunos momentos penetración que permanece constante al pasar del tiempo.

Estos resultados evidencian el retraso del tiempo de fraguado para la pasta con el agua residual tratada, lo cual puede ser causado principalmente por la presencia de materia orgánica y la alcalinidad, tal como lo presentan diversos autores.

En la tabla 4.5. se presentan los resultados del tiempo de fraguado inicial y final para cada una de las pastas de cemento.

Tabla 4.5. Tiempo de fraguado de mezcla con agua residual tratada y agua potable.

	Tiempo de fraguado inicial (min)	Tiempo de fraguado final (min)
Pasta de cemento realizada con agua potable	100	170
Pasta de cemento realizada con agua residual tratada	110	180

Para que sea aceptada el agua residual tratada como agua para la mezclado uno de los parámetros exigidos por la norma COVENIN 2385-2000 “Concreto y mortero. Agua de mezclado. Requisitos” es precisamente el tiempo de fraguado, el cual exige que no debe existir una diferencia mayor a los 15 y 45 min para el tiempo inicial y final respectivamente entre las dos mezclas. En este caso se obtuvo una diferencia de 10 min en el tiempo de fraguado inicial entre la pasta realizada con agua potable y agua residual. También se obtiene la misma diferencia de los 10 min entre ambas mezclas para el tiempo de fraguado final.

Estos resultados permiten afirmar que aún cuando hubo retardo de fraguado y su desarrollo no fue constante en la pasta de cemento realizada con agua residual; su variación con respecto a la pasta hecha con agua potable no es significativa pues está en el límite que establece la norma COVENIN.

4.3.2. Comparación de los pesos unitarios de las probetas de concreto.

En la tabla 4.6. se presentan los pesos unitarios promedio para las mezclas de concreto con agua potable y agua residual y en el anexo A-1.2. los valores para cada cilindro. Como se puede apreciar en ambas mezclas los pesos unitarios se mantuvieron entre los rangos que normalmente se encuentra el concreto (2200 y 2350 Kg/m³) y sin diferencias significativas. (1%)

Tabla 4.6. Pesos Unitarios de las probetas con agua residual tratada y agua potable.

	Pesos Unitarios (Kg/m³)
Agua Residual Tratada	2300
Agua Potable	2320

4.3.3. Ensayo de ultrasonido en las probetas de concreto.

A continuación en la tabla 4.7. se presenta el promedio de las velocidades de pulso ultrasónico obtenido para cada una de las mezclas. Así mismo en el anexo A-4.3. se presentan los valores obtenidos para los diferentes cilindros preparados con agua residual tratada y agua potable.

Tabla 4.7. Velocidades de pulso ultrasónico en las probetas con agua residual tratada y agua potable.

	Velocidad de pulso ultrasónico (Km/s)
Agua Residual Tratada	4235
Agua Potable	4319

Como se puede observar en los resultados, la velocidad de pulso ultrasónico del concreto realizado con agua residual tratada es un poco menor que el obtenido con el concreto realizado con agua potable, lo que nos indica que el concreto con agua residual es un concreto más débil y con mayor cantidad de espacios vacíos que podría tener menor resistencia.

En todas las probetas se presentó pulso ultrasónico, lo que indica que ninguna mezcla produjo grietas en el interior de los cilindros. (ver anexo A-4.3.)

4.3.4. Ensayo de absorción en las probetas de concreto.

Los valores promedio obtenidos al realizar los ensayos de absorción, presentan muy poca diferencia entre ambas mezclas, tal como se aprecia en la tabla 4.8. que se presenta a continuación y en el anexo A-4.4.

Tabla 4.8. Promedio de Absorción en las probetas con agua residual tratada y agua potable.

	Mezclas de concreto	
	Agua Residual Tratada	Agua Potable
Porcentaje de absorción	6,49 %	5,50 %

El aumento de la absorción en la probeta realizada con mezcla de concreto utilizando agua residual, puede estar relacionada con la cantidad de materia orgánica que contiene esta mezcla, lo cual pudo aumentar la porosidad y los espacios vacíos en su interior, tal como lo evidencia el análisis de peso unitario y la velocidad de ultrasonido. Estos espacios vacíos van a ser llenados con agua y por consiguiente el porcentaje de absorción es mayor.

4.3.5. Ensayo de erosión en las probetas elaboradas con agua residual tratada y agua potable.

En la tabla 4.9. se presentan los porcentajes promedio obtenidos del ensayo de erosión en las vigas elaboradas con ambas mezclas y en el anexo A-4.5. los valores para cada probeta. Se puede apreciar que la viga realizada con agua residual tratada tuvo una pérdida relativamente mayor que la elaboradas con agua potable.

**Tabla 4.9. Promedio de erosión de las probetas
con agua residual tratada y agua potable.**

	Mezclas de concreto	
	Agua Residual Tratada	Agua Potable
Porcentaje de erosión	0,84%	0,22 %

Esta pérdida de partículas del concreto realizada con agua residual tratada, aunque poco significativa, puede estar causada fundamentalmente por la presencia de aceites y grasas, por la disminución de la adherencia del cemento con los agregados.

4.3.6. Comparación de color de mezclas con agua residual tratada y agua potable.

Las mezclas no presentaron diferencias significativas de color. Aunque la apariencia del agua residual tratada es menos trasparente que el agua potable (14 UNT y 1,1 UNT respectivamente), esto no se reflejó en la mezcla elaborada y tampoco en el color de las probetas.

4.3.7. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros con agua residual tratada y agua potable.

En la tabla 4.10. se presentan los valores promedios de la resistencia a la compresión obtenidos de las mezclas de concreto realizadas en este trabajo. Asimismo en el anexo A-4.6. se presentan las tablas correspondiente para cada cilindro ensayado a los 7, 14 y 28 días, tanto para los que se prepararon con mezcla utilizando agua residual tratada como aquellas con agua potable. Es importante señalar que la resistencia esperada con el diseño de mezcla es de 300 kgf/cm².

**Tabla 4.10. Resistencia a la compresión promedio
para cada mezcla de concreto**

Días	Agua Residual Tratada (kgf/cm²)	Agua Potable (kgf/cm²)
7	237	255
14	238	293
28	248	308

Como se puede apreciar en los resultados obtenidos, en el caso de los cilindros ensayados a los 7 y 14 días, para aquellos realizados con agua residual tratada existe muy poca diferencia en los valores obtenidos, caso contrario en los resultados con el agua potable. Esto puede ser debido al fraguado inicial más lento que se sucedió en las muestras realizadas con agua residual tratada.

Además se puede apreciar que las muestras realizadas con agua residual tratada tiene una diferencia de la resistencia de compresión entre los 7 y 28 días es solo de un 5% y en cambio para el caso del agua potable es de un 18%, lo que refleja que para el caso de agua residual tratada se tiene un desarrollo de la resistencia a la compresión más lento.

Los cilindros ensayados a las edades de los 7 y 14 días realizados con agua residual tratada presentaron fallas mayormente horizontales con desprendimiento de capas superficiales de material, además se pudo apreciar humedad en el interior de los cilindros. Esta situación permite ratificar la existencia de un tiempo de fraguado más lento, lo que lleva a la variación de la resistencia a la compresión para estos cilindros en dichas fechas como se puede apreciar en los resultados obtenidos. En la figura 4.8. se muestra una de las probetas ensayadas con la mezcla de agua residual tratada a los 7 días donde se aprecia el tipo de falla presentada.



a.- Probeta con agua residual tratada



b.- Probeta con agua potable

Figura 4.8. Ensayo de resistencia a la compresión en cilindros preparados con mezcla de agua residual tratada y agua potable

En la tabla 4.11. se presenta la de diferencia obtenida entre los resultados de las resistencias a la compresión entre la mezcla realizada con agua residual tratada y la realizada con agua potable a los 28 días.

Tabla 4.11. Porcentaje de diferencia entre las resistencias a la compresión de las distintas mezclas de agua residual tratad y agua potable a los 28 días.

Agua Residual Tratada (kgf/cm ²)	Agua Potable (kgf/cm ²)	Porcentaje de diferencia
248	308	19,5 %

Como se puede apreciar la diferencia entre las dos mezclas es de casi un 20%, donde se esperaba además una resistencia de 300 kgf/cm² la cual fue alcanzada únicamente en el concreto realizado con la mezcla de agua potable.

Esta diferencia puede ser debido principalmente por el retraso del tiempo de fraguado que existe entre las mezclas y además por la presencia de mayores espacios vacíos tal como fue descrito anteriormente.

Además al calcular la desviación estándar entre los resultados obtenidos en los cilindros realizados con agua residual tratada y agua potable a los 28 días se tuvo como resultado 5,7 kgf/cm² y 4,4 kgf/cm² respectivamente, lo que nos indica que existe una mayor irregularidad en los resultados obtenidos entre los cilindros en el caso de los realizados con agua residual tratada

El deterioro en la resistencia a la compresión de la mezcla realizada con agua residual tratada podría estar causada por la materia orgánica y la alcalinidad que pueden estar presentes en este tipo de agua, además como se indico anteriormente la cantidad de estos componentes es superior a las presentadas en el agua potable.

Otros de los elementos que está presente en el agua residual tratadas es de nitrato, y como se destacó en el marco teórico este causa un deterioro en el concreto, por lo cual podría ser este uno de los parámetros que está causando la disminución de la resistencia del concreto, a pesar que no se tiene dato de cuáles son los límites adecuados de nitrato para una mezcla de concreto si comparamos la cantidad de nitratos contenidos en el agua potable con la cantidad presente en el agua residual tratada, se puede apreciar que en agua residual tratada se tiene una cantidad mayor de nitrato.

A pesar que se tienen todos estos elementos como posibles causas de la disminución de la resistencia no es posible establecer cuáles de ellos podría estar causando un mayor o menor efecto en la mezcla de concreto. Además se debe destacar que el agua residual tratada cumple con los límites establecido por las distintas normas y referencias de distintos autores, pero aun así la diferencia de resistencia entre ambas mezclas supera el 10% establecido como limite adecuado por la norma COVENIN.

Con miras a realizar un análisis comparativo con los trabajos presentados en el marco teórico, a continuación en la tabla 4.12. se presenta un resumen con los principales parámetros de calidad de las aguas utilizadas en los distintos trabajos,

incluyendo los obtenidos en este estudio asociados a los valores de resistencia obtenidos en cada uno de ellos.

Al momento de comparar los diversos parámetros de cada una de las aguas utilizadas en los distintos trabajos con el agua utilizada en el presente trabajo se puede observar que los que presentan una mayor diferencia son los valores de sólidos disueltos volátiles, y los nitratos. Por lo cual se podrían decir que son estos los principales elemento que pudieran estar causando el alto porcentaje de disminución mayor de la resistencia que se obtuvo en estos estudios.

A pesar de esto, no se puede concluir específicamente cual es el elemento que está causando la reducción de la resistencia ya que cada uno de los trabajos presentan valores muy distinto entre las diversas aguas o ni se determinaron algunos parámetros en estas.

Tabla 4.12. Comparación de los distintos trabajos realizados.

Parámetros	Trabajo Actual (Venezuela 2011)		México(2001)				Kuwait (2001)			
			Acueducto de Guadalupe	Azcapotzalco	San Juan de Ixtayopan					
	ART	Agua potable	Agua residual tratada (ART)			Agua potable	Primario	Secundario	Terciario	Agua potable
pH	7,4	7	8	7,7	7,6	7,7	7,4	7,8	7,3	8
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	31	20	--	--	--	0	221	12	7	0
Sólidos disueltos totales (mg/l)	389	226	--	491	1065	313	--	--	--	--
Sólidos disueltos volátiles (mg/l)	262	0	--	--	--	--	172	10	5	0
Sólidos totales (mg/l)	420	246	--	493	--	313	986	876	773	301
Sulfato (mg/l)	41	40	235	--	--	--	230	180	160	110
Nitratos (mg NO ₃ ⁻ -N/l)	11,5	0,27	--	--	--	--	0	0,4	1,9	0,2
Cloruro (mg/l)	60	24	125	--	230	126	287	290	340	133
DQO (mg/l)	48	inap	--	74	63	--	407	61	29	3
Aceites y Grasas (mg/l)	5	inap	--	3,75	63	6,8	--	--	--	--
Alcalinidad total (mg/l CaCO ₃)	146	96	635	251	379	174	228	66	57	66
Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)	248	308	292	257	288	272	224	229	265	254
Porcentaje de diferencia de resistencia a la compresión entre las mezclas	20%		mayor	6%	mayor		12%	10%	mayor	

**Tabla 4.12. Comparación de los distintos trabajos realizados.
(continuación).**

Parámetros	Trabajo Actual (Venezuela 2011)		Pakistán (2005)				Brasil (2008)	
	ART	Agua potable	Primario	50 residual + 50 potable	Residual sin tratamiento	Agua potable	ART	Agua potable
pH	7,4	7	--	--	--	--	7,3	--
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	31	20	--	--	--	--	--	--
Sólidos disueltos totales (mg/l)	389	226	2613	4267	--	676	--	--
Sólidos disueltos volátiles (mg/l)	262	0	--	--	--	--	--	--
Sólidos totales (mg/l)	420	246	--	--	--	--	324	--
Sulfato (mg/l)	41	40	350	740	980	60	--	--
Nitrato (mg NO ₃ ⁻ -N/l)	11,5	0,27	--	--	--	--	--	--
Cloruro (mg/l)	60	24	425	860	--	80	218	--
DQO (mg/l)	48	inap	19	19	--	12	--	--
Aceites y Grasas (mg/l)	5	inap	--	--	--	--	--	--
Alcalinidad total (mg/l CaCO ₃)	146	96	800	750	--	275	--	--
Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)	248	308	216	209	176	224	279	270
Porcentaje de diferencia de resistencia a la compresión entre las mezclas	20%		4%	7%	22%		mayor	

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Los resultados obtenidos en este trabajo y su posterior análisis permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- A pesar que el efluente de la Planta de Tratamiento “El Chorrillo” según los parámetros regulados en las diferentes normas se encuentra apto para ser usado como agua de mezclado para la realización del concreto, se presentó una diferencia mayor al 10% en la resistencia a la compresión del concreto realizado con el agua potable.
- Las diferencias obtenidas en los tiempos de fraguados entre las dos mezclas se encuentra entre los límites aptos establecidos por la norma COVENIN 2385-2000 “Concreto y mortero. Agua de mezclado. Requisitos”, aunque fue más lento en la pasta de cemento preparada con agua residual tratada que la realizada con agua potable.
- Los resultados obtenidos en los ensayos de peso unitario, ultrasonido, absorción y erosión permiten afirmar que las mezclas realizadas con agua residual tratada no presentan diferencias significativas en su homogeneidad en comparación de las mezclas de agua potable.
- La alcalinidad presente en el agua residual tratada pudiera ser una de las causas de la variación del tiempo de fraguado y por consiguiente la disminución de la resistencias a la compresión entre ambas mezclas.

- Uno de los principales constituyentes del agua que puede estar causando deterioro de la mezcla de concreto es el nitrato ya que fue el que estuvo en mayor concentración cuando se comparó la calidad del agua de preparación de las mezclas con los estudios revisados.
- A pesar que la diferencia de la resistencia a la compresión entre las dos mezclas preparadas con agua residual tratada y agua potable fue superior al 10% establecido en la norma COVENIN 2385-2000, no se destacaron completamente la posibilidad de su uso como agua de mezclado.

5.1. Recomendaciones.

- Realizar un nuevo estudio con el agua residual tratada de la Planta de Tratamiento “El Chorrito”, pero sin el efecto del proceso de nitrificación, para así verificar si la principal causa de la reducción de la resistencia es la presencia de nitratos en el agua de mezclado, considerando mayor número de mezclas.
- Realizar ensayos que permitan evaluar el comportamiento del agua residual tratada pero con resistencias de 200 y 250 kgf/cm².
- Realizar estudios más detallados donde se preparen mezclas de concreto con distintas aguas preparadas, donde cada una de estas contengan uno de los constituyentes que pudieran estar causando la variación de las propiedades del concreto para así determinar cuál de los elementos es el que influyen mas en el deterioro del concreto.
- Realizar distintas investigaciones con efluentes provenientes de otros tipos de tratamientos de aguas residuales de nuestro país, por ejemplo con lagunas de estabilización.
- Realizar estudios más integrales donde además de analizar el agua a utilizar, también se analice la mezcla de concreto, especialmente los agregados ya que podrían tener impurezas orgánicas, que con las del agua residual tratada sobrepase la cantidad adecuada que debe tener el concreto para que no sufra deterioro.
- Una vez confirmado el uso de ciertas aguas residuales tratadas para la elaboración del concreto, realizar un estudio de factibilidad para la implementación de las aguas residuales tratada para la elaboración de mezclas de concreto en Venezuela.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute (ACI). Manual of concrete practice. Parte 1 Materials and general Properties of concrete. 1991.
2. APHA-AWWA-EWF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edición 20, 1998.
3. Arreguín, F.; Moeller, G.; Escalante, V.; Rivas, A. (1997). *El Reuso del Agua en México* [Documento en línea]. Disponible: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/acodal42/reuso.pdf> [Consulta: 2010, Octubre 05]. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
4. Bauzán, I. (2010). *Importancia del agua en el concreto*. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.360gradosblog.com/file.axd?file=2010%2F9%2FImportancia+del+agua+en+el+concreto.pdf> [Consulta: 2011, Abril 15].
5. Comité Conjunto de Concreto Armado (1966) “Método para obtener pastas de cementos hidráulicos y morteros de consistencia plástica por mezclado mecánico”,
6. COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto. 2^{da} Revisión 338-2002.
7. COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams. 2^{da} Revisión 339:1994.
8. COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezcla de concreto por resistencia a la penetración.352-79.

9. COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto.1681-1980.
10. COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN). Concreto y mortero. Agua de mezclado. Requisitos. 1^{era} Revisión 2385-2000.
11. Crites – Tchobanoglous. (2000). *Sistemas de Manejo de Agua Residuales*. Tomo 3. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana S.A.
12. Escalas, A. (2006). *Tecnologías y usos de las aguas residuales en México*. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.tecspar.org/chile.html> [Consulta: 2010, Octubre 05].
13. Hernández, Luis. (1995). *Nuevas Tecnologías para el Saneamiento, Depuración y Reutilización de las Aguas Residuales en la Provincia de Alicante*. [Libro en línea]. Disponible: <http://aguas.igme.es/igme/publica/libro33/lib33.htm> [Consulta: 2011, Abril 13].
14. Ibrahim Al-Ghusain and Mohammad J. Terro. (2003). *Use of treated wastewater for concrete mixing in Kuwait*. [Documento en línea]. Disponible: http://pubcouncil.kuniv.edu.kw/kjse/english/wordfile/Volume_30_2003/v29-n1-2003/use.pdf [Consulta: 2010, Octubre 09].
15. Institute Of Environmental Science & Engineering (IESE), National University of Sciences & Technology (NUST) (2005). *Use of municipal wastewater for plain cement concrete constructions*. [Documento en línea]. Disponible: http://ejeafche.uvigo.es/component/option,com_docman/task,doc_view/gid,101/ [Consulta: 2010, Noviembre 25].
16. Jiménez, B. (2002). *La Contaminación Ambiental en México*. [Libro en línea]. Editorial Limusa S.A. Disponible: <http://books.google.co.ve/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA202&lpg=PA202&dq=mezclas+de+concreto+con+agua+residual+tratada&source=bl&ots=IRDGWM>

[Dxyz&sig=g7k1MibDHzjYx8q9HRs1DPw20g&hl=es&ei=wme7TJ6lKsOqlAeA463_Dg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CBQQ6AEwAA#v=onepage&q=mezclas%20de%20concreto%20con%20agua%20residual%20tratada&f=false](http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/uso_reu)
[Consulta: 2010, Octubre 05].

17. Kosmatka, S.; Kerkhoff, B; Panarese, W.; Tanesi, J. (2009). *Diseño y control de mezcla de concreto*. Portland Cement Association (PCA).
18. Kestler, Patricia. (2004). *Uso, Reuso y Reciclaje del Agua*. [Documento en línea]. Disponible: http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/uso_reu [Consulta: 2010, Octubre 05].
19. López, M. (2009). Diagnóstico y potencial de reuso de aguas residuales tratadas en valle de Aguascalientes [Documento en línea]. Disponible: http://www.cotas.org.mx/documentos/Ags2008_REUSO_inFin_VT_1%5B1%5D.pdf [Consulta: 2011, Marzo 01].
20. Madera, Carlos. (2005). *Reuso de agua residual: los aspectos sobre calidad necesitan mayor atención*. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.noticias.irc.nl/page/34590> [Consulta: 2011, Marzo 01].
21. Márquez, D (2009). *Comportamiento Mecánico y Físico de Mezcla de Lodo-Cemento con Bajo Contenido de Materia Orgánica para su uso como Material de Construcción*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.
22. Matos, S. (2001). *Reusar el agua para abastecer una población que aumenta*. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.accionverde.com/2010/01/10/reusar-el-agua-para-abastecer-una-poblacion-que-aumenta/> [Consulta: 2010, Octubre 09].
23. Melo, J. (2008). *Uso del Sistema de las aguas residuales tratadas, Lagunas de Estabilización para agua de amasado y curado de concreto*. Brasil [Documento

en línea]. Disponible:
http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/utiliza%C3%A7%C3%A3o-esgoto-tratado-em-sistema-lagoas-estabiliza%C3%A7%C3%A3o-como-agua-amassamento/id/37330867.html [Consulta: 2011, Agosto 05].

24. Norma oficial Mexicana (NOM). Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en agua y bienes nacionales. NOM-001-ECOL-1999.
25. Norma técnica Colombiana. 3459 Agua para la elaboración de concreto. 2001
26. Norma Mercosur MN 137:97 (1997). "Morteros y hormigón- Agua para el mezclado y curado de mortero y hormigón de cemento portland.
27. Pérez, J.; Vallverdú. (1997). *Reutilización de las aguas residuales de la ciudad de Almería en los regadíos del bajo andarax*. [Documento en línea]. Disponible: [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-SA-C13/\\$File/SA-C13.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-SA-C13/$File/SA-C13.pdf) [Consulta: 2011, Abril 12].
28. Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, J. y Velazco, G. (2008). *Manual del Concreto Estructural*. Sidetur, Excelencia Siderúrgica, Caracas.
29. Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales (2007). [Documento en línea]. Disponible: <http://www.ccad.ws/documentos/legislacion/CR/D-26042.pdf> [Consulta: 2010, Octubre 06].
30. Rodríguez, L. y Simonpietri, M (2002). Diseño de Mezcla para su Uso en la Elaboración de Bloques Aligerados de Suelo-Cemento. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
31. Romero, J. (2008). *Tratamiento de Aguas Residuales*. 3ra ed. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

32. Rosillo, A. (2002). *Sistema Integrado de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales Domésticas de Maracaibo, Venezuela*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
33. Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL). (2007). *Agua tratada: Una fuente de suministro*. Disponible: <http://www.sapal.gob.mx/agua-tratada> [Consulta: 2011, Junio 19].
34. Sette, R.; Jiménez, D.; De Lora F. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. [Libro en línea]. Ediciones Reverté S.A. Disponible: <http://books.google.co.ve/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=frontcover&dq=related:ISBN8479783370#v=onepage&q&f=false> [Consulta: 2011, Enero 04].
35. Sierra, C. (2008). Proyecto Morado. Agua de reuso. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.cuidoelagua.org/empapate/usoeficiente/lineamorada1.html> [Consulta: 2010, Noviembre 06].
36. Vázquez A. e Ingenieros González F., Rocha L. y Flores J. (2001). *Elaboración de concretos con Agua Tratadas*. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/concretos.htm> [Consulta: 2010, Noviembre 30].

ANEXOS

A-1. Análisis del agua.

A-1.1. Análisis del agua del mes de Marzo 2011.

Lugar de captación	P.T.A.R. El Chorrito. - Edo. Miranda	
Sitio de captación	Afluente	Efluente
Fecha y hora de captación	10 de Marzo de 2011	
	01:00 p.m.	01:00 p.m.
Tipo de muestras	Compuesta (4h)	Compuesta (4h)
Aspecto	Turbia Gris	Lig. Turbia
Turbiedad (UNT)	-	14
Color verdadero (UCV)	-	10
Conductividad Específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)*	853	782
Oxígeno disuelto (mg/l)	-	-
pH	8,0	7,5
Alcalinidad a pH 8,3 ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$)*	0	0
Alcalinidad a pH 4,5 ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$)*	262	244
Demanda Biológica de Oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{l}$)	130	13
Demanda Química de Oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{l}$)	400	70
Nitrógeno total ($\text{mg N}/\text{l}$)	37	20,7
Detergentes ($\text{mg LAS}/\text{l}$)	3,9	0,10
Aceites y grasas (mg/l)	42	7
Cloruros (mg/l)	52,0	45,0
Sulfatos (mg/l)	71	64
Nitritos ($\text{mg NO}_2\text{-N}/\text{l}$)	1,14	7,9
Nitratos ($\text{mg NO}_3\text{-N}/\text{l}$)	0,02	0,20
Nitritos + Nitratos ($\text{mg N}/\text{l}$)	1,16	8,10
Fosforo Total ($\text{mg P}/\text{l}$)	6,6	4,5
Sólidos totales (mg/l)	709	419
Sólidos totales fijos (mg/l)	430	296
Sólidos totales volátiles (mg/l)	279	123
Sólidos disueltos totales (mg/l)	504	394
Sólidos disueltos fijos (mg/l)	340	278
Sólidos disueltos volátiles (mg/l)	164	116
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	205	25
Sólidos suspendidos fijos (mg/l)	90	18
Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)	115	7
Sólidos sedimentables (ml/l)	1,5	<0,1
Coliformes totales ($\text{org}/100\text{ ml}$)	4,00E+07	1,00E+06
Coliformes fecales ($\text{org}/100\text{ ml}$)	1,20E+07	8,00E+05

Fuente: PETA-UCV (2011).

A-1.2. Análisis del agua del mes de Junio 2011.

Lugar de captación	P.T.A.R. El Chorruto. - Edo. Miranda		Acueducto
Sitio de captación	Afluente	Efluente	Km11
Fecha y hora de captación	22 de Junio de 2011		
	10:00 a.m.	10:15 a.m.	12:00 m
Tipo de muestras	Instantánea	Instantánea	Instantánea
Aspecto	Turbia Gris	Lig. Turbia	CLARA
Turbiedad (UNT)	N/D	14	1.1
Color verdadero (UCV)	90	10	<5
Conductividad Específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)*	737	584	320
Oxígeno disuelto (mg/l)	1,6	4,2	7,2
pH	7,4	7,4	7,0
Alcalinidad a pH 8,3 ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$)*	0	0	0
Alcalinidad a pH 4,5 ($\text{mg CaCO}_3/\text{l}$)*	208	146	96
Demanda Biológica de Oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{l}$)	100	6	Inapreciable
Demanda Química de Oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{l}$)	230	48	Inapreciable
Nitrógeno amoniacal ($\text{mg NH}_3\text{-N}/\text{l}$)	21	1	Inapreciable
Nitrógeno orgánico ($\text{mg N}_{\text{org}}\text{-N}/\text{l}$)	5	Inapreciable	Inapreciable
Nitrógeno total ($\text{mg N}/\text{l}$)	26	1	Inapreciable
Detergentes ($\text{mg LAS}/\text{l}$)	2,05	0,08	Inapreciable
Aceites y grasas (mg/l)	28	5	Inapreciable
Fenoles (mg/l)	0,12	0,06	Inapreciable
Fluoruros (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	Inapreciable
Cloruros (mg/l)	52	60	24
Sulfatos (mg/l)	74	41	40
Nitritos ($\text{mg NO}_2\text{-N}/\text{l}$)	1,14	1,02	Inapreciable
Nitratos ($\text{mg NO}_3\text{-N}/\text{l}$)	0,43	11,5	0,27
Nitritos + Nitratos ($\text{mg N}/\text{l}$)	1,57	12,5	0,27
Fosfatos ($\text{mg}/\text{l P}$)	3,7	1,9	Inapreciable
Fosforo Total ($\text{mg P}/\text{l}$)	8,6	2,6	Inapreciable
Calcio (mg/l)	36	26	24
Magnesio (mg/l)	15	13	12
Sodio (mg/l)	83	66	12
Potasio (mg/l)	13	12	9
Hierro (mg/l)	0,23	Inapreciable	Inapreciable
Manganeso (mg/l)	0,12	Inapreciable	Inapreciable
Boro (mg/l)	0,10	Inapreciable	Inapreciable
Cinc (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	Inapreciable
Cobre (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	Inapreciable
Cadmio (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	Inapreciable
Plomo (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	Inapreciable
Aluminio (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	Inapreciable
Sólidos totales (mg/l)	814	420	246
Sólidos totales fijos (mg/l)	310	142	243
Sólidos totales volátiles (mg/l)	504	278	3
Sólidos disueltos totales (mg/l)	423	389	226
Sólidos disueltos fijos (mg/l)	226	127	226
Sólidos disueltos volátiles (mg/l)	197	262	0
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	391	31	20
Sólidos suspendidos fijos (mg/l)	84	15	19
Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)	307	16	1
Sólidos sedimentables (ml/l)	1,5	<0,1	<0,1
Cloro residual (mg/l)	Inapreciable	Inapreciable	0,42
Coliformes totales ($\text{org}/100\text{ ml}$)	$1,9 \times 10^7$	$6,8 \times 10^5$	0
Coliformes fecales ($\text{org}/100\text{ ml}$)	$7,0 \times 10^6$	$4,0 \times 10^4$	0

Fuente: PETA-UCV (2011).

A-2. Parámetros evaluados para la verificación de la nitrificación que esta presentando la planta.

A-2.1. Parámetros de diseño y proceso para una planta de lodos activados.

	θ_c (d)	F/M (KgDBO/KgSSVLM-d)	Carga Orgánica (KgDBO/m ³ -d)	SSVLM (mg/l)	θ_h (h)
Convencional	3-15	0,20-0,40	0,30-0,70	1000-3000	4-8
Aeración Extendida	20-40	0,04-0,10	0,10-0,30	2000-5000	20-30
Nitrificación (Una Etapa)	8-20	0,10-0,20	0,10-0,30	1500-3500	6-15
Nitrificación (Etapas Separadas)	15-100	0,05-0,20	0,05-0,02	1500-3500	3-6

Donde:

- F/M: Relación sustrato microorganismos.
- SSVLM: Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado.
- θ_c : Tiempo de retención hidráulico.
- θ_h : Tiempo de retención celular.

A-2.2. Valor de tiempo de retención hidráulico para las dos fechas para los que tienen la calidad del agua.

	10 de Marzo de 2011	22 de Junio de 2011
θ_h [h]	11	13

A-2.2. Valor de F/M para las dos fechas para los que tienen la calidad del agua.

	10 de Marzo de 2011	22 de Junio de 2011
F/M (Kg DBO/Kg SSVLM)	0,09	0,10

A-3. Datos obtenidos en el periodo de verificación de la planta.

A-3.1. En el reactor A.

	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DÍA 8	DÍA 9	DÍA 10	DÍA 11	DÍA 12	DÍA 13
	03/06	06/06	07/06	08/06	09/06	10/06	11/06	13/06	14/06	15/06	17/06	21/06	22/06
Oxígeno disuelto (mg/l)	1,9	2,9	3,1	4,1	3,6	3,6	3,5	3,2	3,1	2,7	2,5	2,4	2,7
SS (Cono Imhoff)(mg/l)	225	175	250	275	100	150	140	65	125	150	150	160	150
SS (Cilindro) (mg/l)	340	220	200	210	150	140	150	70	130	150	120	210	120
SSLM (mg/l)	5024	5656	4288	4116	2492	3412	3332	1476	2832	3816	2736	5252	2765
IVL (ml/g)	68	39	47	51	60	41	45	47	46	39	44	40	43

A-3.2. En el reactor B.

	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DÍA 8	DÍA 9	DÍA 10	DÍA 11	DÍA 12	DÍA 13
	03/06	06/06	07/06	08/06	09/06	10/06	11/06	13/06	14/06	15/06	17/06	21/06	22/06
Oxígeno disuelto (mg/l)	2,2	2,6	4,9	5,2	5,2	5,6	4,7	4,3	4,4	4,4	3,4	3,6	3,7
SS (Cono Imhoff) (mg/l)	125	115	100	60	62	95	95	40	70	80	80	90	80
SS (Cilindro) (mg/l)	150	100	100	100	90	100	100	50	80	100	80	120	70
SSLM (mg/l)	1600	2484	2052	1796	1516	2768	1776	960	1900	2320	1816	3008	1653
IVL (ml/g)	94	40	49	56	59	36	56	52	42	43	44	40	42

Donde:

- SS (Cono Imhoff): Sólidos sedimentados en el cono imhoff durante un periodo de 1 hora. [mg/l]
- SS (Cilindro): Sólidos sedimentados en un cilindro graduado por un periodo de 30 min. [mg/l]
- SSLM: Sólidos suspendidos en el licor mezclado. [mg/l]
- IVL: Índice Volumétrico de Lodos. [mg/l]

A-3.3. En el vertedero de salida de la planta.

	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DÍA 8	DÍA 9	DÍA 10	DÍA 11	DÍA 12	DÍA 13
	03/06	06/06	07/06	08/06	09/06	10/06	11/06	13/06	14/06	15/06	17/06	21/06	22/06
Oxígeno disuelto (mg/l)	4,1	4,5	5,2	4,9	5,5	5,2	5,4	4,8	4,7	5,4	5,5	5,6	5,5
Turbiedad (UNT)	11	24	12	10	15	20	12	13	11	11	12	10	14
pH	7,22	7	7,25	7	7,42	7,08	7,33	7,05	7,22	7,34	7,48	7,16	7,14
Caudal (m³)	462	489	573	144	223	312	573	312	516	573	312	462	516

A-4. Ensayos a las probetas.

A-4.1. Ensayos de tiempo de fraguado.

Tiempo en minutos	Penetración de la aguja (mm)	
	Agua residual tratada	Agua Potable
10	40	40
20	40	40
30	40	40
40	40	40
50	40	40
60	40	39
70	39	37
80	36	34
90	35	30
100	28	25
110	25	22
120	21	20
130	21	17
140	21	14
150	15	10
160	5	4
170	4	1
180	1	--

A-4.2. Ensayos de peso unitario.

Agua residual tratada.				
N° Cilindro	Diam. Prom (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Peso unitario (kg/m ³)
1	15	30,4	12,538	2334
2	15,1	30,2	12,494	2310
3	15,1	30,3	12,419	2289
4	15,1	30,2	12,334	2281
5	15	30,2	12,351	2314
6	15,1	30,4	12,447	2286
7	15,1	30,3	12,322	2271

Agua potable.				
N° Cilindro	Diam. Prom (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Peso unitario (kg/m³)
1	15,1	30,4	12,589	2312
2	15	30,3	12,480	2331
3	15,05	30,5	12,532	2310
4	15,1	30,3	12,569	2316
5	14,9	30,4	12,322	2325
6	15	30,5	12,580	2334
7	15,05	30,3	12,448	2309

A-4.3. Ensayo de ultrasonido.

Agua residual tratada.			
N° Cilindro	Altura (cm)	Tiempo de propagación de la onda (microsegundos)	Velocidad del ultrasónico (km/s)
1	30,4	70,4	4318
2	30,3	70,2	4316
3	30,5	70,6	4320
4	30,3	70,3	4310
5	30,4	70,2	4330
6	30,5	70,1	4351
7	30,3	70,7	4286

Agua potable.			
N° Cilindro	Altura (cm)	Tiempo de propagación de la onda (microsegundos)	Velocidad del ultrasónico (km/s)
1	30,4	71,4	4258
2	30,2	71,1	4248
3	30,3	72,4	4185
4	30,2	70,9	4260
5	30,2	71	4254
6	30,4	71,7	4240
7	30,3	72,1	4202

A-4.4. Ensayos de absorción.

Tipo de agua	Probeta	Peso Seco (kg)	Peso Húmedo (kg)	Coeficiente de Absorción (%)	Promedio de Absorción (%)
Agua Residual tratada	1	7,062	7,558	6,56	6,49
	2	6,894	7,367	6,42	
Agua Potable	1	6,843	7,230	5,35	5,50
	2	7,145	7,572	5,64	

A-4.5. Ensayos de erosión.

Tipo de agua	Probeta	Peso Inicial (kg)	Perdida de Material (kg)	Perdida de Material (%)	Perdida de Material Promedio (%)
Agua Residual tratada	1	7,062	0,077	1,09	0,84
	2	6,894	0,041	0,59	
Agua Potable	1	6,843	0,020	0,29	0,22
	2	7,145	0,010	0,14	

A-4.6. Ensayos de resistencia a la compresión de las mezclas realizadas con agua residual tratada.

A los 7 días							
N° Cilindro	Diám. 1 (cm)	Diám. 2 (cm)	Diám. Prom. (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga Max. (kg)	Esfuerzo (kgf/cm ²)
1	15	15	15	30	12,455	42334	240
2	15	15	15	30,3	12,242	41527	235
3	15	15	15	30,2	12,527	42555	241
4	15,1	15,1	15,1	30,2	12,271	41188	230
5	15	15	15	30,3	12,506	41903	237
6	15	15	15	30,3	12,529	42288	239
7	15,1	15,2	15,15	30,4	12,245	42703	237

A los 14 días							
N° Cilindro	Diám. 1 (cm)	Diám. 2 (cm)	Diám. Prom. (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga Max. (kg)	Esfuerzo (kgf/cm ²)
1	15	15	15	30,2	12,395	40840	231
2	15,1	15	15,05	30	12,460	42694	240
3	15,1	15,1	15,1	30,4	12,478	41904	234
4	15,1	15,1	15,1	30,40	12,560	43244	241
5	15	15,10	15,05	30,2	12,462	42161	237
6	15	15	15	30,3	12,527	41089	233
7	15,1	15,1	15,1	30,3	12,373	42083	235

A los 28 días							
N° Cilindro	Diám. 1 (cm)	Diám. 2 (cm)	Diám. Prom. (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga Max. (kg)	Esfuerzo (kgf/cm ²)
1	15	15	15	30,4	12,538	44355	251
2	15,1	15,1	15,1	30,2	12,494	45560	254
3	15,1	15,1	15,1	30,3	12,419	45665	255
4	15,1	15,1	15,1	30,2	12,334	42979	240
5	15	15	15	30,2	12,351	44001	249
6	15,1	15,1	15,1	30,4	12,447	43516	243
7	15,1	15,1	15,1	30,3	12,322	43874	245

A-4.7. Ensayos de resistencia a la compresión de las mezclas realizadas con agua potable.

A los 7 días							
N° Cilindro	Diám. 1 (cm)	Diám. 2 (cm)	Diám. Prom. (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga Max. (kg)	Esfuerzo (kgf/cm ²)
1	15,1	15	15,05	30,3	12,510	45456	256
2	15,1	15	15,05	30,4	12,578	45630	257
3	15	15,1	15,05	30,3	12,591	44236	249
4	15,1	15	15,05	30,2	12,453	44473	250
5	15,1	15,1	15,1	30,3	12,574	46226	258
6	15,1	15,1	15,1	30,2	12,380	45665	255
7	15,1	15,1	15,1	30,2	12,490	46450	259

A los 14 días							
N° Cilindro	Diám. 1 (cm)	Diám. 2 (cm)	Diám. Prom. (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga Max. (kg)	Esfuerzo (kgf/cm ²)
1	15,1	15,1	15,1	30,5	12,590	52450	293
2	15	15,1	15,05	30,3	12,568	53546	301
3	15,1	15,1	15,1	30,3	12,533	53977	301
4	15,1	15,1	15,1	30,4	12,621	51800	289
5	15	15	15	30,3	12,428	50363	285
6	15,1	15,1	15,1	30,4	12,612	51395	287
7	15	15	15	30,4	12,528	52246	296

A los 28 días							
N° Cilindro	Diám. 1 (cm)	Diám. 2 (cm)	Diám. Prom. (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Carga Max. (kg)	Esfuerzo (kgf/cm ²)
1	15,1	15,1	15,1	30,4	12,589	54189	303
2	15	15	15	30,3	12,480	55312	313
3	15,1	15	15,05	30,5	12,532	54969	309
4	15,1	15,1	15,1	30,3	12,569	55514	310
5	14,9	14,9	14,9	30,4	12,322	53181	305
6	15	15	15,	30,5	12,580	53423	302
7	15,1	15	15,05	30,3	12,448	55504	312