

**EFFECTOS EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGON SIMPLE POR EL USO
DE AGUA RESIDUAL TRATADA PARA MEZCLA PROVENIENTE DE LA
PTAR DE CAÑAVERALEJO**

MARIA JEIMY BURBANO CERÓN

ANDRÉS SAÚL CALDERÓN LINARES



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2016**

**EFFECTOS EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGON SIMPLE POR EL USO
DE AGUA RESIDUAL TRATADA PARA MEZCLA PROVENIENTE DE LA
PTAR DE CAÑAVERALEJO**

MARÍA JEIMY BURBANO CERÓN

ANDRÉS SAÚL CALDERÓN LINARES

**Informe final de trabajo de grado en la modalidad de trabajo de
investigación, presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingenieros Ambientales**

Directora

M.Sc. MARÍA ELENA CASTRO CAICEDO

Asesor

Ph.D. JUAN MANUEL MOSQUERA RIVERA



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2016**

Nota de aceptación:

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, 31 de Octubre de 2016

La ingeniería ambiental es afrontar a través de ciencia y consciencia los retos que trae el desarrollo, recordar los límites de los recursos y la infinidad de posibilidades.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, amigos, compañeros, profesores y a todas aquellas personas que siempre estuvieron conmigo, que con sus consejos y apoyo incondicional han hecho de mí una mejor persona.

María Jeimy Burbano Cerón

Dedico este trabajo de grado, a todas aquellas personas familia, profesores, compañeros y amigos que me ayudaron y asesoraron en mi vida y durante estos años de mi educación superior, siento satisfacción por terminar otra etapa de mi vida.

Andrés Saúl Calderón Linares

AGRADECIMIENTOS

Es más que necesario hacer un reconocimiento a todas aquellas personas que hicieron posible que este logro en mi vida sea hoy una realidad:

Primero que todo doy gracias a Dios por permitirme la consecución de un logro más en mi vida, por darme la familia que tengo y la oportunidad de superarme cada día más.

A mis padres Ángel Burbano y Gladis Cerón, por darme la vida, por su inmenso amor y dedicación para que hoy sea quien soy.

A mi hermano que a pesar de la distancia siempre ha estado conmigo apoyándome incondicionalmente.

A todos mis familiares especialmente a mi tío Daniel Cerón por tantas lecciones de vida, por tantas enseñanzas y tanta sabiduría.

A mis compañeros y amigos especialmente a Katherine Vanegas por ser mi compañera, mi amiga y mi hermana durante todo este tiempo de formación.

A Christian Delgado por ser mi apoyo incondicional durante este caminar, por estar conmigo en las buenas y en las malas.

A mi compañero de trabajo y mi amigo del alma Andrés Saúl Calderón, por tanta dedicación y compromiso, y por tantos momentos inolvidables.

A la universidad del Cauca, por ser mi maestra y por permitirme ser parte de su saber, por impartirme tanto conocimiento y ser la cuna de sueños y aspiraciones de un mundo mejor.

A María Elena Castro nuestra directora de tesis que siempre nos brindó de manera incondicional su apoyo y conocimiento durante todo este tiempo.

Por último pero no menos importante a todos aquellos profesores con quien tuve el agrado y el gusto de vivir el conocimiento, gracias por sus palabras dentro y fuera del aula, gracias por ser la luz en medio de tanta oscuridad.

María Jeimy Burbano Cerón

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi reconocimiento y agradecimiento a todas aquellas personas que, gracias a su colaboración, han contribuido a la realización de este trabajo de grado y en la culminación de mis estudios de pregrado.

A la Universidad del Cauca, por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mi directora de tesis, profesora María Elena Castro Caicedo, por su interés en dirigir mi trabajo de grado, por su confianza, colaboración, y dedicación, quien enseña en su labor que un verdadero profesor es una luz acompañante de quien la necesita.

A todos los docentes del Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad del Cauca que compartieron sus conocimientos, dentro y fuera de clase, haciendo posible mi formación profesional.

A Lina Marcela Hormiga Ordoñez, un apoyo fundamental y decisivo en los momentos más difíciles de mi vida, sin tu contribución esto no sucedería. Por superar juntos todos los desafíos y fortalecernos, gracias.

Agradezco a mis padres por darme la vida, a mi mamá Delfina Linares Rodríguez por apoyarme en todo que ha podido y su gran esfuerzo durante toda su vida.

A mi abuela Juana Rodríguez, quien hasta sus últimos días siempre me alentó a seguir adelante, gracias por permitirme sonreír en la vida a pesar de tu ausencia.

A la familia Hormiga Ordoñez, mi segunda familia por aceptarme, apoyarme y acompañarme en todo momento.

Finalmente, a mis amigos y compañeros, a María Jeimy Burbano Cerón, por su interés en el desarrollo de este trabajo y compañía en estos últimos cinco años poniendo lo mejor de su energía y empeño por el bien de nuestra formación profesional.

Andrés Saúl Calderón Linares

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	15
INTRODUCCION	16
1. ANTECEDENTES	17
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
3. JUSTIFICACION	20
4. OBJETIVOS	21
4.1 Objetivo general.....	21
4.2 Objetivos específicos	21
5. MARCO TEORICO	22
5.1 DEFINICIÓN DE HORMIGÓN	22
5.2 CLASIFICACIÓN GENERAL DEL HORMIGÓN.....	22
5.3 COMPONENTES DEL HORMIGÓN	22
5.3.1 Agua en el hormigón.....	23
5.3.2 El cemento.....	26
5.3.3 Los agregados	27
5.3.4 Aditivos.....	27
6. METODOLOGIA	29
6.1 LUGAR DE RECOLECCION DE MUESTRA DE AGUA RESIDUAL TRATADA	29
6.2 RECOLECCION DE INFORMACION DE PARAMETROS MEDIDOS POR PTAR.....	29
6.2.1 Evaluación de parámetros medidos por PTAR para el año 2015 y comienzos del 2016 respecto a norma ASTM C-94.....	29
6.3 RECOLECCIÓN DE AGUA RESIDUAL TRATADA.....	30
6.3.1 Parámetros medidos y entregados por la PTAR Cañaveralejo	31
6.3.2 Parámetros medidos y entregados por la PTAP El Tablazo.	32
6.4 ENSAYOS ADICIONALES PARA AGUA RESIDUAL TRATADA	32
6.5 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS RESPECTO A LAS NORMAS ASTM C-94 Y NTC 3459	32
6.6 LUGAR DE ELABORACIONDE ENSAYOS A MATERIALES Y MEZCLAS DE HORMIGON	33

6.7 ENSAYOS DE LABORATORIO A LOS AGREGADOS.....	33
6.7.1 Ensayo granulométrico para arena	33
6.7.2 Ensayo granulométrico para grava.....	34
6.7.3 Curva granulométrica	34
6.8 CEMENTO Y ADITIVO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLA DE HORMIGON	34
6.9 PROPORCIONES DE AGUA EN LAS MEZCLAS.....	35
6.10 DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN.....	35
6.10.1 Determinación de la humedad en agregados.....	35
6.10.2 Cantidad de materiales usados en mezcla de hormigón.....	35
6.11 PREPARACION DE LAS MEZCLAS Y CILINDROS DE HORMIGÓN	35
6.11.1 Prueba de asentamiento.....	36
6.11.2 Encofrado o llenado de moldes cilíndricos.	37
6.12 DISEÑO DE CILINDROS DE HORMIGON CON AGUA RESIDUAL DE REPOSO..	38
6.13 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	38
6.13.1 Tipos de fracturas	39
6.13.2 Aprobación del agua de mezcla según Norma INVIAS 630 del 2013.....	40
6.14 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	40
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
7.1 VIABILIDAD DEL USO DE AGUA RESIDUAL TRATADA PARA MEZCLAS DE HORMIGON	41
7.2 DETECCION AZUCARES, ALGAS Y SULFITOS	44
7.2.1 Detección de azúcares mediante la prueba de Molisch.....	44
7.2.2 Yodimetría para detección de sulfitos.....	45
7.2.3 Detección de pigmentos- algas.....	45
7.3 UNIFIACION DE PARAMETROS MEDIDOS POR PTAR, PTAP Y ENSAYOS	47
7.4 RESULTADOS DE CONVERSIÓN PARA PARÁMETROS DE PTAR Y PTAP.....	48
7.5 CANTIDAD DE MATERIALES EMPLEADOS EN LAS MEZCLAS	51
7.5.1 Determinación de la humedad de agregados.....	51
7.5.2 Cantidad de materiales usados en mezcla de hormigón.....	51
7.5.3 Corrección por agua de mezcla para asentamiento de 15 cm	52
7.5.4 Relación de agua total y cemento total (a/c total).....	52

7.5.5 Cantidad de materiales para mezclas con agua en reposo	52
7.6 RESULTADOS DE PRUEBAS A LA COMPRESION	53
8. CONCLUSIONES	66
9. RECOMENDACIONES.....	67
BIBLIOGRAFIA	68
ANEXOS.....	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación del hormigón según resistencia a la compresión	22
Tabla 2 Clasificación del hormigón según su peso unitario	22
Tabla 3 Componentes principales del cemento Portland.....	27
Tabla 4 Tipo y proporciones de agua de mezcla	35
Tabla 5 Tipo y proporciones de agua en reposo para mezcla	38
Tabla 6 Unificación de parámetros medidos por la PTAR, PTAP y ensayos	47
Tabla 7 Evaluación de contaminantes medidos en PTAR, PTAP y ensayos respecto a normas ASTM C-94.....	48
Tabla 8 Evaluación de contaminantes medidos en PTAR, PTAP y ensayos respecto a norma NTC 3459	48
Tabla 9 Porcentaje de humedad en agregados	51
Tabla 10 Cantidad de materiales para diseño de hormigón.....	51
Tabla 11 Corrección de agua para prueba de asentamiento de 15 cm	52
Tabla 12 Porcentajes de humedad en agregados	52
Tabla 13 Cantidad de materiales para diseño	52
Tabla 14 Corrección de agua para prueba de asentamiento a 15 cm	53
Tabla 15 Resultados de pruebas a la compresión	54
Tabla 16 Similitud entre muestras DAP, DAR y D50/50	58
Tabla 17 Similitud entre muestras DAP, DARR y D50/50R	61
Tabla 18 Similitud entre muestras DAR, D50/50, DAP, DARR y D50/50R	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Vista superior de PTAR Cañaveralejo	29
Figura 2 Elaboración de mezcla compuesta de agua residual tratada.....	31
Figura 3 Premezclados del Cauca, Predelca S.A.S.....	33
Figura 4 Maquina mezcladora de hormigón.....	36
Figura 5 Prueba de asentamiento.....	37
Figura 6 Llenado de moldes	37
Figura 7 Tipos de fracturas	40
Figura 8 Materia orgánica como DQO	Error! Bookmark not defined.
Figura 9 Materia orgánica como DBO5	Error! Bookmark not defined.
Figura 10 Partículas en suspensión.....	42
Figura 11 pH.....	42
Figura 12 Bicarbonatos.....	43
Figura 13 Grasas y aceites como aceite mineral	43
Figura 14 Comparación de reacción de Molisch entre muestras	44
Figura 15 Comparación de placas cromatográficas con muestras de ART y Tradescantia.....	46
Figura 16 Microalga filamentosa observada en microscopio óptico.....	46
Figura 17 Variación de la resistencia respecto al tiempo para muestras DAP, DAR y D507/50	56
Figura 18 Dispersión de la resistencia demuestras DAP, DAR y D50/50	57
Figura 19 Variación de la resistencia respecto al tiempo para muestras DAP, DARR y D50/50R	59
Figura 20 Dispersión de la resistencia de muestras DAP, DARR y D50/50R	60
Figura 21 Variación de la resistencia respecto al tiempo para muestras DAP, DAR, D50/50, DARR y D50/50R.....	62
Figura 22 Dispersión de la resistencia de muestras DAR, D50/50, DAP, DARR y D50/50R	63
Figura 23 Fractura de muestras cilíndricas	65

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Concentraciones máximas permisibles de impurezas para concreto Normas ASTM C- 94 y NTC 3459	72
Anexo 2 Análisis de parámetros medidos por la PTAR Cañaveralejo para el año 2015 hasta abril del 2016	73
Anexo 3 Diseño de mezcla compuesta por PTAR Cañaveralejo.	91
Anexo 4 Metodología empleada en las pruebas fisicoquímicas entregadas por la PTAR Cañaveralejo.....	92
Anexo 5 Pruebas de Molisch, detección de pigmentos para presencia de algas y Yodimetría.	93
Anexo 6 Conversiones y relaciones de parámetros analizados de muestra de agua para mezcla de hormigón en comparación con norma ASTM C-94	96
Anexo 7 Resultados de ensayos granulométricos	101
Anexo 8 Información técnica y características de cemento Portland tipo 1 CEMEX para uso general	105
Anexo 9 Información técnica y características de aditivo TM – 20.....	106
Anexo 10 Fotos de cilindros después de prueba de rompimiento.....	108

LISTA DE ACRÓNIMOS

ART	Agua Residual Tratada
ART 50/50	Agua Residual Tratada diluida en un 50% con agua potable
AP	Agua Potable
ARTR	Agua Residual Tratada de 8 días de reposo
D50/50R	Diseño con agua residual tratada de 8 días de reposo y diluida en un 50% con agua potable
DART	Diseño con Agua Residual Tratada
D50/50	Diseño con agua residual tratada diluida en 50% con agua potable
DAP	Diseño con Agua Potable
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ST	Solidos Totales
SST	Solidos Suspendidos Totales
SD	Solidos Disueltos
SS	Solidos Sedimentables
SSV	Solidos Suspendidos Volátiles

GLOSARIO

Calor de hidratación: Es el calor liberado de las reacciones que producen el endurecimiento del cemento portland, por su reacción con el agua.

Fraguado: Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla.

Encofrado: Armazón formado por un conjunto de planchas metálicas o de madera convenientemente dispuestas para recibir el hormigón que, al endurecerse, forma las paredes de los edificios construidos con este material.

Curado: El fraguado es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos procedentes de la reacción química del agua de amasado con los óxidos metálicos presentes en el Clinker que compone el cemento.

RESUMEN

En esta investigación se plantea la elaboración y análisis del comportamiento de mezclas de hormigón preparado con agua residual tratada en un 100% y diluida al 50%, para determinar la influencia de sus constituyentes en la resistencia del concreto y su potencial uso en la industria de la construcción. Se seleccionó la planta de tratamiento primario avanzado “PTAR Cañaveralejo”, dispuesta con límites sobre la margen izquierda del río Cauca, aguas abajo, al nororiente de la ciudad de Cali, trata las aguas residuales provenientes de la ciudad. El agua efluente de la planta fue utilizada para preparar las mezclas de hormigón, estas fueron comparadas con una mezcla patrón realizada con agua potable proveniente del acueducto El Tablazo de la ciudad de Popayán. Los resultados de la calidad del agua residual tratada se encontraron en los límites establecidos por las normas ASTM C-94 y NTC 3459, a excepción de parámetro Materia Orgánica expresada como DQO y DBO₅. La resistencia de las mezclas realizadas con agua residual tratada diluida al 50% con agua potable alcanzaron un 100 % de resistencia a los 28 días, respecto a mezcla elaborada únicamente con agua potable (mezcla patrón); las mezclas realizadas con un 100% de agua residual tratada obtuvieron resistencias del 90 % a los 28 días respecto a mezclas elaboradas con agua potable. Se concluye que para la utilización de agua residual tratada, es recomendable la utilización de agua residual diluida en un 50% para realizar mezclas de hormigón y se debe hacer más ensayos sobre mezclas con uso total de agua residual tratada debido a que se encuentra en el valor límite de aceptación según norma INVIAS 630 de 2013. Mezclas similares se hicieron dejando el agua residual en reposo durante 8 días, obteniéndose resultados en resistencia similares a sus homólogos sin reposar. El agua reposada durante 8 días no afecta significativamente la resistencia del hormigón respecto a la no reposada. La materia orgánica, puede ser el constituyente que afecta fundamentalmente las propiedades de resistencia del hormigón, razón por la cual también se recomienda realizar más estudios dirigidos a ampliar esta investigación.

INTRODUCCION

La industria de la construcción es un importante contribuyente a la contaminación del aire, por cada tonelada de cemento producida, una tonelada de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (que contribuyen al calentamiento global), se libera a la atmósfera; también contribuye en el consumo de grandes cantidades de materiales naturales como el agua. (Naik, 2007)

El agua utilizada en la elaboración del hormigón y mortero por lo general debe ser apta para el consumo humano (agua potable), libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas. (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-resistente, 2010).

Sin embargo, las fuentes hídricas enfrentan diferentes problemáticas como la contaminación y la escasez. Este fenómeno se presenta debido al manejo irresponsable de los residuos domésticos e industriales y al abuso de este recurso; por otra parte, la carencia también es debida a los bajos niveles de precipitación o por insuficientes cuerpos de agua. Algunas zonas geográficas presentan escasez económica ya que, a pesar de la existencia de agua, no se cuenta con la infraestructura necesaria para aprovecharla. (Oviedo, 2011)

Al presentarse situaciones en donde el uso de agua potable es limitado, evidencia que la que la industria de la construcción, tendría que entrar en una competencia con la demanda de agua para el consumo humano, la agricultura, otras industrias, y demás. Dando origen a una problemática que debe ser analizada y buscar posibles soluciones.

El uso de agua residual tratada para la industria de la construcción se convierte en una solución alternativa, respaldada por investigaciones realizadas en varios lugares del mundo como California, Israel, Australia, Japón, Sudáfrica, Túnez y México donde la reutilización en este tipo de industria es una realidad más que una teoría. (Al-Ghusain & Terro, 2003)

Este documento contiene el informe de trabajo de investigación que consistió en el uso del efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) Cañaveralejo de la ciudad de Cali, como alternativa de mezcla en la elaboración de hormigón simple. El afluente cuenta con un tratamiento físico químico y biológico primarios de tipo avanzado, cuya calidad es aceptable ya que la mayoría de contaminantes contenidos en este efluente no superan los máximos permitidos de las normas que rigen el sobre la elaboración del hormigón.

1. ANTECEDENTES

Se han realizado trabajos de investigación sobre el uso de agua no potable, para realizar mezclas de hormigón, estas investigaciones se han realizado a nivel nacional e internacional:

A nivel Nacional:

Arraez (2013) en su trabajo denominado “Correlación entre los parámetros fisicoquímicos y la resistencia a la compresión del concreto elaborado con agua del río Magdalena”; realizó una observación sobre cuáles de los parámetros fisicoquímicos tenían real importancia con relación a la resistencia adquirida.

Dichos parámetros se evaluaron de acuerdo con los ensayos de calidad del agua contemplados en el Reglamento de Agua Potable y Saneamiento, RAS 2000; estos fueron: Potencial de Hidrogeno (pH), Alcalinidad, Carbonato de Calcio, Sulfatos, Cloruros, Hierro, Dureza, Conductividad, Turbidez y Aluminio. Los resultados mostraron que al momento de utilizar agua potable o patrón, las diferentes resistencias adquiridas estaban cerca del 97% al 98% de las establecidas en las diferentes normas utilizadas; en cambio al utilizar el agua proveniente del río las propiedades se encontraban en un rango entre el 66% al 80%.

Finalmente se concluyó que estos resultados son intolerables según los límites establecidos en las normas, y que no es conveniente la utilización de agua proveniente del río Magdalena en la fabricación de elementos estructurales.

Medina (2013) con la investigación “Concreto confeccionado con agua lluvia: Un aporte a la disminución del impacto ambiental generado por la industria de la construcción”; concluye que la elaboración del concreto con el uso de agua lluvia no afecta su resistencia y tiene valores semejantes a los elaborados con agua potable, esto podría contribuir al aprovechamiento de un recurso natural que en ocasiones se desperdicia.

A nivel Internacional:

Vázquez., *et al.*, (2001). Realizan una experiencia en México, “Comparación entre concretos elaborados con agua potable y concretos fabricados con agua residual tratada en Azcapotzalco”. Donde se utiliza agua de diferentes Plantas de Tratamiento de aguas residuales (PTAR), para evaluar la posibilidad de sustituir el agua potable en la elaboración de concreto, obteniéndose muy buenos resultados en la mayoría de las muestras, sin efectos negativos en la resistencia a la

compresión, por el contrario se obtuvieron incrementos entre el 10% y 40% a los 28 días.

Al-Ghusain &Terro, (2003) desarrolla la investigación “Uso de aguas residuales tratadas para la mezcla de concreto en Kuwait” donde pone a prueba la resistencia de cubos de hormigón elaborados con agua potable (A.P.), agua residual con tratamiento primario (A.R.T.P.), agua residual con tratamiento secundario (A.R.T.S.) y agua residual con tratamiento terciario (A.R.T.T.).

Gadzama., *et al* (2015). Investigación en Nigeria denominada “Efectos de agua residual de fábrica de azúcar como la mezcla de agua en las propiedades de hormigón de baja resistencia”; utilizando proporciones del 75% y 100% de agua residual y un 100% de agua potable.

Los resultados indican que se encontró un aumento en el tiempo de fraguado inicial en mezclas con aguas residuales. Cuando la duración de curado se extendió a 90 días, los cubos de hormigón producidos en porcentajes con agua residual superaron la resistencia del blanco (cubos con agua de mezcla de agua potable).

Narender., *et al* (2015). En India, la investigación denominada “El uso de aguas residuales domésticas tratadas como agua de mezcla en el mortero de cemento”; realizan diseños usando agua residual tratada en proporciones de 100%, 75% 50% y 25% complementariamente al agua potable.

Todos los morteros realizados con proporciones de agua residual no tuvieron efectos negativos significativos en la resistencia a la compresión puesto que alcanzaron niveles del 96% al 98% respecto a los morteros de agua potable, exceptuando los morteros realizados con 100% de agua residual tratada.

Concluye que ningún tipo de agua utilizado para la mezcla afectó el asentamiento del hormigón y la densidad. Sin embargo, encontró que los tiempos de fraguado aumentan con el deterioro de la calidad del agua. Las A.R.T.P. y A.R.T.S. tenían el mayor efecto en retardar el tiempo de fraguado para las edades de hasta 1 año y menores valores de resistencia respecto a A.R.T.T. (88%) en las edades tempranas de hormigón de 3 y 7 días, la resistencia del hormigón hecho con A.R.T.T. era más alta que la del hormigón hecho con A.P.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La práctica de la construcción es uno de los principales actores en el proceso de modificación del planeta y de contaminación, pues es un gran consumidor de recursos y generador de desechos. El 40% de las materias primas en el mundo, que equivalen a 3 000 millones de toneladas por año, son destinadas para la construcción, lo mismo sucede con el 17% del agua potable. (Acevedo *et al*, 2012)

El sector de la construcción desempeña un papel fundamental, como locomotora de desarrollo económico nacional. Sin embargo, este crecimiento ha hecho que exista una mayor demanda de materiales de construcción tales como: cementos en sus diferentes tipos, arenas, gravas o agregados y agua, siendo este último un componente de interés prioritario, ya que se especifica que para ser utilizada en la construcción por lo general debe ser potable (Norma INVIAS, 2013).

El sector de la construcción en Colombia en el año 2013 reportó un crecimiento del 9,8% respecto al año anterior, esta variación va de la mano con el crecimiento del PIB de edificaciones del 9,2% y a la variación del 10,4% en obras civiles. Así mismo para los años 2014-2015, se proyectó un aumento de este mercado en un 5% como mínimo, esta y más cifras son presentadas por el informe económico hecho por CAMACOL (Cámara Colombiana de la construcción CAMACOL, 2014).

Solo la industria de hormigón utiliza más de un billón de galones de agua cada año en todo el mundo, sin incluir el agua de lavado y curado (Meyer, 2004). Esto incide en una problemática actual y futura de déficit y racionamiento del recurso agua en el mundo.

Colombia no es la excepción, de acuerdo con la superintendencia de servicios públicos, la crisis de agua potable se extiende por todo el territorio nacional, debido a que en varias ciudades y áreas rurales las fuentes hídricas son deficientes y no pueden cubrir la demanda del servicio o por el contrario no se tienen acueductos. (Dirección General de Apoyo Fiscal MINHACIENDA, 2014).

Además, el fenómeno climático “El niño” ocasionó graves sequias a nivel nacional durante los primeros meses del año 2016. Para contrarrestar la escasez de precipitaciones y disminuir un despilfarro del 43% el Gobierno colombiano hizo un llamado al ahorro y uso eficiente del agua, implementando diferentes planes y estrategias para este fin. A pesar de las medidas tomadas, de los 1 100 municipios de Colombia, 238 sufrieron restricciones de agua. (El espectador, 2015)

3. JUSTIFICACION

El sector de la construcción en Colombia, conoce las consecuencias que genera su crecimiento, de esta manera la apuesta de los constructores es reducir entre 50% y 70% el consumo del recurso hídrico. Para lograrlo, están migrando hacia el uso de tecnologías y materiales más eficientes y que efectivamente garanticen el uso adecuado del mismo. (Cámara Colombiana de la Construcción CAMACOL, 2011).

Sin embargo, no basta solo el uso de materiales y tecnologías que usen menor cantidad de agua debido a que este sector, como se mencionó anteriormente, sigue creciendo a través del tiempo y recurrirá igual a un uso de agua potable; de esta manera es necesario buscar alternativas que eviten o reduzcan su uso en mezclas de hormigón.

La práctica habitual de utilizar agua potable para fabricar concreto u hormigón sin verificación previa, suponiendo que por el hecho de que toda agua potable que sirve para el consumo humano también es apropiada para elaborar este tipo de material, en ocasiones conduce a resultados negativos debido a la presencia de azúcares, que no afectan su índice de potabilidad, pero son inadecuadas para la fabricación de materiales como el concreto. (Medina, 2013)

Por lo anterior se puede concluir que es necesario conocer la presencia y concentración de sustancias en el agua de mezcla, que puedan afectar el hormigón. Para el agua residual tratada se debe verificar que las sustancias perjudiciales no superen los valores máximos permitidos según reglamentación propia del tema.

Esta investigación refleja el interés por demostrar la posibilidad del uso de agua residual tratada proveniente de la PTAR Cañaveralejo de la ciudad de Cali, en el proceso de elaboración del hormigón, esto como un aporte a la reutilización de este preciado recurso y hacia el desarrollo sostenible de la industria de la construcción.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Determinar los efectos en la resistencia a la compresión del hormigón simple elaborado con el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cañaveralejo.

4.2 Objetivos específicos

- Evaluar la viabilidad del uso del agua residual tratada en la Planta Cañaveralejo de Cali para mezclas de hormigón simple, analizando las características físico-químicas y biológicas del efluente tratado con respecto a las concentraciones máximas recomendadas para la elaboración de hormigón según las normas ASTM C-94 y NTC 3459.
- Comparar la resistencia del hormigón elaborado con agua residual tratada y el hormigón elaborado con agua potable.
- Determinar variaciones en la resistencia, por el uso directo de una muestra de agua residual tratada frente al uso de la misma después de 8 días de reposo.

5. MARCO TEORICO

5.1 DEFINICIÓN DE HORMIGÓN

Material de construcción constituido básicamente por rocas, de tamaño máximo limitado, que cumplen ciertas condiciones en cuanto a sus características mecánicas, químicas y granulométricas, unidas por una pasta aglomerante formada por un conglomerante (cemento) y agua. (Polanco y Setién, 2012)

Una característica importante del hormigón es poder adoptar formas distintas, a voluntad del proyectista. (Montoya, 2000)

5.2 CLASIFICACIÓN GENERAL DEL HORMIGÓN

De manera tradicional, el hormigón se ha clasificado según su resistencia a la compresión y según su peso unitario (Sánchez, 1987) estas clasificaciones se muestra en las tablas 1 y 2 respectivamente

Tabla 1. Clasificación del hormigón según resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión		Descripción
Kg / cm ²	p.s.i.	
70 – 350	1000 – 5000	Normal
420 - 1000	6000 – 14000	Alta resistencia
+ de 1000	+ de 14000	Ultra alta resistencia

Fuente: DIEGO SANCHEZ DE GUZMAN. Tecnología del concreto y el mortero. 1a ed. Bogotá 1987. P. 22

Tabla 2. Clasificación del hormigón según su peso unitario

Peso unitario Aproximado Kg / m ³	Descripción
500 – 2000	Concreto ligero
2100 – 2500	Concreto normal
2500 – 5600	Concreto pesado

Fuente: DIEGO SANCHEZ DE GUZMAN. Tecnología del concreto y el mortero. 1a ed. Bogotá 1987. P. 23

5.3 COMPONENTES DEL HORMIGÓN

Se dividen en dos grandes grupos, activos e inertes; los componentes activos son aquellos que producen al mezclarse la reacción química responsable del endurecimiento del hormigón (el agua y el cemento) y los componentes inertes son aquellos que dan volumen al hormigón abaratándolo (agregados: grava y arena) (Rojas., *et al*, 2013).

5.3.1 Agua en el hormigón

Es uno de los componentes esenciales en la mezcla de concreto, ya que entra en contacto con el cemento y proporciona propiedades de fraguado y de ese modo forma un sólido compacto con los agregados. Da propiedades de maleabilidad a la mezcla; dentro de la elaboración de concretos existen dos clasificaciones principales para el agua: de mezclado y de curado. (Sánchez, 1987)

5.3.1.1 Agua de mezclado Definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico. (Rivera, 2000)

- **Requisitos del agua de mezclado** Debe ser libre de sustancias que afecten de manera significativa la reacción de hidratación del concreto, los requisitos de calidad no tienen nada que ver con la parte bacteriológica, básicamente se refiere a las características fisicoquímicas (Diéguez, 2011). Dichos requisitos son los de la norma ASTM C-94 y la NTC 3459 de 2001, presentadas en el anexo 1.

5.3.1.2 Impurezas en el agua de mezcla del hormigón Se 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.

Diferentes investigaciones concluyen en que hay sustancias que pueden afectar las características de un hormigón, por ejemplo: en su consistencia en estado fresco o en su resistencia en estado sólido, pero estas sustancias influyen drásticamente cuando su concentración es alta, caso contrario, si su concentración es baja, es probable que no afecten las características normales de un hormigón. (American Society for Testing and Materials, ASTM C-94). Estas concentraciones máximas permisibles pueden apreciarse en el anexo 1. (Anexo 1. Valores recomendados para impurezas en el agua de mezclado para concretos).

5.3.1.3 Agua de curado Cantidad de agua requerida por el concreto una vez endurecido para alcanzar los niveles de resistencia para los cuales fue diseñado, este proceso es vital porque debido a situaciones como altas temperaturas, fuertes vientos entre otros, el concreto pierde agua.

5.3.1.4 Influencia de algunos componentes del agua residual tratada en las propiedades del hormigón A continuación se presenta la influencia de algunas

sustancias que se pueden encontrar en el agua residual en una mezcla de hormigón. Casi todas estas sustancias 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 hormigón.

- **Azúcares:** En cantidades iguales o superiores a 0,25 % en peso de cemento puede causar fraguado rápido y gran reducción de la resistencia a los 28 días. En concentraciones inferiores a 500 ppm, normalmente no presenta efecto nocivo sobre la resistencia, pero si la concentración supera este valor, se deben hacer ensayos de tiempo de fraguado y resistencia. (Carrasco, 2013)
- **Algas:** Pueden influir en la hidratación del cemento, provocar aire dentro del concreto y además reducir la adherencia entre el agregado y la pasta; causando reducciones en la resistencia del mismo, por lo cual no se recomienda que las aguas para la fabricación de concreto contengan algas. (Kosmatka *et al.*, 2009).
- **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).
- **Impurezas orgánicas:** El efecto de sustancias orgánicas sobre el tiempo de fraguado del cemento portland y sobre la resistencia última del hormigón es un problema muy complejo. Tales sustancias se pueden encontrar en aguas naturales. (Carrasco, 2013).
- **Sedimentos o partículas en suspensión:** Se pueden tolerar aproximadamente 5000 ppm de arcilla en suspensión o partículas finas de rocas en el agua de mezclado. Cantidades más elevadas, posiblemente, no afecten la resistencia pero pueden influenciar otras propiedades de algunos hormigones tales como la contracción por secado, tiempos de fraguado, durabilidad o aparición de eflorescencia. (Carrasco, 2013).
- **Potencial de hidrogeno (pH):** Es índice de una intensidad que, por debajo de 7,2 indica condiciones ácidas, y por encima de 7, indica condiciones alcalinas. Sin embargo, algunas normas tales como la del cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos estipulan un valor de pH entre 6 y 8. Las aguas ácidas con valores de pH por debajo de 3 deben ser evitadas. (Vásquez *et al.*, 2001).
- **Alcalinidad (carbonatos y bicarbonatos):** Los carbonatos y los bicarbonatos de sodio y potasio pueden causar efectos sobre el tiempo de fraguado en el hormigón. 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 hormigón. (Carrasco, 2013).

- **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 hormigón. (Carrasco, 2013)
- **Yodo, Fosforo, Arsénico y Boro:** Sales activas como Yodatos, Fosfatos, Arsenatos y Boratos de sodio afectan el desarrollo de la resistencia en concentraciones superiores a 10% del peso del cemento. Generalmente, concentraciones de estas sales de hasta 500 ppm pueden ser tolerables para el agua de mezclado. (Vásquez et al., 2001)
- **Sulfatos:** 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. (Dieguez, 2011)
- **Grasas y Aceites:** En las aguas residuales se encuentran aceites vegetales, animales y en menor cantidad aceites minerales sobre todo en aguas residuales domésticas, pueden reducir la resistencia en más del 20% cuando se tienen en concentraciones superiores a 2 g por cada 100 g de cemento. También podrían causar una dificultad de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados. (Kosmatka, 2009)
- **Plomo, Cromo, Zinc, Hierro y Mercurio:** Aunque dentro de las aguas residuales este tipo de elementos 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).

5.3.1.5 Agua residual doméstica

Son aguas de composición variable, provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera. (Resolución 1207, 2014).

5.3.1.6 Agua residual tratada Aguas procesadas en plantas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptor a que serán descargadas. (Resolución 1207, 2014).

5.3.2 El cemento

Es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

Los cementos están compuestos de diferentes materiales (componentes) que adecuadamente dosificadas mediante un proceso de producción controlado, le dan al cemento las cualidades físicas, químicas y resistencias adecuadas al uso deseado.

5.3.2.1 Tipos de Cemento.

En Colombia, la norma NTC 30 se da la siguiente clasificación y nomenclatura:

- **Cemento Portland tipo 1:** Es el destinado a obras de hormigón en general, al que no se le exigen propiedades especiales.
- **Cemento Portland tipo 2:** Es el destinado en general a obras de hormigón expuestas a la acción moderada de sulfatos y a obras en donde se requiere moderado calor de hidratación.
- **Cemento Portland tipo 3:** Es el que desarrolla altas resistencias iniciales.
- **Cemento Portland tipo 4:** Es el que desarrolla bajo calor de hidratación.
- **Cemento Portland tipo 5:** Es el que ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos.
- **Cementos Aluminosos:** Se caracterizan por sus propiedades de rápido fraguado y altas resistencias iniciales, son mucho más resistentes a la acción de aguas sulfatadas que los cementos portland tipo 2.
- **Cemento Portland Blanco:** Es el que se obtiene con materiales debidamente seleccionados que le confieren una coloración blanca.
- **Cemento de Escoria de Altos Hornos:** Es aquel que se obtiene mediante la pulverización conjunta de Clinker portland y escoria granulada finamente molida.
- **Cemento Siderúrgico Sulfatado:** Es aquel que se obtiene proporcionándole sulfato para producir cierto grado de resistencia a ciertos tipos de ácidos, posee buena resistencia a las aguas agresivas.

5.3.2.2 Composición de cemento portland tipo 1

En la tabla 3 se presentan los componentes principales del cemento portland común.

Tabla 3. Componentes principales del cemento Portland.

Nombre del compuesto	Composición del óxido	Abreviatura
Silicato tricálcico	3CaOSiO_2	C_3S
Silicato dicálcico	2CaOSiO_2	C_2S
Aluminio tricálcico	$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroatuminaotetracálcico	$4\text{CaOFe}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3$	C_4AF

Fuente: DIEGO SANCHEZ DE GUZMAN. Tecnología del concreto y el mortero. 1a ed. Bogotá 1987. P. 12

5.3.2.3 Propiedades fundamentales del cemento

- Fraguado y endurecido
- Finura del cemento
- Peso específico

5.3.3 Los agregados

Los agregados constituyen aproximadamente el 70% al 80% del volumen total del concreto. Deben presentar resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

5.3.3.1 Clasificación de agregados Se clasifican según el tamaño, procedencia y densidad. El tamaño se divide a su vez en agregado grueso: como la piedra triturada, canto rodado, y otros, el agregado fino como arena. La procedencia se divide en: Agregados Naturales o Artificiales, Piedra Triturada, Escoria Siderúrgica.

En densidad: Depende de la cantidad de masa por unidad de volumen y del volumen de los poros, ya sean agregados naturales o artificiales. Esta distinción es necesaria porque afecta la densidad del concreto (ligero, normal o pesado) que se desea producir.

5.3.4 Aditivos

Son aquellos ingredientes que se agregan antes del mezclado o durante el mismo, en los cuales se puede ejercer control sobre su dosificación y que se utilizan con el propósito fundamental de modificar convenientemente el comportamiento del

concreto en estado fresco, así como de inducir o mejorar determinadas propiedades deseables en el concreto endurecido. (Gonzales et al., 2005) Según su función se clasifican de la siguiente manera:

- Aditivos Inclusores
- Aditivos Reductores
- Aditivos Retardantes
- Aditivos Acelerantes
- Aditivos Superplastificantes

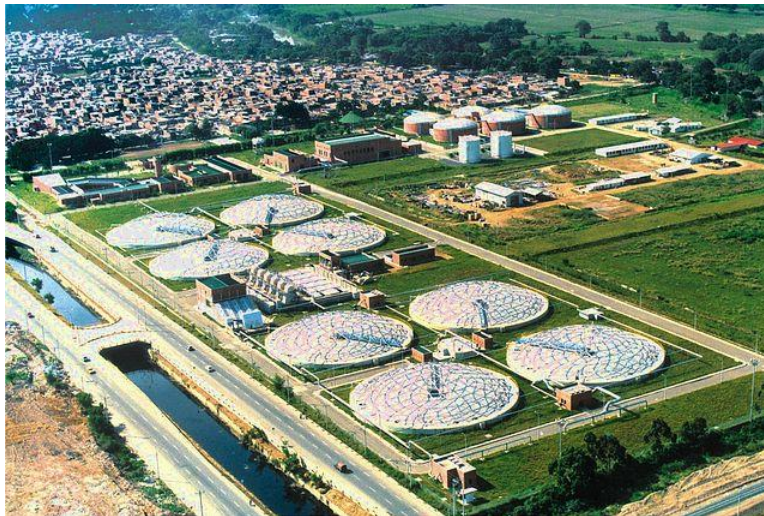
Plastiment TM 20: Es un aditivo líquido, color café oscuro, de gran poder retardante sobre el tiempo de fraguado del concreto y reductor de agua. No contiene cloruros. Extiende el tiempo de trabajabilidad y retarda el tiempo de fraguado de la mezcla de una forma considerable, facilitando el transporte, colocación, vibrado y acabado del concreto. Permite reducir hasta un 17% el agua de amasado (Zika, 2012).

6. METODOLOGIA

6.1 LUGAR DE RECOLECCION DE MUESTRA DE AGUA RESIDUAL TRATADA

El lugar de recolección es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cañaveralejo, tiene un terreno de 22 Ha, dentro del perímetro urbano de la ciudad Santiago de Cali, en el Departamento del Valle del Cauca. Este complejo de instalaciones se encuentra dispuesto con límites sobre la margen izquierda del río Cauca, aguas abajo, al nororiente de la ciudad, Cañaveralejo se encuentra ubicada en la Comuna 6 en el Barrio Petecuy como se observa en la foto 1. El agua residual tratada es de tipo doméstico proveniente de las residencias de la ciudad.

Figura 1. Vista superior de PTAR Cañaveralejo



Fuente: Google Maps

6.2 RECOLECCION DE INFORMACION DE PARAMETROS MEDIDOS POR PTAR

6.2.1 Evaluación de parámetros medidos por PTAR para el año 2015 y comienzos del 2016 respecto a norma ASTM C-94

Para determinar la viabilidad de usar el efluente tratado de la PTAR Cañaveralejo, se solicitó información de los resultados de los parámetros que se midieron en el año 2015 hasta abril del 2016. Esta información fue tratada mediante el programa Excel obteniéndose los valores máximo, mínimo, promedio, varianza, desviación y coeficientes de variación de cada mes.

Estos valores a su vez se evaluaron respecto a la norma ASTM C-94, pero antes se requirió de una estimación o de un proceso de conversión a sustancias específicas que la norma exige. Tal es el caso de:

Cloruros a Cloruro de Sodio, Cloruro de Magnesio y Cloruro de Calcio; Alcalinidad a Bicarbonatos; Sulfatos a Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio; hierro total a Cloruro de Hierro y Sulfato de Hierro.

Por otro lado, se analizó la presencia de Carbonatos a través de los valores de pH y Alcalinidad, por último la presencia de Hidróxidos y Ácidos fuertes con el pH.

Algunos parámetros se evaluaron directamente con la norma como es el caso de: Aceite mineral como Grasas y Aceites, pH, Materia Orgánica como DQO y DBO₅; y Partículas en suspensión como SST.

Finalmente los valores máximos, mínimos y promedio de las sustancias: Materia Orgánica (DQO y DBO₅); Partículas en suspensión (SST); pH; Bicarbonato (Alcalinidad); Aceite Mineral (Grasas y Aceites); Sales de Hierro (FeSO₄ y FeCl₃); Cloruros (NaCl, MgCl₂ y CaCl₂); se tabularon y graficaron junto con los valores máximos permisibles de la norma. Estas tablas y graficas se pueden apreciar en el anexo 2.

6.3 RECOLECCIÓN DE AGUA RESIDUAL TRATADA

La recolección del agua residual tratada fue de la cámara final y realizada por el personal de la PTAR durante las horas comprendidas entre las 3 pm del día lunes 4 de abril hasta las 9 am del día martes 5 de abril del 2016, en cada hora se tomaron 5 L de muestra. Una vez tomada cada muestra se almacenó en un cuarto frío a 4° C en el laboratorio de aguas dentro de la PTAR.

Se recolectaron 95 L para la mezcla compuesta, esta se llevó a cabo el día martes 5 de abril en la mañana en el laboratorio de aguas de la Planta; este proceso lo realiza un laboratorista propio de la PTAR basado en un programa de cálculo de autoría propia de la PTAR, como se aprecia en la figura 2. Las hojas de cálculo para realizar la composición se puede apreciar en el anexo 3.

Durante el proceso de homogeneización se perdió parte de la muestra (aproximadamente 8 L) por diferentes causas como la purga de contenedores, entre otros; finalmente se procedió a envasar muestras en 4 galones plásticos de aproximadamente 20 L cada uno, también en 5 recipientes de vidrio ámbar de capacidad de 1 L, dos de las muestras recolectadas en los recipientes de vidrio quedaron para los análisis que la planta realiza comúnmente.

Figura 2. Elaboración de mezcla compuesta de agua residual tratada



Fuente: Propia

Adicionalmente se dejó una muestra en un recipiente recolector de capacidad de 2 L el cual se dejó al aire libre durante 8 días dentro del laboratorio de aguas de la Planta, después de este tiempo se realizaron las respectivas pruebas de laboratorio en la PTAR, el documento con esta información fue entregado 15 días después de la recolección de las muestras.

Se partió hacia la ciudad de Popayán en horas de la tarde del día 5 de abril, transportando los 4 galones y 3 de los recipientes de vidrio ámbar; se arribó a Popayán y todas las muestras se dejaron en refrigeración nuevamente a 4°C en el laboratorio de Biología, ubicado en la facultad de ingeniería Civil de la Universidad del Cauca hasta el día siguiente.

6.3.1 Parámetros medidos y entregados por la PTAR Cañaveralejo

La PTAR Cañaveralejo realiza pruebas físico-químicas diarias al efluente tratado y que finalmente se vierten al río Cauca. Estos parámetros son: pH, DBO₅, DQO, S.T., S.S.T., S.S.V., S.S., S.D., Conductividad, Alcalinidad Total, Acidez, Cloruros, Detergentes Anionicos, Fenoles Totales, Cianuros Totales, Grasas y Aceites, Nitrógeno Total, Fosforo Total, Plomo Total, Cromo Total, Zinc Total, Hierro Total, Mercurio Total.

Para las muestras de agua empleadas para la elaboración del hormigón se solicitó adicionar la determinación del contenido de sulfatos

Respecto a la muestra de agua residual tratada y reposada (A.R.T.R) durante 8 días, los parámetros medidos fueron: pH, DQO, SST, Sulfatos, Plomo Total, Cromo Total, Zinc Total, Hierro Total y Mercurio Total.

Todos los parámetros fueron medidos de acuerdo al Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edición 22; excepto los parámetros de DQO y Mercurio total. Los nombres y unidades de los métodos utilizados de cada parámetro se pueden observar en el anexo 4.

6.3.2 Parámetros medidos y entregados por la PTAP El Tablazo.

Para la elaboración de mezclas de hormigón con agua potable, se usó el agua proveniente de la planta El Tablazo, que abastece el área del parque industrial. Este servicio es prestado por el Acueducto y Alcantarillado de Popayán

Se solicitó la información de los parámetros físico-químicos del agua potable del día que se realizó la mezcla de hormigón (6 de abril de 2016) los parámetros medidos fueron: Turbiedad, Color, pH, Alcalinidad Total, Dureza Total, Cloruros, Sulfatos, Hierro, Aluminio, Nitritos, Nitratos, Olor, Conductividad y Temperatura. No se especificó el método usado para cada parámetro.

6.4 ENSAYOS ADICIONALES PARA AGUA RESIDUAL TRATADA

El día miércoles 6 de abril en el laboratorio de Biología de la Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación y en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, se realizaron los siguientes ensayos: Prueba de Molisch para la detección de Azúcares, Detección de pigmentos para presencia de Algas y Prueba Yodimétrica para valorar sulfitos. En el Anexo 5 se encuentra el paso a paso de cada ensayo, así como en la Tabla 13 se muestran los resultados respectivos.

6.5 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS RESPECTO A LAS NORMAS ASTM C-94 Y NTC 3459

Los resultados de los parámetros medidos por la PTAR y PTAP de las muestras de agua para mezcla de hormigón, requirieron de estimación o conversión a sustancias específicas de las normas ASTM C-94 y NTC 3459, por tal razón se unifican los resultados y se presentan en las tablas 6 y 7, los cálculos respectivos a las conversiones se presentan en el anexo 6.

6.6 LUGAR DE ELABORACIONDE ENSAYOS A MATERIALES Y MEZCLAS DE HORMIGON

Premezclados Del Cauca, Predelca S. A. S., es una fábrica de concretos premezclados para la construcción de pavimentos, rellenos estabilizados, morteros y cualquier tipo de obra civil, garantizando el cumplimiento de las especificaciones técnicas de sus productos dosificados en planta computarizada. La figura 3 muestra las instalaciones de la empresa Predelca.

Figura 3. Premezclados del Cauca, Predelca S.A.S.



Fuente: Propia

La empresa se encuentra ubicada en el Parque Industrial Manzana A, lote 2, en la ciudad de Popayán en el Departamento del Cauca. Por su experiencia y conocimiento, esta empresa se convirtió en un gran aliado del desarrollo de esta investigación.

6.7 ENSAYOS DE LABORATORIO A LOS AGREGADOS

Los agregados (arena y grava) fueron aportados por Predelca, este material es comprado a la empresa CONEXPE, que lo extrae de canteras aledañas a la ciudad de Popayán.

6.7.1 Ensayo granulométrico para arena

Equipos e instrumentos: Juego de tamices de tamaño: 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100 y No. 200; balanza electrónica, cepillo, estufa, contenedores de aluminio con capacidades: 10 Kg, 20 Kg y 50 Kg

Procedimiento: Se realizó cuarteo a una muestra de 10 Kg de arena hasta reducir a 1 Kg, esta muestra se vertió a un contenedor y se procedió a lavar cuidadosamente este material con agua de grifo, se puso a secar en estufa hasta

secado total, se repitió el lavado y secado de la muestra hasta que el agua de lavado estuvo lo más transparente posible.

Después del último secado, se reposó y pesó nuevamente la muestra este valor se anotó para posteriores cálculos. Inmediatamente se procedió a tamizar la muestra empezando con el tamiz de 3/8", el material retenido en el tamiz se trasvasó a un recipiente el cual se pesó en una balanza electrónica, se anotó el valor de este peso.

El material pasante del tamiz 3/8" se trasvasó al tamiz No. 4 de nuevo se pesó y anotó el valor de material retenido, este proceso se realizó sucesivamente hasta el último tamiz, el No. 200.

6.7.2 Ensayo granulométrico para grava

Equipos e instrumentos: Se utilizan los mismos equipos e instrumentos del ensayo granulométrico de la arena, pero con juego de tamices de tamaño: 1½", 1", ¾", ½", 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100 y No. 200

Procedimiento: Se realizó cuarteo a una muestra de 50 Kg de grava hasta reducir a 5 Kg, en adelante se realiza el mismo proceso que se explicó anteriormente en el ensayo granulométrico de la arena. El tamizado se realiza con el respectivo juego de tamices; los valores del peso de material retenido por cada tamiz deben anotarse también.

6.7.3 Curva granulométrica

Los resultados de cada ensayo se tabularon y se determina el porcentaje de material pasante respecto al peso del material total que fue lavado y secado repetidas veces. Con la información del porcentaje de material retenido se obtiene el porcentaje acumulado de material retenido y el porcentaje de material pasante.

Los porcentajes de material pasante se grafican con los de tamaño de tamiz usados en cada ensayo (tamaño de tamiz en milímetros), esta grafica se denomina curva granulométrica. Adicionalmente se puede determinar el módulo de finura, el tamaño máximo y máximo nominal del agregado respectivo. Esta información se presenta en el anexo 7.

6.8 CEMENTO Y ADITIVO PARA ELABORACIÓN DE MEZCLA DE HORMIGON

Para las mezclas de hormigón se usó cemento Portland tipo 1 de marca CEMEX, este cemento el más común y usado en construcciones simples. Las características de este tipo de cemento se encuentran en el anexo 8.

EL aditivo TM-20 se usó en todas las mezclas de hormigón. Las características del aditivo se presentan en el anexo 9.

6.9 PROPORCIONES DE AGUA EN LAS MEZCLAS

La tabla 4 muestra las proporciones en cantidad de agua, esto genera tres tipos de mezcla de hormigón que se realizaron.

Tabla 4. Tipo y proporciones de agua de mezcla

N° de mezcla	Proporciones en cantidad de agua	Cantidad de cilindros
Mezcla 1	100% Agua Potable (A.P.)	6
Mezcla 2	50% de Agua Residual Tratada más 50% de Agua Potable (50% A.R.T. / 50% A.P.)	6
Mezcla 3	100% de agua Residual Tratada (A.R.T.)	6

Estas mezclas solo difieren en las proporciones de agua indicadas, la cantidades en peso de los materiales fue igual para cada mezcla.

6.10 DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN

El diseño de mezcla es aportado por Predelca, este diseño constó de dos fases, la determinación de la humedad en los agregados y la cantidad de materiales. Estas fases se detallan a continuación:

6.10.1 Determinación de la humedad en agregados

Se tomó una muestra de 1000 g de grava, se constató este peso con una balanza electrónica, se secó en estufa hasta secado completo aparente, se dejó en reposo hasta enfriar y se procedió a pesar nuevamente. Este proceso se repitió para la arena pero con una muestra de 500 g.

6.10.2 Cantidad de materiales usados en mezcla de hormigón

Con la información obtenida de humedad en los agregados, estos valores se introdujeron en un programa para diseño de mezcla con el cual cuenta Predelca, el programa arroja la cantidad en peso de los materiales que se usó para realizar las respectivas mezclas.

6.11 PREPARACION DE LAS MEZCLAS Y CILINDROS DE HORMIGÓN

Se pesaron todos los materiales hasta llegar a los valores indicados del diseño, para este proceso se usa una maquina mezcladora. Los materiales se agregan en la maquina en el siguiente orden; primero se agregó arena con la grava y se encendió la máquina, el tiempo de mezcla es de un minuto; se agrega el cemento

y nuevamente se encendió la maquina durante un minuto aproximadamente, este proceso en su orden es para homogenizar los materiales en la mezcla.

El agua previamente pesada, se agregó gradualmente a la mezcla homogenizada dentro de la máquina; la adición de agua se realizó con la máquina en funcionamiento durante 3 minutos. Al finalizar la adición de agua, con la mezcladora en funcionamiento se agregó el aditivo líquido TM-20 lentamente de forma pareja por toda la mezcla.

Figura 4. Maquina mezcladora de hormigón



Fuente: Propia

6.11.1 Prueba de asentamiento

Al obtener la mezcla de hormigón fresco, se procedió a realizar la prueba de asentamiento para lo cual se empleó el cono de Abrams, una varilla metálica o “punzón”, palustre y una cinta métrica. Como se muestra en la figura 5.

Se procedió a llenar el cono de Abrams con la mezcla, se realizó el llenado en tres capas, al final de cada capa de llenado se “punzó” 25 veces con la varilla en forma circular alrededor de todo el cono en forma consistente, en las dos últimas etapas, se tuvo cuidado de que la varilla no penetrara en las capas anteriores, quedó exceso de mezcla en la orilla del cono, el cual se emparejó con la varilla

Figura 5. Prueba de asentamiento



Fuente: Propia

Una vez terminado este proceso, se retiró cuidadosamente el cono, el cono se giró y sirvió como punto base de medición de la altura de mezcla. La altura recomendada por Predelca fue de 15 cm, cuando se midió esta la altura obtenida fue inferior a los 15 cm, de esta manera se corrigió adicionando más agua y se mezcló nuevamente, hasta que se llegó a este valor.

6.11.2 Encofrado o llenado de moldes cilíndricos.

Se procedió a llenar los cilindros previamente limpiados y lubricados con ACPM en tres capas y con cuidado de no punzar la capa anterior, al final de cada capa se dio golpes suaves alrededor del molde con un martillo de goma para que la mezcla se compactara y rellenaran posibles espacios de aire. Se enrasó con la varilla y se emparejó con el palustre. Como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Llenado de moldes



Fuente: propia

Se rotularon con las fechas de elaboración y de rotura, hora de mezcla, tipo de mezcla y temperatura medio-ambiental; se dejaron en un espacio nivelado y protegido de la lluvia e intervenciones que puedan deformar la mezcla.

Pasadas 24 horas, se desencofraron y se dejaron en un tanque de inmersión y almacenamiento hasta su respectivo día de prueba de resistencia.

6.12 DISEÑO DE CILINDROS DE HORMIGON CON AGUA RESIDUAL DE REPOSO

Parte de la muestra de agua residual tratada se dejó en reposo durante 8 días (A.R.T.R.), en un galón plástico al aire libre dentro del laboratorio de Predelca, desde el día 5 de abril, pasado este periodo de tiempo se utilizó esta agua para elaborar los tipos de mezcla que se presentan en la tabla 5. No se realizó mezcla con agua potable en un 100%, se usó como referencia la mezcla de agua potable anteriormente realizada.

Tabla 5. Tipo y proporciones de agua en reposo para mezcla

N° de mezcla	Proporciones en cantidad de agua	Cantidad de cilindros
Mezcla 1	50% de Agua Residual Tratada en Reposo más 50% de Agua Potable (50% A.R.T.R. / 50% A.P.)	5
Mezcla 2	100% de agua Residual Tratada en Reposo (A.R.T.R)	5

6.13 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

El ensayo consistió en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados, con una velocidad gradual y continua, hasta que se presente la falla, la resistencia a la compresión se determina dividiendo la máxima carga aplicada durante el ensayo entre la sección transversal del cilindro (área circular del cilindro).

La máquina de compresión funciona con electricidad pero a su vez requiere de un monitor para que la manipule, posee una palanca metálica que al ser movida arriba y abajo aplica gradualmente la fuerza al cilindro o muestra a ensayar, esta fuerza es expresada por la maquina en unidades de Kilonewtons (KN).

El movimiento de la palanca no debe ser brusco, ni muy rápido o muy lento, basta con tener la palanca a la altura del hombro y hacer breves movimientos con intervalos de 1 segundo en forma continua, por ninguna circunstancia se debe de tener este proceso hasta que ocurra el fallo del cilindro de hormigón.

Las pruebas de compresión se realizaron a los 7, 14 y 28 días para las mezclas generales, a cada día le correspondió respectivamente dos cilindros de muestra por cada tipo y proporción de agua de mezcla realizada.

Para las mezclas de agua residual tratada en reposo de 8 días, se realizaron pruebas de resistencia a los 7, 28 y 56 días. A los 7 y 28 días le correspondió respectivamente dos cilindros por cada tipo y proporción de agua de mezcla. A los 56 días le correspondió un solo cilindro respectivamente por cada tipo de agua de mezcla.

Los moldes usados en la elaboración de cilindros de hormigón, en teoría deberían ser iguales para que todos los cilindros tengan exactamente las mismas dimensiones; en la práctica no es raro encontrar algunos moldes con leves variaciones, sobre todo si se utilizan con demasiada frecuencia, estas variaciones afectan en el resultado de la prueba, es por esto que antes de realizar las pruebas de compresión se midieron los perímetros de todos los cilindros.

En primera instancia se calculó el área de la cara circular de los cilindros donde se ejerce la fuerza por parte de la máquina, se usan ecuaciones básicas de perímetro y área de una circunferencia para obtener finalmente:

$$\text{Area de circunferencia (cm}^2\text{)} = \frac{(\text{Perimetro de circunferencia (cm)})^2}{4 * \pi}$$

La fuerza medida por la maquina está en unidades de KN (Kilonewtons), los cuales deben ser convertidos a Kf (Kilogramos Fuerza) con la siguiente relación:

$$1 \text{ KN} = 101,97 \text{ Kf}$$

La presión ejercida se expresa entonces:

$$\text{Presión ejercida } \left(\frac{\text{Kf}}{\text{cm}^2} \right) = \frac{\text{Presion ejercida por maquina (Kf)}}{\frac{(\text{Perimetro de circunferencia (cm)})^2}{4 * \pi}}$$

La presión ejercida en unidades de Kf/cm² puede ser expresada en P.S.I. con la siguiente relación:

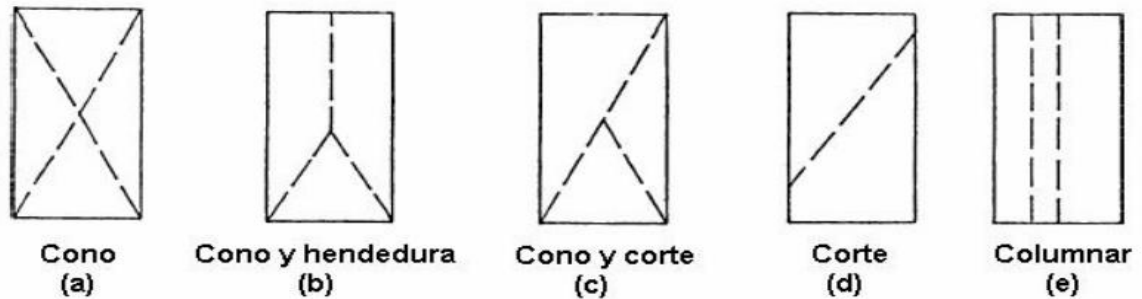
$$1 \text{ Kf/cm}^2 = 14,22 \text{ P.S.I.}$$

6.13.1 Tipos de fracturas

La forma en que se rompen o fracturan los cilindros indica si la fuerza ejercida sobre este fue distribuida uniformemente, indica un buen procedimiento tanto en la

elaboración de la mezcla y composición de buenos materiales. El tipo de fractura que indica lo anterior es aquel que se produce en un ángulo de 45° desde el extremo superior o inferior del cilindro. Como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Tipos de fracturas



Fuente: DIEGO RIVERA. Concreto simple. Capítulo 6.P. 140

6.13.2 Aprobación del agua de mezcla según Norma INVIAS 630 del 2013

Se considera adecuada el agua que cumpla los requisitos establecidos en el numeral 500.2.1.3 del Artículo 500, que a su vez define, cuando se empleen otras fuentes o cuando se mezcle agua de dos o más procedencias, el agua deberá ser calificada mediante ensayos. La Resistencia a compresión, en un mínimo de control a 7 días es del 90%.

El requisito de resistencia a compresión se refiere al porcentaje mínimo de resistencia a compresión a veintiocho (28) días de una mezcla de concreto con el agua que se desea emplear, respecto de otra elaborada con los mismos agregados y cemento, en las mismas proporciones, pero empleando un agua calificada.

6.14 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La unidad experimental de esta investigación fueron los cilindros elaborados con cada tipo de agua, las variables de respuesta son los valores de resistencia a la compresión, el factor de tratamiento es la proporción y tipo de agua usados.

Los análisis estadísticos fueron realizados mediante el software estadístico SPSS versión 21 y Microsoft office Excel 2013. A los porcentajes de resistencia alcanzados por las muestras se les realiza: Graficas que describen su desarrollo a través del tiempo comparando siempre con la muestra patrón, diagrama de cajas para apreciar la variación entre muestras del mismo tipo y prueba Duncan para determinar semejanza entre cilindros.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 VIABILIDAD DEL USO DE AGUA RESIDUAL TRATADA PARA MEZCLAS DE HORMIGÓN

Las figuras, de la 8 a la 13 muestran el comportamiento de las concentraciones de las principales sustancias contaminantes presentes en el agua residual tratada durante poco más de un año. En el anexo 2 se amplía aún más esta información.

Figura 8. Materia orgánica como DQO

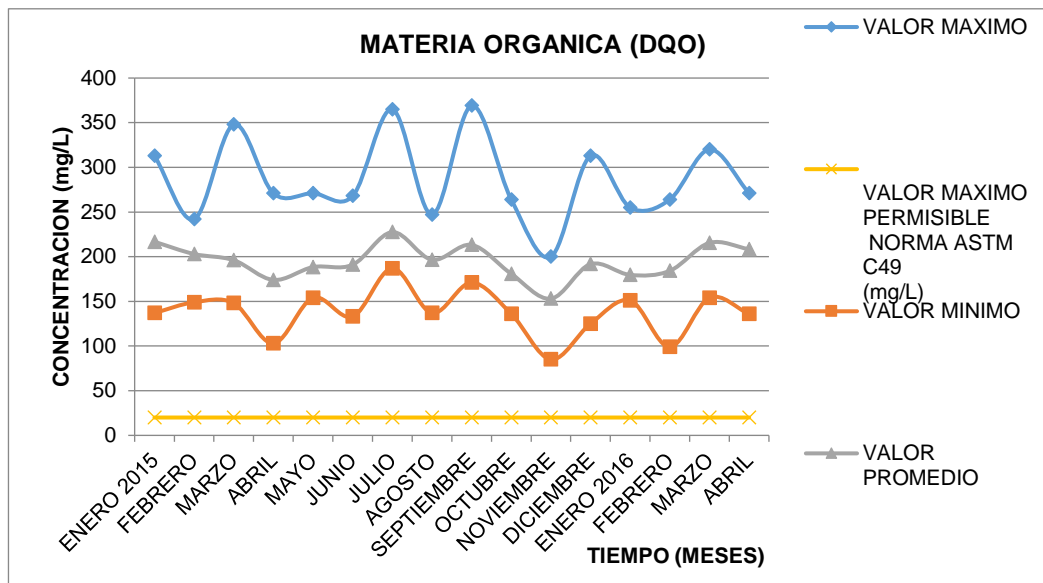


Figura 9. Materia orgánica como DBO5

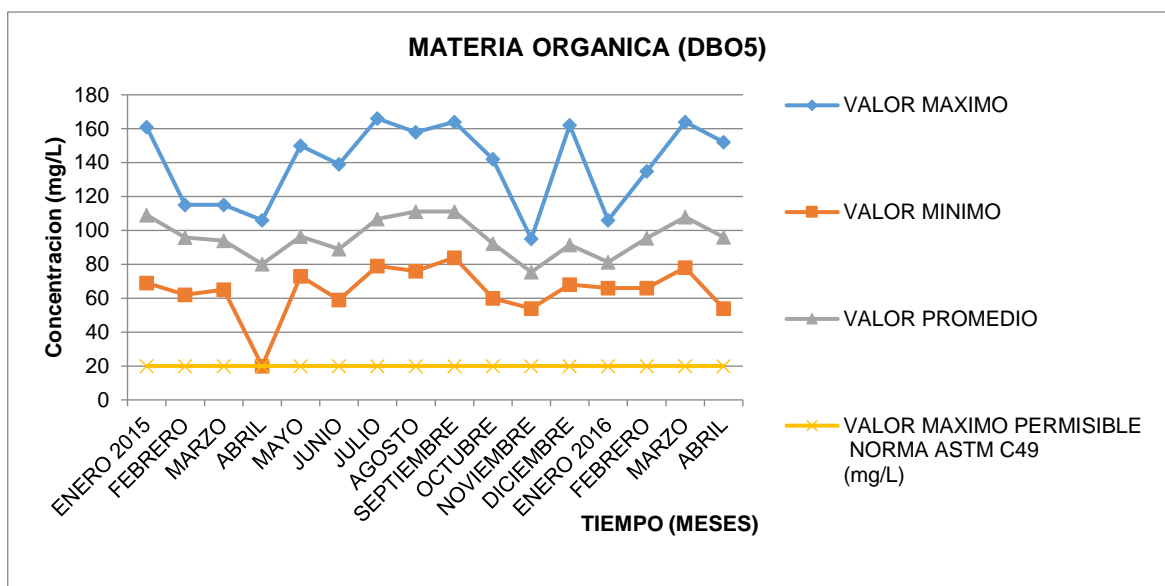


Figura 10. Partículas en suspensión

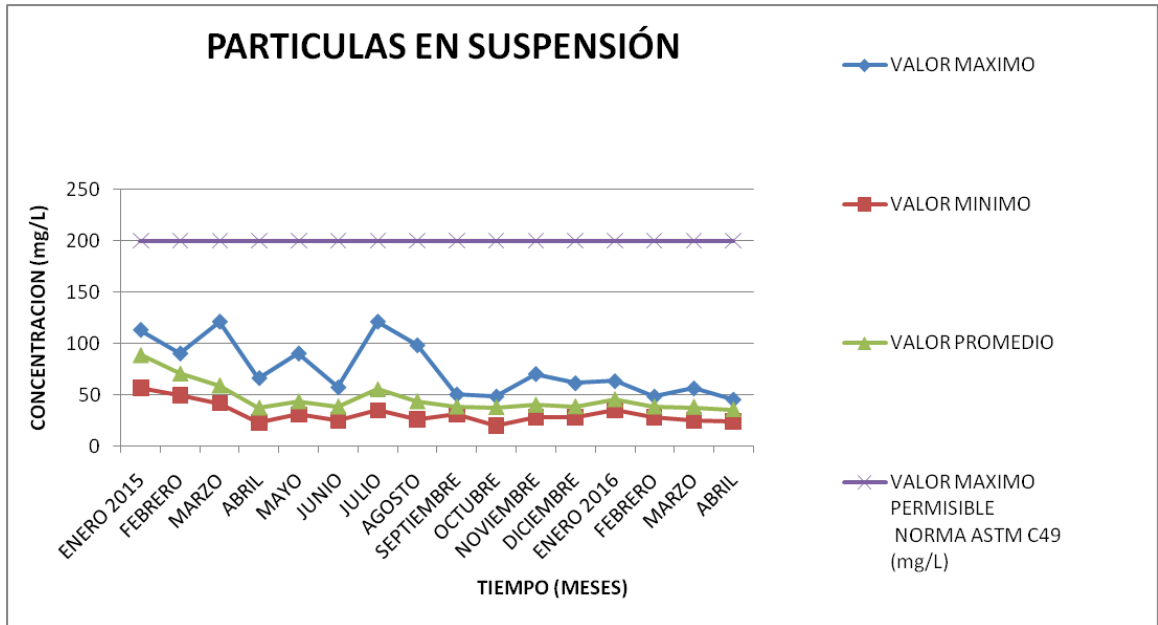


Figura 11. pH

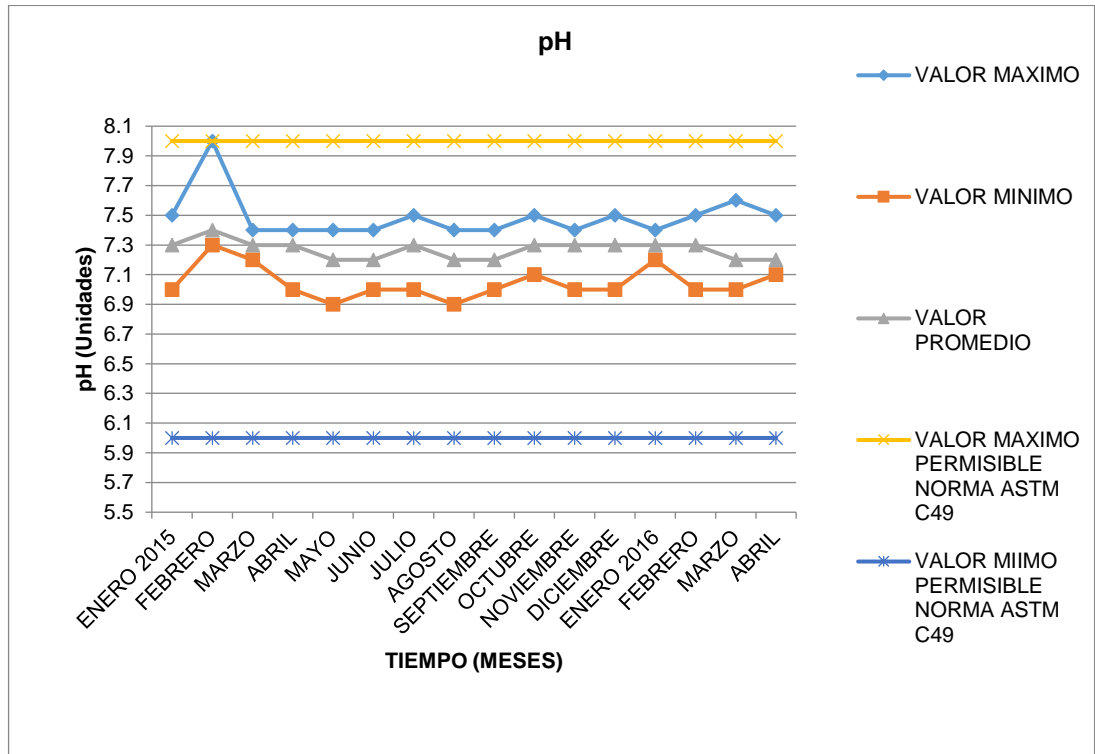


Figura 12. Bicarbonatos

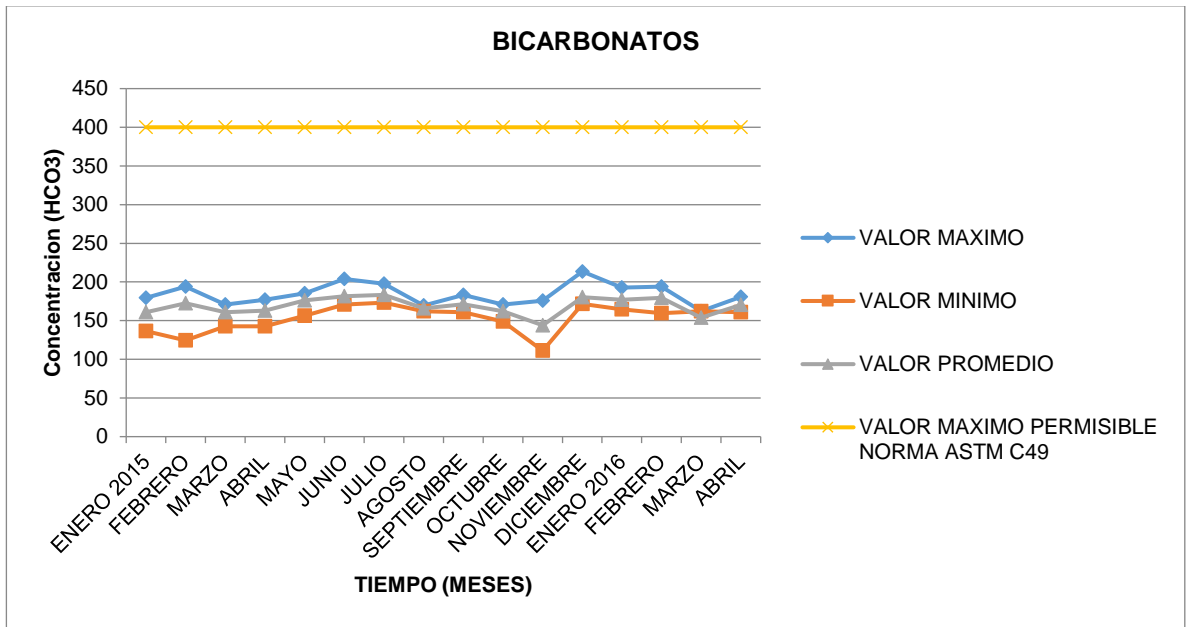
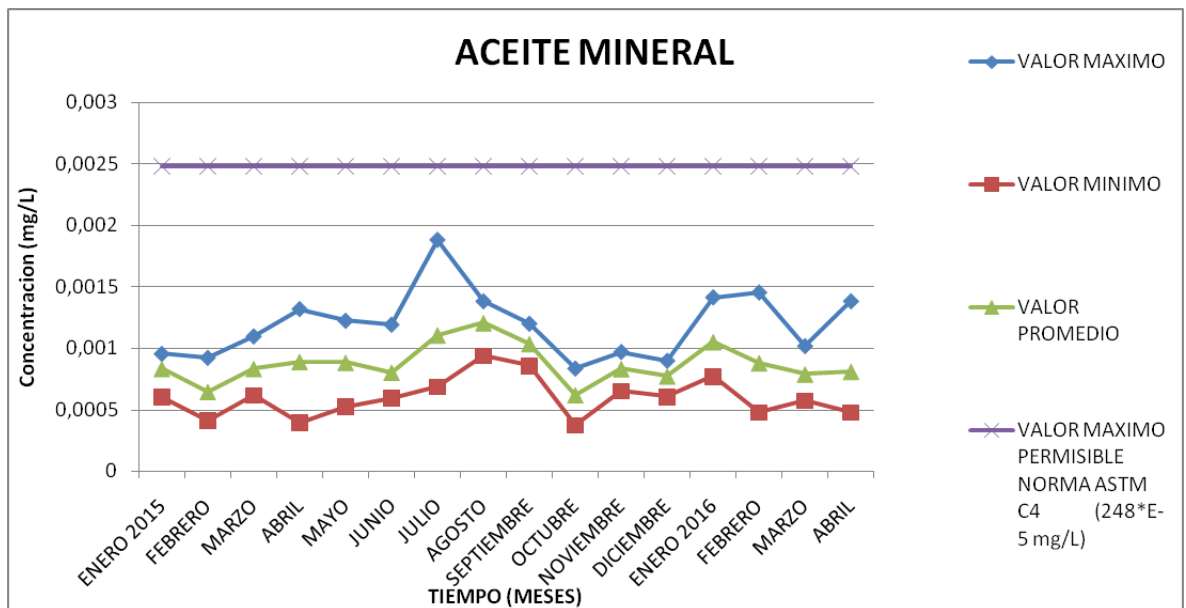


Figura 13. Grasas y Aceites como Aceite Mineral



La materia orgánica, expresada como DQO y DBO5, durante el periodo de tiempo analizado estuvo por encima del valor máximo admisible en las norma ASTM C-94, analizando la concentración de DQO se mira que esta supera hasta 11 veces al valor máximo permisible. Respecto a la norma NTC 3459 no especifica valores directos de comparación respecto a materia orgánica y solicita hacer pruebas directas sobre cubos de mortero.

Estas sustancias analizadas son primordiales y en su mayoría cumplen conforme las normas base de esta investigación, en esta instancia, si el afluyente mantiene este comportamiento podría tener un potencial uso para elaborar mezclas de concreto.

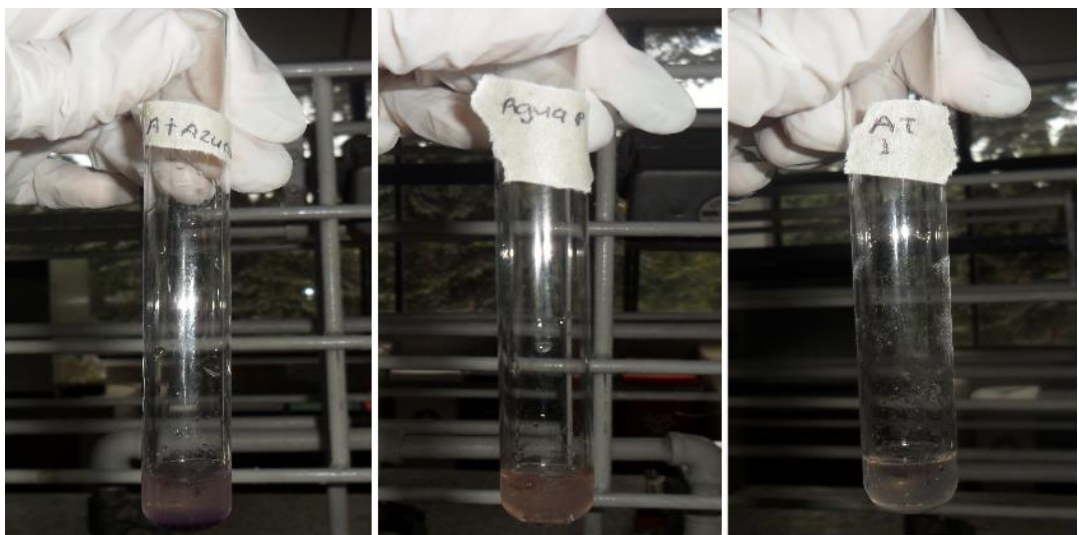
Como la materia orgánica es el único parámetro que no cumple con las normas, se abre camino para realizar esta investigación empleando agua residual tratada de este tipo en mezclas de hormigón y comprobar su resistencia a través de pruebas de resistencia a la compresión, para cilindros elaborados con muestras de este efluente.

7.2 DETECCIÓN AZUCARES, ALGAS Y SULFITOS

7.2.1 Detección de azúcares mediante la prueba de Molisch

En la Figura 17 se aprecia de izquierda a derecha la coloración resultante de las pruebas correspondientes a: muestra patrón de agua con azúcar común, agua potable y agua residual tratada.

Figura 14 Comparación de reacción de Molisch entre muestras



Fuente: propia

En la muestra patrón se aprecia la coloración característica en la interfase (morado), indicando la presencia de azúcares, en las muestras subsiguientes no hay coloración, poniendo en evidencia la ausencia de azúcares. Concluyendo que el valor de concentración de azúcares es cero, cumpliendo con lo estipulado en las normas ASTM C-94. La norma NTC 3459 no especifica un valor directo solo advierte de su presencia en altas concentraciones.

Este resultado se debe a que los microorganismos presentes, por lo general bacterias, en aguas residuales consumen rápidamente los azúcares en su metabolismo, las cuales son fácilmente degradadas, comparados con proteínas, grasas y aceites (Ingeniería de aguas residuales, 2000)

7.2.2 Yodimetría para detección de sulfitos

La muestra de agua residual tratada, presento viraje inmediatamente después de caer una gota de titulante (equivalente a 0.001 mL), esto indica una concentración mínima de sulfitos, asumida como menor a 0,001 mg/L.

Como el agua residual tratada es bombeada y conducida turbulentamente antes y después de la PTAR, esto ayuda a la oxigenación y como consecuencia los sulfitos al entrar en contacto con el oxígeno se oxidan a sulfatos como lo indica la prueba.

Los estados de oxidación inorgánicos más comunes en los que se encuentra el azufre en el medio ambiente varían desde el estado más reducido, -2 , característico de todos los sulfuros (S^{2-} , incluido naturalmente el H_2S), hasta el más oxidado, $+6$, característico de los sulfatos (SO_4^{2-} , entre los que se encuentra por supuesto el H_2SO_4). (Salas, 2005)

7.2.3 Detección de pigmentos- algas

La figura 18 muestra las placas resultantes del proceso de detección de algas.

En la placa derecha la muestra de *tradescantia* con líneas color rojo característico de la presencia de algas, en la placa izquierda la muestra de agua residual tratada con pocos pigmentos rojizos indica que hay presencia de estas pero en una mínima concentración. Por tal razón la concentración de algas se asume como despreciable.

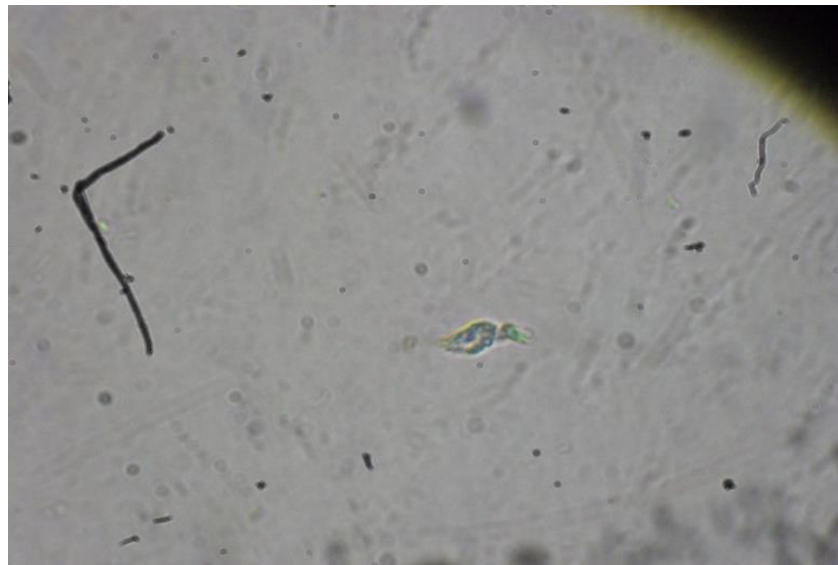
La observación al microscopio en la figura 19 de agua residual tratada muestra la presencia de Microalgas filamentosas con coloración verde - azulada característica, también hubo presencia de residuos vegetales y otros microorganismos.

Figura 15. Comparación de placas cromatográficas con muestras de ART y tradescantia



Fuente: Propia

Figura 16. Microalga filamentosa observada en microscopio óptico



Fuente: Propia

En el proceso de hidratación del cemento contenido en el hormigón puede alcanzar rápidamente temperaturas hasta los 30°C y pH superiores a 12 unidades es por esto, que los microorganismos y particularmente algas contenidas en el agua de mezcla en su mayoría mueren en el transcurso de esta fase.

Lo anterior permite concluir que no habría efectos como la eflorescencia en el hormigón, que es ocasionada por la presencia de algas.

7.3 UNIFICACION DE PARAMETROS MEDIDOS POR PTAR, PTAP Y ENSAYOS

Los resultados de la calidad de agua obtenidos por parte de la PTAR, la PTAP y los ensayos adicionales realizados al agua empleada en las muestras de hormigón se presentan en la tabla 6.

Tabla 6 Unificación de parámetros medidos por la PTAR, PTAP y ensayos

ENSAYO	UNIDAD	MUESTRA DE A.R.T. (fecha de ejecución: 06-04-2016)	MUESTRA DE A.R.T.R.DE 8 DÍAS DE COMPOSICIÓN Y ALMACENADA A TEMPERATURA AMBIENTE (fecha de ejecución: 13-04-2016)	MUESTRA DE A.P. (fecha de ejecución: 06-04-2016)
pH	Unidades	7,31	7,57	6,8
DBO ₅	mg O ₂ /L	128	N.A	-
DQO	mg O ₂ /L	302	111	-
S.T.	mg/L	347	-	-
S.S.T.	mg/L	62	62	-
S.S.V.	mg/L	38	-	-
S.S.	mL/L	0,1	-	-
S.D.	mg/L	285	-	-
Conductividad	µS/cm	553,3	-	90,5
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	138	-	16,4
Acidez	mg CaCO ₃ /L	13	-	-
Cloruros	Mg Cl /L	48,8	-	6.0
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	65,6	64,8	16,37
Detergentes Anionicos	mg SAAM/L	4,60	-	-
Fenoles Totales	mg Fenol /L	<0,006	-	-
Cianuros Totales	mg/L	<0,003	-	-
Grasa y Aceites	mg/L	10,2	-	-
Nitrógeno Total	mg N/L	25,4	-	-
Fosforo Total	mg P/L	2,9	-	-
Plomo Total	mg/L	<0,17	<0,17	-
Cromo Total	mg/L	<0,081	<0,081	-
Zinc Total	mg/L	0,202	0,171	-
Hierro Total	mg/L	1,60	3,98	0,138
Mercurio Total	mg/L	0,00010	0,00031	-

ENSAYO	UNIDAD	MUESTRA DE A.R.T. (fecha de ejecución: 06-04-2016)	MUESTRA DE A.R.T.R.DE 8 DÍAS DE COMPOSICIÓN Y ALMACENADA A TEMPERATURA AMBIENTE (fecha de ejecución: 13-04-2016)	MUESTRA DE A.P. (fecha de ejecución: 06-04-2016)
Sulfitos	mg/L	<0,001	-	<0,001
Microalgas	-	0	-	0
Presencia de Azúcares	-	0	-	0
Turbiedad	NTU	-	-	1,9
Color	UPC	-	-	5,9
Dureza Total	mg/L	-	-	24,0
Nitratos	mg/L	-	-	0,191
Nitritos	mg/L	-	-	0,006
Cloro residual	mg/L	-	-	0,7
Olor	-	No aceptable	No aceptable	Aceptable

7.4 RESULTADOS DE CONVERSIÓN PARA PARÁMETROS DE PTAR Y PTAP

La tablas 7 y 8, muestra los resultados de comparación de los valores de impurezas obtenidas de las plantas de tratamiento de agua residual y potable con respecto a valores máximos permisibles de impurezas según las normas ASTM C-94 y NTC 3459. Los cálculos pertinentes de las conversiones y obtener los siguientes valores se presentan en el anexo 6.

Tabla 7 Evaluación de contaminantes medidos en PTAR, PTAP y ensayos respecto a normas ASTM C - 94

IMPUREZAS DETERMINADA POR ASTM C-94	VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS POR ASTM C-94 (ppm)	VALORES MEDIDOS EN PTAR CAÑAVERALEJO (A.R.T.) (ppm)	VALORES MEDIDOS EN PTAR CAÑAVERALEJO (A.R.T.R.) (ppm)	VALORES MEDIDOS EN PTAP EL TABLAZO (ppm)
Carbonato de Sodio y Potasio	1000	N.D.	N.D.	N.D.
Cloruro de sodio	20000	80,45	-	9,89
Sulfato de sodio	10000	97	95,85	24,21
Sulfato SO4	3000	65,6	64,8	16,37
Carbonato de	400	84,18	-	10,00

Ca y Mg como ion bicarbonato					
IMPUREZAS DETERMINADA POR ASTM C-94	VALORES MAXIMOS PERMITIDOS POR ASTM C-94 (ppm)	VALORES MEDIDOS EN PTAP CAÑAVERALEJO (A.R.T.) (ppm)	VALORES MEDIDOS EN PTAP CAÑAVERALEJO (A.R.T.R.) (ppm)	VALORES MEDIDOS EN PTAP EL TABLAZO (ppm)	
Cloruro de magnesio	40000	65,52	-	8,06	
Sulfato de magnesio	25000	82	81	20,46	
Cloruro de Calcio (por peso de cemento en concreto)	2%	0,0060 %	-	0,00074 %	
Sales de Hierro	40000	Como sulfato de Hierro 4,35	Como sulfato de Hierro 10,83	Como sulfato de Hierro 0,38	
Yodato, Fosfato, Arsenato y Borato de Sodio	500	-	-	-	
Sulfito de Sodio	100	0	0	0	
Ácido Sulfúrico y ácido clorhídrico	10000	0	0	0	
pH	6.0 a 8.0	7,31	7,57	6,8	
Hidróxido de sodio (por peso de cemento concreto)	0.5%	0	0	0	
Hidróxido de potasio (peso de cemento en concreto)	1.2%	0	0	0	
Azúcar	500	0	0	0	
Partículas en suspensión	2000	Como S.S.T. 62	Como S.S.T. 62	Turbiedad. 1,9	
Aceite Mineral (peso de cemento en concreto)	2%	Como Grasas y Aceites 0,00081%	-	-	
Agua con algas	0	0	-	0	
Materia orgánica	20	Como D.Q.O. 302	Como D.Q.O. 111	Turb. 1,9	Color 5,9
		Como D.B.O ₅ . 128	Como D.B.O ₅ . -		

Tabla 8 Evaluación de contaminantes medidos en PTAR, PTAP y ensayos respecto a norma NTC 3459

IMPUREZAS DETERMINADA POR NTC 3459	VALORES MAXIMOS PERMITIDOS POR NTC 3459 (ppm)	VALORES MEDIDOS EN PTAP CAÑAVERALEJO (A.R.T.) (ppm)	VALORES MEDIDOS EN PTAP CAÑAVERALEJO (A.R.T.R.) (ppm)	VALORES MEDIDOS EN PTAP EL TABLAZO (ppm)	
				Turb.	Color
Materia Orgánica	N.D. (Hacer pruebas)	Como D.Q.O. 302	Como D.Q.O. 111	1,9	5,9
		Como D.B.O ₅ . 128	Como D.B.O ₅ . -		
Azúcar	N.D.	0	0	0	
Iones Totales	2000	Como S.D. 285	-	-	
Cloruros	500	48,8	-	6.0	
Sulfatos	3000	65,6	64,8	16,37	
sulfitos	1000	0	0	0	
Carbonatos- Bicarbonatos	1000	84,18	-	10,00	
Solidos totales	50000	347	-	-	
Oxido de sodio	600	-	-	-	

N.D: No definido

Se aprecia que NTC 3459 es menos restrictiva y específica que ASTM C-94 respecto a los pocos parámetros que maneja y solicita hacer pruebas para determinar la viabilidad en uso de un agua para mezcla respecto a materia orgánica.

La muestra empleada para elaborar las mezclas tiene un comportamiento similar al mostrado por el análisis realizado a las aguas residuales tratadas durante el año 2015 e inicios del 2016, es decir esta muestra es representativa del efluente tratado durante este periodo de tiempo (numeral 7.1), de igual manera los valores para materia orgánica se encuentran por encima y el resto de los parámetros continúan por debajo del máximo admisible en la norma ASTM C-94.

Para el caso del agua residual tratada dejada 8 días en reposo, la materia orgánica expresada como DQO presenta una disminución en la concentración, esto se atribuye a la degradación microbiológica de la materia orgánica.

Respecto a carbonatos de sodio y potasio, en cuerpos de agua el pH es un indicador de la presencia de formas predominantes de los carbonatos y bicarbonatos, cuando el pH está por debajo de 8,3 Unidades, predominan las concentraciones de bicarbonatos y con pH > 8,3 Unidades empiezan a verse concentraciones representativas de carbonatos.

El valor de pH de la muestras están en 7,31 para PTAR y 6,8 para PTAP lo que indica mayor presencia de bicarbonatos y en menor cantidad los carbonatos. Por lo tanto la concentración de carbonatos tendrá un valor mínimo que a su vez será menor al máximo permisible de la norma. Sin embargo el valor exacto de la concentración se desconoce. Lo mismo sucede con el agua de reposo, aunque se presenta una ligera elevación del pH de 7,57 Unidades, por lo anterior el valor de pH se encuentra en el rango establecido por las normas. Finalmente las concentraciones de estos contaminantes se presentan como no definido.

Respecto a sustancias básicas tales como el hidróxido de sodio, o sales como el potasio y el sodio (las cuales repercutirían en la resistencia del cemento); sustancias ácidas como la presencia de ácidos (clorhídrico, entre los más comunes), no debe existir preocupación ya que un pH entre 7,2 y 8,0 indica una sustancia neutra, esto es, que no es ni ácida ni básica, por lo tanto la concentración para estas sustancias es asumida como cero.

Con la información entregada de parámetros por parte de la PTAP El Tablazo, se aprecia que todas las concentraciones de los sustancias cumplen con los requisitos de las normas.

7.5 CANTIDAD DE MATERIALES EMPLEADOS EN LAS MEZCLAS

Los materiales y cantidades en masa para diseño de hormigón se especifican en las tablas 8, 9, 10, 11, 12 y 13.

7.5.1 Determinación de la humedad de agregados

Tabla 9 Porcentaje de humedad en agregados

Tipo de agregado	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Porcentaje de humedad
Grava	1 000	970	3,1
Arena	500	480	4,2

7.5.2 Cantidad de materiales usados en mezcla de hormigón.

Tabla 10 Cantidad de materiales para diseño de hormigón

Componentes	Peso (g)
Grava	30 560
Arena	50 380
Cemento	12 400
Agua	8 270
Aditivo (TM-20)	49,6

7.5.3 Corrección por agua de mezcla para asentamiento de 15 cm

Tabla 11 Corrección de agua para prueba de asentamiento de 15 cm

N° de mezcla	Proporciones en cantidad de agua	Cantidad de agua inicial (g)	Corrección por cantidad de agua (g)	Cantidad de agua final (g)
1	100% A.P.	8270	760	9030
2	50% A.R.T. + 50% A.P.	4135 A.R.T.+ 4135 A.P.	380 A.R.T. + 380 A.P.	4515 A.R.T. + 4515 A.P.
3	100% A.R.T.	8270	760	9030

7.5.4 Relación de agua total y cemento total (a/c total)

Al dividir la cantidad de agua usada en su totalidad entre la cantidad de cemento requerido en el diseño se obtuvo: **a/c total**= 9030 / 12400 = **0,73**

Este valor de relación es solo un referente, no es el valor real de esta relación ya que no se contó con la información de absorción y humedad de los agregados. Los valores altos de esta relación en literatura, los describen característicos de una mezcla de alta consistencia plástica ideal para bombeo.

7.5.5 Cantidad de materiales para mezclas con agua en reposo

Tabla 12 Porcentajes de humedad en agregados

Tipo de agregado	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Porcentaje de humedad
Grava	1000	952	4,8
Arena	500	455	9

Tabla 13 Cantidad de materiales para diseño

Componentes	Peso (g)
Grava	31130
Arena	53140
Cemento	12400
Agua	5000
Aditivo (TM-20)	49,6

Tabla 14 Corrección de agua para prueba de asentamiento a 15 cm

N° de mezcla	proporciones	Cantidad de agua inicial (g)	Corrección por cantidad de agua (g)	Cantidad de agua final (g)
1	50% A.R.T.R. + 50% A.P	2500 A.R.T.R. + 2500 A.P	2187.5 A.R.T.R.+2187,5 A.P.	4687.5 A.R.T.R + 4687,5 A.P
2	100% A.R.T.R.	5000	4375	9375

Para el agua de reposo se tendría un referente de relación **a/c total** = 9375 / 12400 = **0,76**

7.6 RESULTADOS DE PRUEBAS A LA COMPRESION

En la tabla 14 se encuentran los valores de la fuerza ejercida, el área de presión de los cilindros y los porcentajes de presión alcanzados respecto al agua potable, según el tipo de mezcla, las respectivas proporciones de agua, para las pruebas realizadas a los 7, 14 y 28 días.

Los valores de resistencia obtenidos en la primera mezcla general de agua potable serán el punto de comparación respecto a las mezclas elaboradas con agua reposada de 8 días a pesar de que son mezclas que difieren en su día de elaboración; es decir las mezclas elaboradas con agua residual de reposo serán comparadas con una mezcla de agua potable elaborada 8 días antes.

Tabla 15 Resultados de pruebas a la compresión

	DISEÑO	FUERZA EJERCIDA MAQUINA (KN)	FUERZA EJERCIDA MAQUINA (Kgf)	PERIMETRO DE CILINDRO (cm)	AREA DE PRESION DE CILINDRO (cm ²)	PRESION (Kgf/cm ²)	PRESION (P.S.I.)	PROMEDIO DE PRESION POR PAR DE MUESTRAS (Kgf/cm ²)	PORCENTAJE PROMEDIO RESPECTO A DAP (%)
PRUEBAS DE RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS	DAR 1	249,4	25431,3	48,8	189,6	134,1	1907,3	131,9	96,5
	DAR 2	243,3	24809,3	49,0	191,2	129,8	1845,5		
	D50/50 1	255,1	26012,5	47,0	175,9	147,9	2103,2	143,6	105,0
	D50/50 2	274,0	27939,8	50,2	200,6	139,3	1980,2		
	DAP 1	212,3	21648,2	46,0	168,5	128,5	1827,2	136,7	
	DAP 2	266,1	27134,2	48,5	187,3	144,9	2060,3		
PRUEBAS DE RESISTENCIA A LOS 14 DÍAS	DAR 3	287,6	29326,6	47,5	179,6	163,3	2321,5	163,1	91,8
	DAR 4	300,5	30642,0	48,6	188,1	162,9	2317,0		
	D50/50 3	319,8	32610,0	48,2	185,0	176,3	2507,0	175,1	98,5
	D50/50 4	315,5	32171,5	48,2	185,0	173,9	2473,2		
	DAP 3	324,9	33130,1	48,2	185,0	179,1	2546,9	177,7	
	DAP 4	326,5	33293,2	48,7	188,8	176,3	2507,2		
PRUEBAS DE RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS	DAR 5	326,5	33293,2	48,6	188,1	177,0	2517,5	177,6	90,2
	DAR 6	318,0	32426,5	47,8	181,9	178,3	2534,7		
	D50/50 5	366,1	37331,2	48,2	185,0	201,8	2869,9	204,1	103,6
	D50/50 6	380,9	38840,4	48,6	188,1	206,5	2937,0		
	DAP 5	369,0	37626,9	48,8	189,6	198,4	2821,9	197,0	
	DAP 6	363,8	37096,7	48,8	189,6	195,7	2782,2		
PRUEBAS DE RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS, AGUA A LOS 8	DARR 7	249,8	25472,1	48,6	188,1	135,5	1926,1	134,9	98,7
	DARR 8	248,9	25380,3	48,7	188,8	134,4	1911,3		
	D50/50R 7	242,5	24727,7	48,8	189,6	130,4	1854,5	130,65	95,6

DÍAS DE REPOSO	D50/50R 8	243,4	24819,5	48,8	189,6	130,9	1861,4		
	DISEÑO	FUERZA EJERCIDA MAQUINA (KN)	FUERZA EJERCIDA MAQUINA (Kgf)	PERIMETRO DE CILINDRO (cm)	AREA DE PRESION DE CILINDRO (cm²)	PRESION (Kgf/cm²)	PRESION (P.S.I.)	PROMEDIO DE PRESION POR PAR DE MUESTRAS (Kgf/cm²)	PORCENTAJE PROMEDIO RESPECTO A DAP (%)
PRUEBAS DE RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS, AGUA A LOS 8 DÍAS DE REPOSO	DARR 9	326,1	33252,4	48,7	188,8	176,1	2504,1	175,2	88,9
	DARR 10	322,9	32926,1	48,7	188,8	174,4	2479,5		
	D50/50R 9	389,2	39686,7	48,7	188,8	210,2	2988,7	202,2	102,6
	D50/50R 10	359,6	36668,4	48,7	188,8	194,2	2761,4		
PRUEBAS DE RESISTENCIA A LOS 56 DÍAS, AGUA A LOS 8 DÍAS DE REPOSO	DARR 11	388,0	39564,4	48,8	189,6	208,7	2967,2	-	-
	D50/50R 11	448,4	45723,3	48,6	188,1	243,1	3457,4	-	-

DAR: Diseño con agua residual tratada

D50/50: Diseño con 50% de agua residual tratada y 50% de agua potable

DAP: Diseño con agua potable

DARR: Diseño con agua residual tratada de reposo

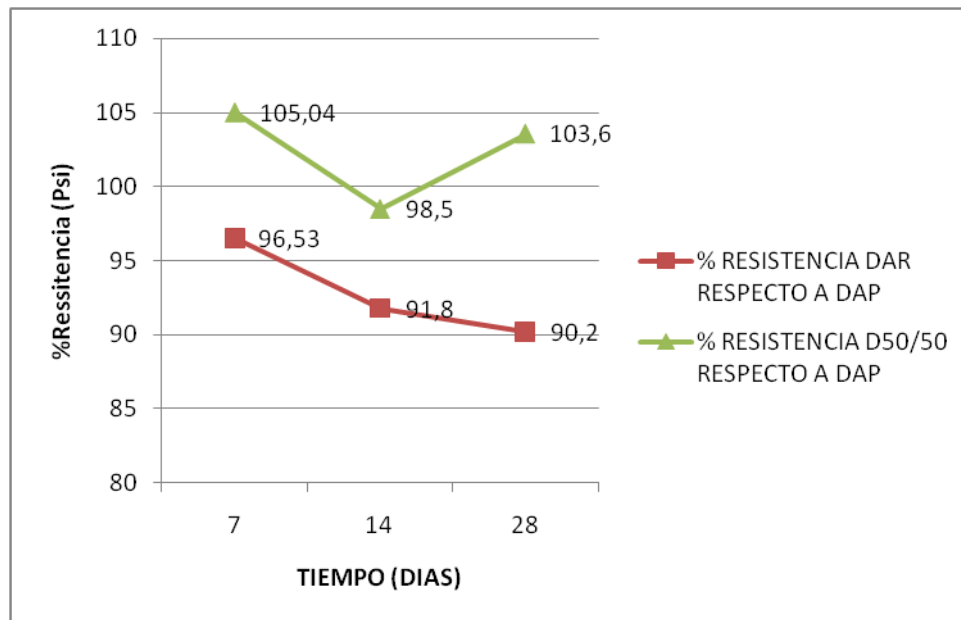
D50/50R: Diseño con 50% de agua residual tratada de reposo y 50% de agua potable

En el ámbito de la construcción es común representar el porcentaje en resistencia alcanzado por la muestra respecto al diseño con agua potable en vez del valor directo de la fuerza de presión.

El promedio de porcentaje alcanzado por cada par de muestras de la tabla 15 se empleó para la construcción de las diferentes graficas que se muestran a continuación. Los resultados que se presentan están condicionados al tamaño de muestra al cual tuvo acceso la investigación por cuestiones de recursos económicos.

En la figura 17 se aprecia el comportamiento de la resistencia alcanzada de las diferentes mezclas realizadas para hormigón respecto a los 7, 14 y 28 días.

Figura 17 Variación de la resistencia respecto al tiempo para muestras DAP, DAR y D507/50



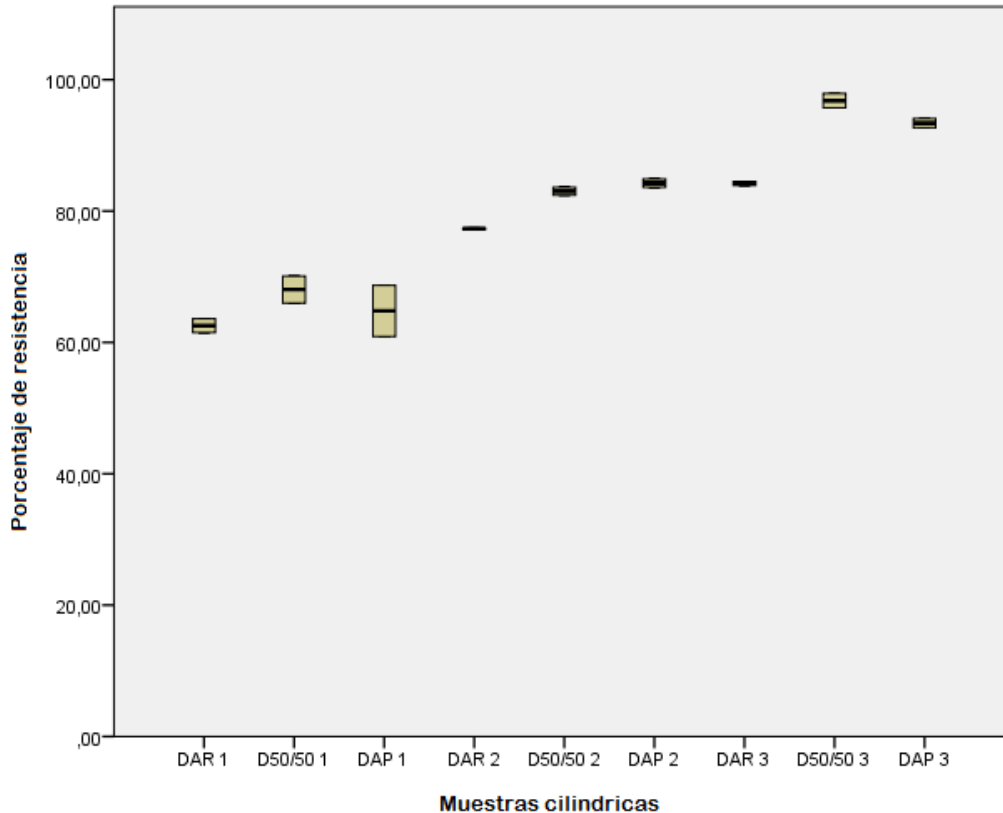
A los 7 días se observa que la resistencia de todos los diseños difiere levemente entre sí. Para el día 14 las muestras DAP y D50/50 presentan semejanza, caso contrario para DAR que empieza a distanciarse levemente de los valores de resistencia alcanzados por DAP. Finalmente a los 28 días se observa que D50/50 presenta un leve aumento de resistencia respecto a DAP.

La resistencia de DAR es menor respecto a las resistencias alcanzadas por DAP y D50/50, esto se aprecia tanto a los 7, 14 y 28 días. DAP y D50/50 tienen resistencias similares en todos los periodos de tiempo. La norma INVIAS sección E - 417 numeral 6.4 define que es aceptable una reducción de resistencia hasta el

10 % respecto a la muestra patrón, indicando que las mezclas de elaboradas únicamente con agua residual tratada son aceptables a pesar de estar en el valor límite.

El diagrama de cajas de la figura 18, muestra el desarrollo de la resistencia y la dispersión entre especímenes similares.

Figura 18 Dispersión de la resistencia demuestras DAP, DAR y D50/50



DAR (1, 2, 3) diseño a los 7, 14 y 28 días respectivamente.
D50/50 (1, 2, 3) diseño a los 7, 14 y 28 días respectivamente.
DAP (1, 2, 3) diseño a los 7, 14 y 28 días respectivamente.

Se puede observar mediante el diagrama de cajas que existe mayor dispersión en muestras fracturadas a los 7 días en la prueba de resistencia, esta dispersión es mayor en la muestra DAP. Para las muestras fracturadas a los 14 días se aprecia mínima dispersión entre las muestras el mejor representante de esto es DAR.

A los 28 días las muestras presentan poca dispersión, aunque se puede observar que los valores con resistencias más dispersas los obtuvieron las muestras de D50/50. Estas variaciones pueden deberse a una mala manipulación de la máquina de pruebas.

La tabla 15, prueba Duncan realiza comparaciones entre los promedios de resistencia obtenida para cada par de muestras y los agrupa asumiéndolos como semejantes, donde se obtienen finalmente cinco grupos.

Tabla 16 Similitud entre muestras DAP, DAR y D50/50

Resistencia						
Duncan ^a						
Cilindro2	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
DAR 1	2	62,5500				
DAP 1	2	64,8000	64,8000			
D50/50 1	2		68,0500			
DAR 2	2			77,3000		
D50/50 2	2				83,0000	
DAR 3	2				84,2000	
DAP 2	2				84,2500	
DAP 3	2					93,4000
D50/50 3	2					96,8000
Sig.		,347	,185	1,000	,610	,168

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2,000.

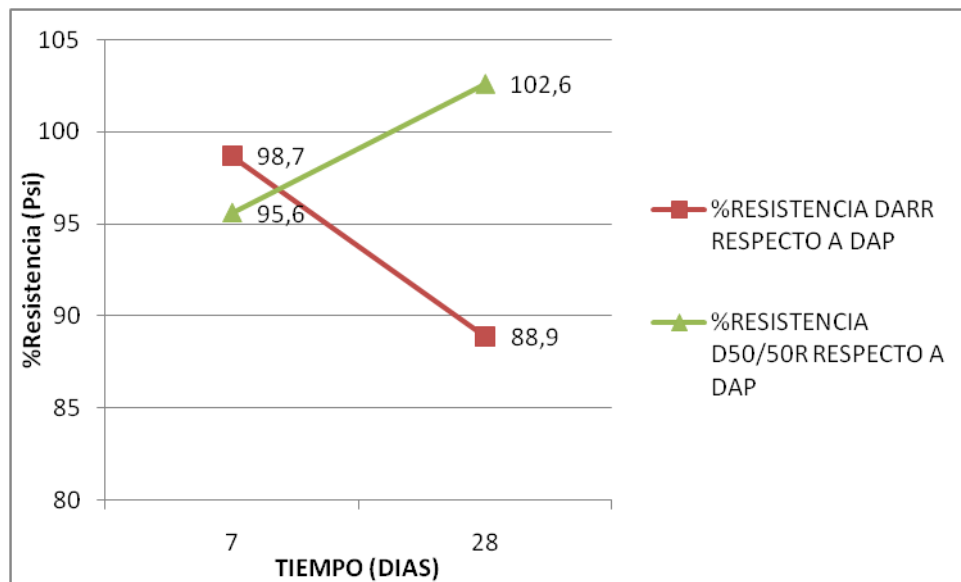
El primer grupo obtenido entre DAR 1 y DAP 1 son semejantes en resistencia, el grupo 2 obtenido entre DAP 1 y D50/50 1 son semejantes en resistencia pero a la vez son distintos del grupo 1 y de los demás grupos generados, esto se aplica sucesivamente a los demás grupos.

En el grupo 4 se aprecia que las resistencias de D50/50 2 y DAP 2 son semejantes y simultáneamente a un DAR 3. Significa que la resistencia de DAR 3 perteneciente al periodo de 28 días tuvo un retardo para alcanzar la resistencia de sus similares de 174 días. Por último DAP Y D50/50 son semejantes a los 28 días.

Los retardos y reducción de resistencia de las muestras DAR son debidas seguramente a las altas concentraciones de materia orgánica presentes en el agua de mezcla. Es importante destacar que otro factor que interfirió en el retardo es el uso del aditivo TM-20, con base en la ficha técnica (anexo 8) lo denomina como de gran poder retardante sobre el tiempo de fraguado del hormigón.

A continuación se observa en la figura 19 el comportamiento de la resistencia alcanzada de las diferentes mezclas de hormigón realizadas con agua reposada de 8 días, respecto al periodo de tiempo de 7 a 28 días. Cabe recordar que se compara con la resistencia de las mezclas DAP realizadas inicialmente

Figura 19 Variación de la resistencia respecto al tiempo para muestras DAP, DARR y D50/50R



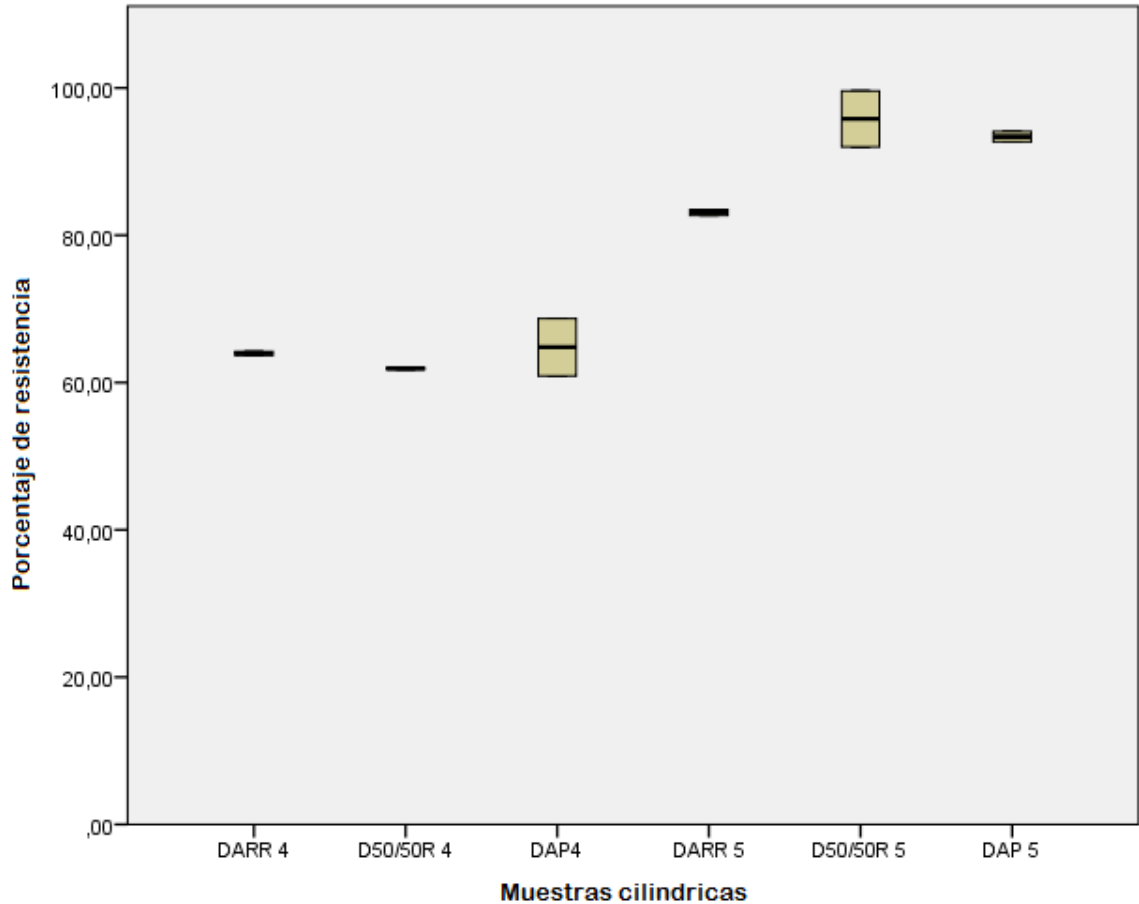
Cabe recordar nuevamente que la resistencia a comparar pertenece al mismo DAP de las mezclas iniciales presentadas anteriormente.

Todos los diseños demuestran que tienen valores de resistencia semejantes a los 7 días, aunque con leve reducción en D50/50R.

A los 10 días aproximadamente se observa como la resistencia para D50/50R es igual a la resistencia para DARR, después de esto difieren totalmente. El día 28 se observa como D50/50R es similar en su resistencia a DAP, mientras que DARR queda varias unidades por debajo de estas.

La figura 20, muestra el desarrollo de la resistencia y la dispersión de los valores de resistencia entre especímenes similares elaborados con agua de reposo.

Figura 20 Dispersión de la resistencia de muestras DAP, DARR y D50/50R



Las muestras DAP 4 y D50/50R 5 presentan mayor dispersión respecto a las demás muestras cilíndricas, además de esto los rangos de dispersión entre estas dos muestras son similares. Esto indica que hubo un mejor empleo de la máquina de pruebas en la mayoría de muestras cilíndricas.

La tabla 16 Prueba Duncan, realiza comparaciones entre los promedios de resistencia obtenida para cada par de muestras y los agrupa asumiéndolos como semejantes, donde se obtienen finalmente tres grupos.

Tabla 17 Similitud entre muestras DAP, DARR y D50/50R

Resistencia

Duncan^a

Cilindro2	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
D50/50R 4	2	61,9000		
DARR 4	2	63,9500		
DAP4	2	64,8000		
DARR 5	2		83,1000	
DAP 5	2			93,4000
D50/50R 5	2			95,8000
Sig.		,411	1,000	,479

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

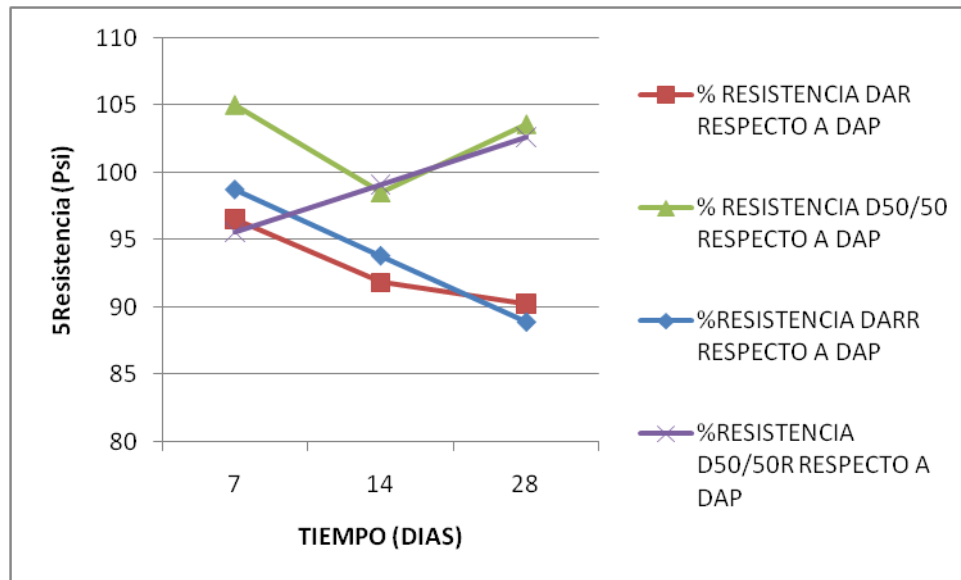
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2,000.

El primer grupo está compuesto por todos los diseños a los 7 días, es decir todos los diseños son semejantes a los 7 días. DARR 5 es totalmente diferente a todos los demás diseños a los 28 días. DAP 5 y D50/50R 5 son semejantes a los 28 días. De esta manera se puede definir que DAP y D50/50R tienen resistencias similares en todos los periodos de tiempo analizados.

A continuación se observa en la figura 21 el comportamiento de la resistencia alcanzada de todas las mezclas de hormigón elaboradas, respecto al periodo de tiempo de 7 a 28 días.

Finalmente con este análisis se determina las similitudes entre las resistencias alcanzadas por las muestras elaboradas con agua residual tratada reposada y no reposada. A los 7 días DAP, DAR y DARR tienen valores de resistencia similares entre sí; caso contrario entre D50/50 y D50/50R donde se evidencia que presentan diferencias significativas en la resistencia a este periodo de tiempo. Todas las muestras superaron el 60% de la resistencia de diseño en su fase inicial.

Figura 21 Variación de la resistencia respecto al tiempo para muestras DAP, DAR, D50/50, DARR y D50/50R

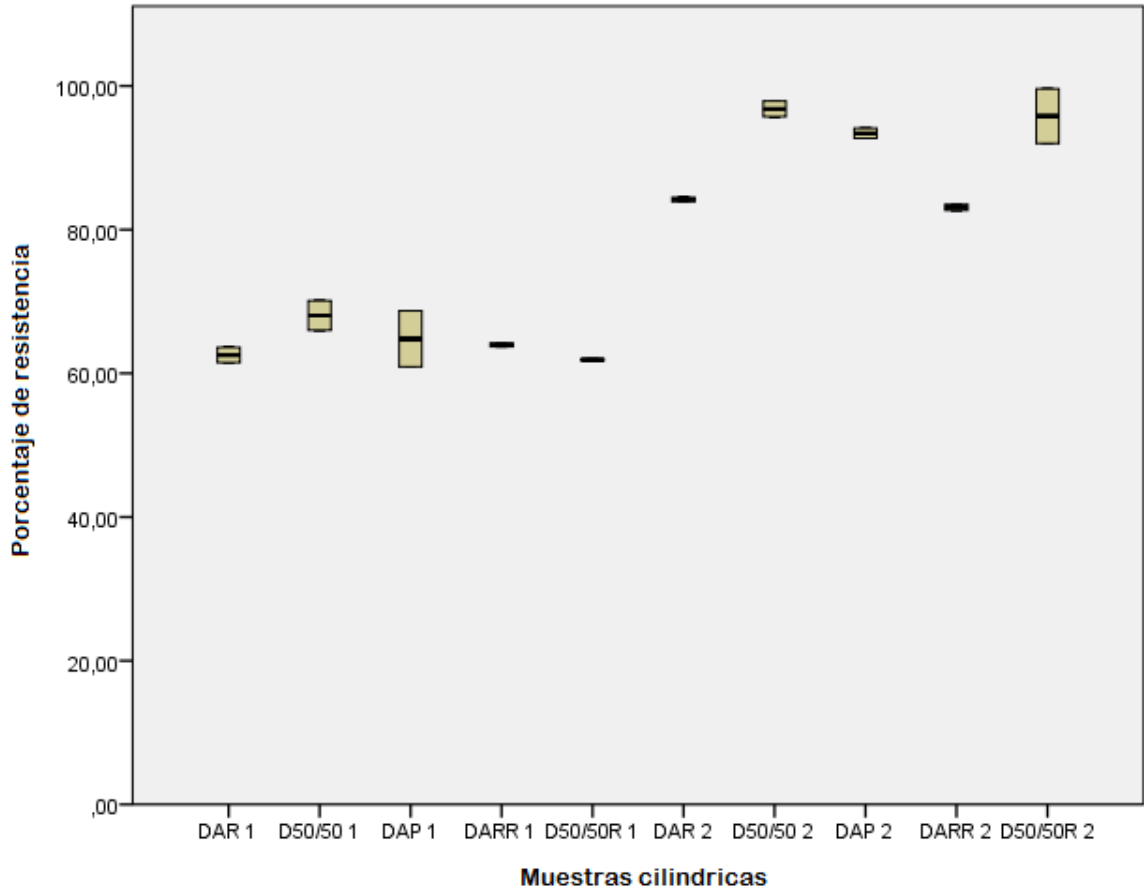


Después de 7 días DAR y DARR tienen un desarrollo similar hasta los 28 días pero con los menores valores de resistencia presentados en toda la investigación respecto a DAP.

D50/50 y D50/50R presentaron diferencias entre sus resistencias desde los 7 días hasta poco antes de los 28 días, culminando con el mismo valor de resistencia al día 28; a pesar de sus diferencias demostraron tener resistencia similar a DAP. Se evidencia que el agua reposada durante 8 días no afecta significativamente en la resistencia del hormigón.

A continuación en la figura 22 se presenta la dispersión en la resistencia de todas las muestras analizadas.

Figura 22 Dispersión de la resistencia de muestras DAR, D50/50, DAP, DARR y D50/50R



Las mayores dispersiones se presentaron en tres diseños específicos, D50/50 1, DAP 1 y D50/50R 2, los demás diseños presentan menor dispersión respecto a estos. Esto hace destacar la importancia de realizar buenos procesos durante las pruebas de resistencia a la compresión y elaboración de los cilindros de hormigón.

La tabla 17 prueba Duncan que se presenta a continuación muestra la similitud entre todas las muestras y determina tres grupos con resistencia semejante.

Tabla 18 Similitud entre muestras DAR, D50/50, DAP, DARR y D50/50R

Resistencia

Duncan^a

Cilindro2	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
D50/50R 1	2	61,9000		
DAR 1	2	62,5500		
DARR 1	2	63,9500		
DAP 1	2	64,8000		
D50/50 1	2	68,0500		
DARR 2	2		83,1000	
DAR 2	2		84,2000	
DAP 2	2			93,4000
D50/50R 2	2			95,8000
D50/50 2	2			96,8000
Sig.		,064	,694	,260

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2,000.

El primer grupo indica semejanza de resistencia de todos los diseños a los 7 días; el segundo grupo está constituido por los DAR y DARR de 28 días, indicando que estos son semejantes a pesar de que son realizados con agua de reposo y sin reposar.

Los valores de resistencia de D50/50 y D50/50R de 28 días son semejantes. Esto reafirma el hecho de que el agua residual tratada de reposo no afecta significativamente en la resistencia respecto una no reposada, simultáneamente estos diseños son semejantes en resistencia a DAP. Así mismo estos diseños con agua de mezcla diluida son semejantes a un diseño con agua de mezcla de tipo potable en un 100%.

DAR y DARR presentan la menor resistencia obtenida y está por debajo de DAP alcanzando similitud en un 90%, esto hace que el uso en proporción total de agua residual tratada en mezclas de hormigón sea una alternativa posible pero de cuidado ya que se encuentra en el límite del valor aceptado por norma INVIAS 630 de 2013.

Cuando se diluye una cantidad de agua residual tratada a la mitad, también se diluyen los contaminantes que esta contiene, de esta manera las mezclas diluidas hasta el 50 % son una excelente alternativa para elaborar mezclas de hormigón,

en este caso el contaminante que influyó directamente en las mezclas es la materia orgánica, ya que su concentración está muy por encima de lo estipulado en la norma.

Con el uso de agua residual tratada en todos los diseños se aprecia un retraso en el fraguado, esto no necesariamente es algo negativo; las empresas de premezclados usan aditivos que retardan el fraguado o endurecimiento debido a que transportan sus mezclas a lugares que pueden ser lejanos, por tal razón si no controlan el fraguado de la mezcla puede llegar endurecida a su punto de destino, lo cual afectaría drásticamente una futura estructura.

Los altos valores de materia orgánica expresada como DBO_5 indican la viabilidad de realizar algún tratamiento biológico adicional al efluente para que esta concentración disminuya, si este fuera el caso, el efluente podría ser usado directamente por los grandes sectores de construcción.

El aditivo TM-20 usado también influyó en el retardo de todos los diseños, ya extiende el tiempo de trabajabilidad y retarda el tiempo de fraguado de la mezcla de una forma considerable. (Zika, 2012); este aditivo sumado a la materia orgánica presente en los diseños generan mayor retardo de fraguado.

La forma de rompimiento o falla de las muestras cilíndricas son de tipo falla lateral en su mayoría y de tipo agrietamiento de columnado en menor cantidad; un ejemplo de esto se presenta en la figura 23, a la izquierda un cilindro fracturado a los 7 días con fractura de tipo cono y corte, en el centro un cilindro con fractura tipo corte; a la izquierda un cilindro con fractura de tipo columnar. En el anexo 10 se presentan todo el material fotográfico de los cilindros, junto con las características de cada cilindro fecha de elaboración y rotura

Figura 23 Fractura de muestras cilíndricas



8. CONCLUSIONES

- Las características fisicoquímicas del agua residual tratada de la PTAR Cañaveralejo, durante el año 2015 e inicios del 2016, a pesar de presentar variaciones estacionales, mantienen un comportamiento regular y las concentraciones son aceptables para la preparación de mezclas de hormigón según las Normas ASTM C-94 y NTC 3459, excepto el contenido de materia orgánica medido como DQO y DBO₅ que superan en 11 y 6 veces respectivamente el valor máximo permisible de las Normas.
- El agua potable suministrada por la PTAP El Tablazo presenta sustancias con concentraciones que no superan los valores máximos permisibles de las Normas ASTM C-94 y NTC 3459, haciéndola ideal para mezclas de hormigón.
- No hay diferencias significativas en la resistencia a los 28 días entre el hormigón realizado con agua residual en reposo de 8 días y sin reposar, con lo cual se evidencia que no hay alteración significativa en sus características fisicoquímicas durante este tiempo.
- Las muestras preparadas con partes iguales de Agua Residual Tratada y Agua Potable, en reposo como sin reposar, adquirieron en un 100% la resistencia a los 28 días la obtenida por cilindros fabricados con Agua Potable. Esto indica que es viable emplear agua residual en esta proporción para preparar mezclas de hormigón.
- Las resistencias obtenidas a los 28 días de los cilindros preparados con el 100% agua residual tratada y agua residual tratada en reposo fueron del 90,2% y 88,9% respectivamente, respecto a la resistencia obtenida con el agua potable; estos valores se encuentran en el límite de lo estipulado en la norma INVIAS 630 de 2013. Por lo tanto debe hacerse más pruebas para determinar si es apropiado usarla directamente en mezclas de hormigón.
- Si la PTAR Cañaveralejo realizara un proceso adicional de tratamiento que redujera la concentración de materia orgánica expresadas en DBO₅ y DQO en forma significativa (> 50%), posiblemente la resistencia del hormigón con uso total de agua residual tratada mejoraría.

9. RECOMENDACIONES

- Es importante medir todos los parámetros de calidad de agua considerados en las normas ASTM C-94 y NTC 3459, siempre que se tengan dudas de las características del agua a usar en mezclas de hormigón, esto inclusive puede aplicar al agua de tipo potable que es aportada por PTAP's.
- Debido a la variación de los valores de resistencia en cilindros de la misma muestra, es pertinente realizar más cilindros de hormigón para aumentar el tamaño de muestra en cada periodo de tiempo evaluado.
- Se puede investigar cual es la máxima proporción de agua residual tratada que al mezclarse con agua potable no influye en la resistencia de un hormigón, por ejemplo en un 75% ART y 25% AP.
- Se requiere analizar el comportamiento de los cilindros de hormigón diseñados con agua residual tratada, respecto al fraguado y resistencia a mayores periodos de tiempo como a los 56, 90 días y 1 año; debido a que la materia orgánica retrasa el fraguado en forma considerable, con el fin de determinar el tiempo en el cual se alcanza la resistencia de diseño.
- A futuro se necesita analizar el efecto del agua residual tratada sobre el hormigón armado o reforzado.

BIBLIOGRAFIA

Acevedo H., Vásquez A., Ramírez D. (2012). Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. p: 2. Tomado de internet: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30825/39307>

Al-Ghusain, I. &Terro, M. (2003). Use of treated wastewater for concrete mixing in Kuwait. Civil Engineering Department, Kuwait University. p 9-11. Tomado de internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X04001126>

American Society for Testing and Materials, ASTM C-94. C-94/M 04. Standard Specification for Ready-Mixed Concrete. p. 14

Cámara Colombiana de la construcción CAMACOL. (2014). Informe económico una publicación mensual ¿qué nos indican las brechas del mercado edificador para el 2014? cierre 2013 y perspectivas 2014 No 56. p 1. Tomado de internet: http://camacol.co/sites/default/files/secciones_internas/Informe%20Econ%C3%B3mico%20Marzo%202014%20-%20No%20%2056.pdf

Campos, J.; Gómez, S.; Torres, W. (2006). Impermeabilización de rellenos sanitarios utilizando suelos naturales aplicados a la ciudad de San Miguel y Lolotique. Capítulo 2. p. 24-25. Universidad de Oriente (UNIVO). El Salvador.

Carrasco, M. (2013). Agua para morteros y hormigones. Universidad Tecnológica y Nacional. Santa Fe. p. 3.

Constructor Civil. (2015). Tips para la construcción de edificaciones, casas materiales y equipos. Tomado de internet: <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/finura-del-cemento.html> visitada el día 27 de julio de 2016

Diéguez, V. (2011). Propiedades físicas del concreto elaborado con agua residual tratada. Universidad central de Venezuela, Caracas Venezuela. p: 20.

Dirección General de Apoyo Fiscal MINHACIENDA. (2014), agua potable y saneamiento básico. p 14, 24. http://www.minhacienda.gov.co/HomeMinhacienda/asistenciaentidadesterritoriales/Publicaciones/recursosSGP/SGP_AguaPotable.pdf

El espectador. (2015). Periódico virtual. Nota periodística: Colombia prevé sequía "muy fuerte" y falta de agua hasta marzo de 2016. Tomado de

internet: <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/colombia-preve-sequia-muy-fuerte-y-falta-de-agua-hasta-articulo-590869>

Gil, A.; Jardón, R.; Marco, E.; Valcuende, M. (2008). Evolución de la resistencia del hormigón con la edad y la temperatura. Universidad Politécnica de Valencia.

Gonzales, I., Landaverde, A., Romero, C. (2005). Concreto autocompactable: propuesta para el diseño de mezcla, beneficios técnicos y consideraciones básicas para su implementación en el salvador. Universidad del Salvador. p. 53.

Grases, J.; Porrero, J.; Ramos y Velazco, G. (2008). Manual del Concreto Estructural. Sidetur, Excelencia Siderúrgica, Caracas.

Ingeniería de aguas residuales. (2000). p. 51. Tomado de internet: <http://laoropendolasostenible.blogspot.com.co/2012/12/ingenieria-de-aguas-residuales-pdf.html>

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones I.E.C.A., 2016. Tomado de internet: https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179

Kosmatka, S.; Kerkhoff, B.; Panarese, W.; Tanesi, J. (2009). Diseño y control de mezcla de concreto. Portland Cement Association (PCA).

Medina, C. (2013). Concreto confeccionado con aguas lluvia: Un aporte a la disminución del impacto ambiental generado por la industria de la construcción. Universidad nacional de Colombia. Medellín.2013. p 8. Tomado de internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/9593>

Meyer, C. (2004) "Sustainable development and the concrete Industry" CIB Bulletin. Tomado de internet: <http://www.columbia.edu/cu/civileng/meyer/publications/publications/80%20sustainable%20development.pdf>

Montoya, R. (2000). Introducción al Hormigón Estructural. Escuela de ingeniería civil, universidad de Costa Rica. Tomado de internet: https://issuu.com/guillermosantana/docs/concreto_estructural_-_parte-i

Naik, T. (2007). Sustainability of the cement and concrete industries: Sustainable construction materials and Technologies. p 19. Tomado de internet: <https://www4.uwm.edu/cbu/Papers/2004%20CBU%20Reports/CBU-2004-15.pdf>

Norma INVIAS. (2013). Artículo 630 – 07 Concreto estructural. Tomado de internet: <https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento-tecnicos>

Norma Oficial Mexicana (NOM) C-122. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en agua y bienes nacionales. 1999.

Norma Técnica Colombiana., N.T.C. 30 Cemento Pórtland. Clasificación y Nomenclatura. Tomado de internet: <http://www.academia.edu/9500250/NTC-30-Cemento-Portland-Clasificacion-y-Nomenclatura>.

Norma Técnica Colombiana., N.T.C. 3459. Aguas para la elaboración de concreto. 2001

Oviedo, L. (2011). Estudio de alternativas de reúso y reciclaje de aguas residuales en aplicaciones industriales y municipales. Universidad industrial de Santander. Bucaramanga. p 15. Tomado de internet: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7113/2/142273.pdf>

Polanco, J. y Setién, J. (2012). Cementos, morteros y hormigones. Ciencia e ingeniería del terreno y de los materiales. Tomado de internet: http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/cementos-morteros-y-hormigones/materiales/3_Morteros_hormigones1.pdf

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-resistente. (2010). NSR 10. Título C. Concreto estructural. p 43. Tomado de internet: <http://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/3titulo-c-nsr-100.pdf>

Resolución 1207 de 2014. Disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Bogotá, Colombia.

Rivera, G. (2000). Concreto simple. Capítulo 3 - agua de mezcla. p. 77. Tomado de internet: ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Geotecnia/profesor_gerardo_rivera/Posgrado.pdf

Rojas, E., Ramón, P., Sotelo, D., Neyra, Y. (2013). Componentes del concreto armado. Universidad Nacional del Santa. Chimbote, Perú. p.21. Tomado de: <https://es.scribd.com/doc/104574855/2-Componentes-Del-Concreto-PDF>

Salas, G. Eliminación de sulfuros por oxidación en el tratamiento del agua residual de una curtiembre. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. p.4. tomado de internet:

http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing_quimica/v08_n1/pdf/a08v8.pdf

Sánchez, D. (1987) Tecnología del concreto y el mortero. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería. Bogotá, D.E. 1987.

Vásquez, A.; Gonzales, F.; Rocha, L. y Flores, A. (2001). Elaboración de concretos con aguas tratadas. México

Zika. (2012). HOJA TECNICA Versión: 01. Plastiment TM 20, Retardador plastificante - Reductor de agua.

ANEXOS

Anexo 1: Concentraciones máximas permisibles de impurezas para concreto Normas ASTM C- 94 y NTC 3459

IMPUREZAS	CONCENTRACION MAXIMA TOLERABLE (PPM)
Carbonato de sodio y potasio	1.000
Cloruro de sodio	20.000
Sulfato de sodio	10.000
Sulfato, SO ₄	3.000
Carbonato de calcio y magnesio, como ión bicarbonato	400
Cloruro de magnesio	40.000
Sulfato de magnesio	25.000
Cloruro de calcio (por peso de cemento en el concreto)	2%
Sales de hierro	40.000
Yodato, fosfato, arsenato y borato de sodio	500
Sulfito de sodio	100
Ácido sulfúrico y ácido clorhídrico	10.000
Ph	6,0 a 8,0
Hidróxido de sodio (por peso de cemento en el concreto)	0.5%
Hidróxido de potasio (por peso de cemento en el concreto)	1.2%
Azúcar	500
Partículas en suspensión	2.000
Aceite mineral (por peso de cemento en el concreto)	2%
Agua con algas	0
Materia orgánica	20
Agua de mar	35000

Fuente: ASTM C-94

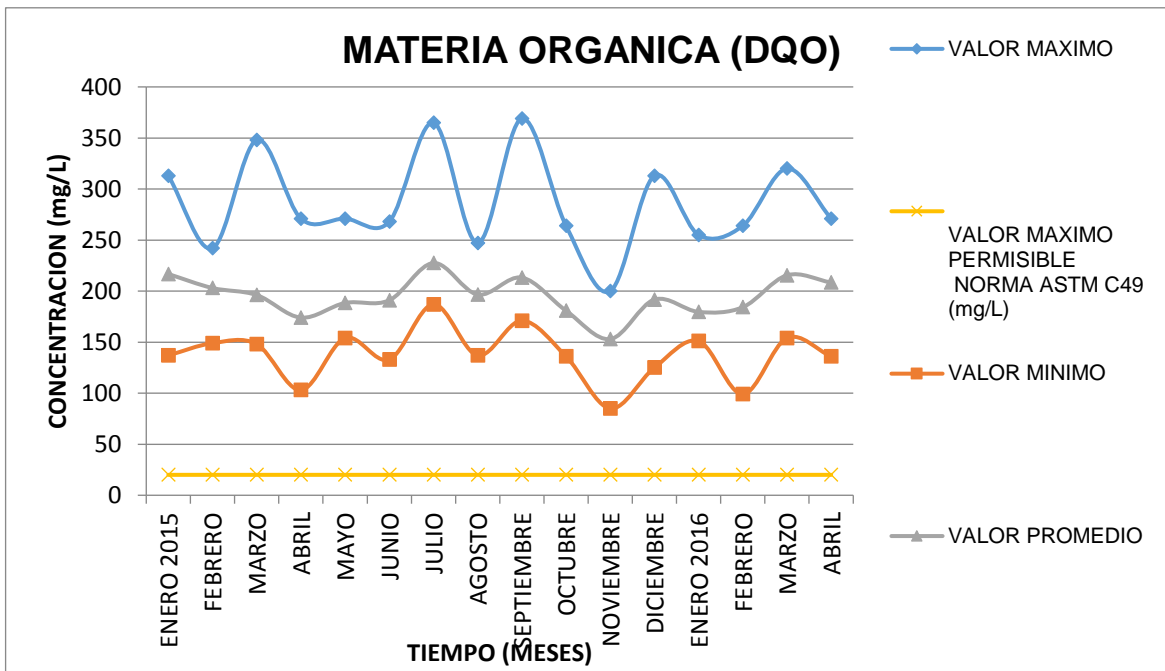
Recomendaciones de la norma técnica colombiana NTC 3459

Impureza	Concentración máxima tolerable (ppm)	Impureza	Concentración máxima tolerable (ppm)
Materia Orgánica	No definido	Sulfatos - Sulfitos	3000 - 1000
Azúcar	No definido	Carbonatos- Bicarbonatos	1000
Iones Totales	2000	Solidos totales	50000
Cloruros	500	Oxido de sodio	600

Anexo 2 Análisis de parámetros medidos por la PTAR Cañaveralejo para el año 2015 hasta abril del 2016

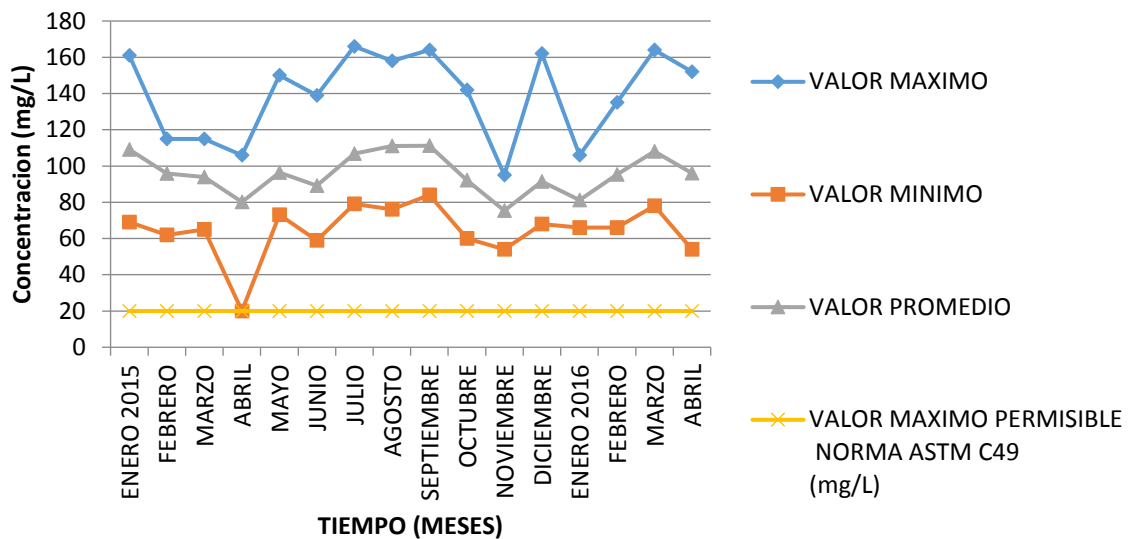
PROMEDIO MENSUAL	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO5)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	pH	CONDUCTIVIDAD	ALCALINIDAD TOTAL	CLORUROS	FOSFORO TOTAL	GRASAS Y ACEITES (G&A)	HIE TO
ENERO 2015	216.71	109.13	88.81	7.30	539.23	131.75	51.63	1.31	10.49	3
FEBRERO	203.04	95.82	70.68	7.41	551.71	141.25	47.28	1.93	8.14	1
MARZO	196.13	93.90	59.26	7.30	539.23	131.75	51.63	1.31	10.49	3
ABRIL	173.96	80.07	54.57	7.26	526.25	133.50	44.80	1.76	11.21	2
MAYO	188.42	96.45	58.26	7.20	553.26	144.50	54.63	2.20	11.12	3
JUNIO	191.00	89.07	48.90	7.25	584.37	148.75	55.83	2.09	10.11	2
JULIO	227.48	106.79	73.38	7.33	568.07	150.25	55.38	2.23	13.94	2
AGOSTO	196.60	111.12	56.60	7.18	566.12	136.00	60.30	2.00	15.20	2
SEPTIEMBRE	213.20	111.17	47.40	7.22	593.90	140.40	64.30	2.41	13.05	2
OCTUBRE	180.81	92.16	49.39	7.29	574.45	133.00	56.77	2.35	7.80	1
NOVIEMBRE	152.97	75.37	56.87	7.29	537.10	118.00	52.18	2.06	10.49	3
DICIEMBRE	191.68	91.52	48.26	7.33	612.77	147.80	54.10	1.78	9.72	2
ENERO 2016	179.58	81.26	58.35	7.32	593.97	145.20	55.18	2.26	13.25	2
FEBRERO	184.18	95.37	47.46	7.30	593.64	147.25	58.65	2.23	11.09	3
MARZO	215.48	107.97	51.77	7.24	553.81	126.00	51.04	2.20	9.93	2
ABRIL	208.40	96.00	46.27	7.23	523.66	139.80	50.34	2.78	10.20	1
PROMEDIO	194.98	95.82	57.26	7.28	563.22	138.45	54.00	2.06	11.02	2
MAXIMO	227.48	111.17	88.81	7.41	612.77	150.25	64.30	2.78	15.20	3
MINIMO	152.97	75.37	46.27	7.18	523.66	118.00	44.80	1.31	7.80	1
DESVIACION ESTANDAR	18.91	11.18	11.56	0.06	27.03	9.05	4.82	0.38	1.98	0
COEFICIENTE DE VARIACION	9.70	11.67	20.20	0.78	4.80	6.54	8.93	18.47	18.00	23
MAXIMO PERMISIBLE	20	20	2000	6,0-8,0			20000 NaCl 40000 MgCl		2%	Sal hi 40

MATERIA ORGANICA EXPRESADO DE PARAMETRO DQO				
TIEMPO (MESES)	VALOR MAXIMO (mg/L)	VALOR MINIMO (mg/L)	VALOR PROMEDIO (mg/L)	VALOR MAXIMO PERMISIBLE NORMA ASTM C-94 (mg/L)
ENERO 2015	313	137	216,7	20
FEBRERO	242	149	203,0	20
MARZO	348	148	196,1	20
ABRIL	271	103	174,0	20
MAYO	271	154	188,4	20
JUNIO	268	133	191,0	20
JULIO	365	187	227,5	20
AGOSTO	247	137	196,6	20
SEPTIEMBRE	369	171	213,2	20
OCTUBRE	264	136	180,8	20
NOVIEMBRE	200	85	153,0	20
DICIEMBRE	313	125	191,7	20
ENERO 2016	255	151	179,6	20
FEBRERO	264	99	184,2	20
MARZO	320	154	215,5	20
ABRIL	271	136	208,4	20

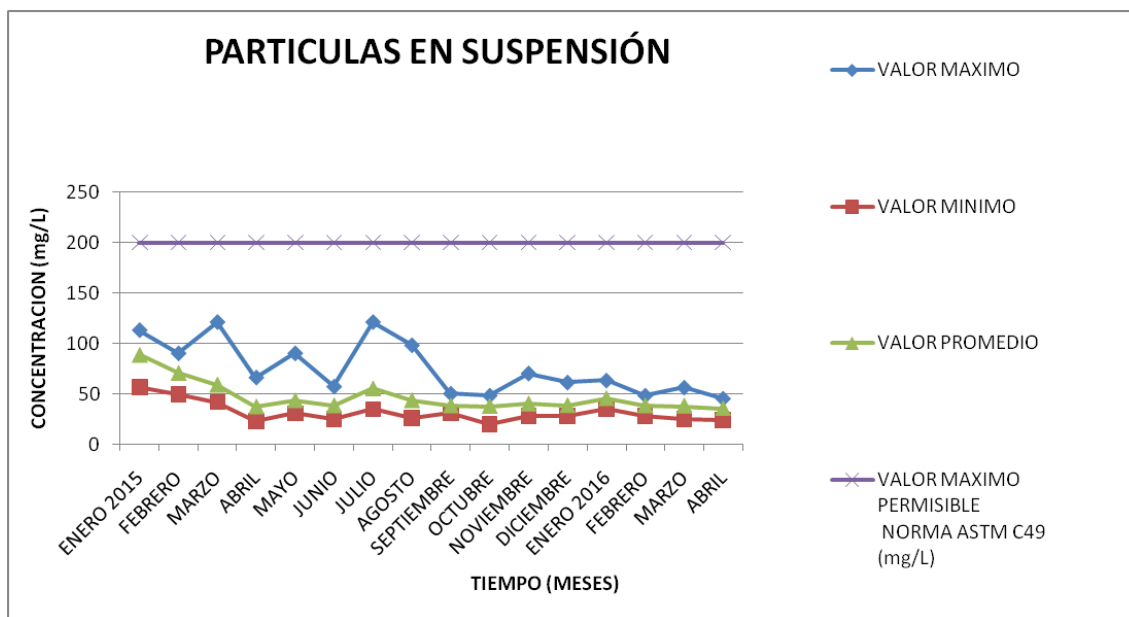


MATERIA ORGANICA (DBO₅)				
TIEMPO (MESES)	VALOR MAXIMO (mg/L)	VALOR MINIMO (mg/L)	VALOR PROMEDIO (mg/L)	VALOR MAXIMO PERMISIBLE NORMA ASTM C-94 (mg/L)
ENERO 2015	161	69	109,1	20
FEBRERO	115	62	95,8	20
MARZO	115	65	93,9	20
ABRIL	106	20	80,1	20
MAYO	150	73	96,4	20
JUNIO	139	59	89,1	20
JULIO	166	79	106,8	20
AGOSTO	158	76	111,1	20
SEPTIEMBRE	164	84	111,2	20
OCTUBRE	142	60	92,2	20
NOVIEMBRE	95	54	75,4	20
DICIEMBRE	162	68	91,5	20
ENERO 2016	106	66	81,2	20
FEBRERO	135	66	95,4	20
MARZO	164	78	107,9	20
ABRIL	152	54	96,0	20

MATERIA ORGANICA (DBO5)

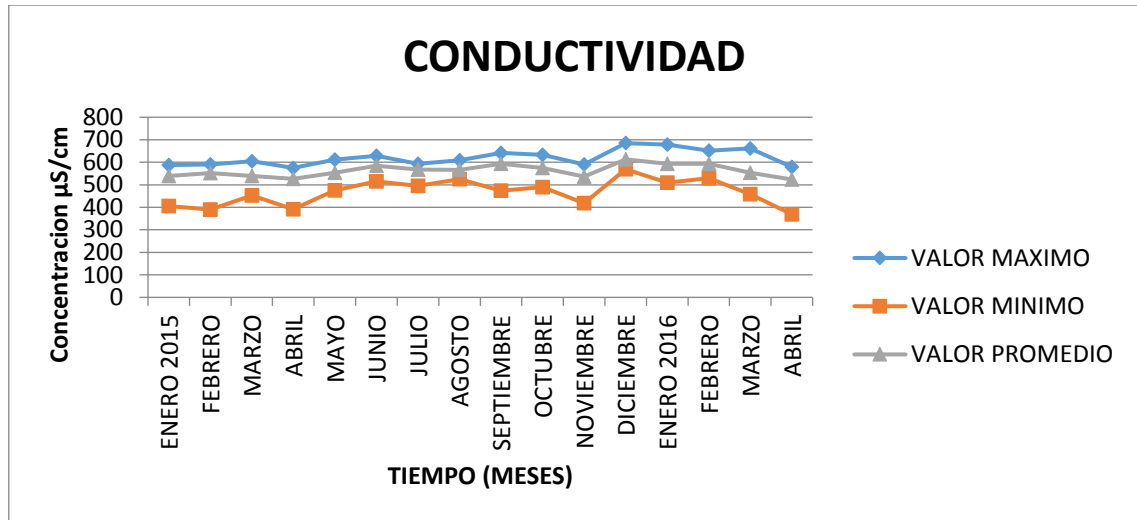


PARTICULAS EN SUSPENSIÓN EXPRESADO DE PARAMETRO SST				
TIEMPO (MESES)	VALOR MAXIMO (mg/L)	VALOR MINIMO (mg/L)	VALOR PROMEDIO (mg/L)	VALOR MAXIMO PERMISIBLE NORMA ASTM C-94 (200*E1) (mg/L)
ENERO 2015	113	57	88,8	200
FEBRERO	90	50	70,7	200
MARZO	121	42	59	200
ABRIL	66	23	37,1	200
MAYO	90	31	43,3	200
JUNIO	57	25	38,2	200
JULIO	121	35	55,2	200
AGOSTO	98	26	43,4	200
SEPTIEMBRE	50	31	38,2	200
OCTUBRE	48	20	37,6	200
NOVIEMBRE	70	28	40,1	200
DICIEMBRE	61	28	38,4	200
ENERO 2016	63	35	45,4	200
FEBRERO	48	28	38,3	200
MARZO	56	25	38,0	200
ABRIL	45	24	35,5	200



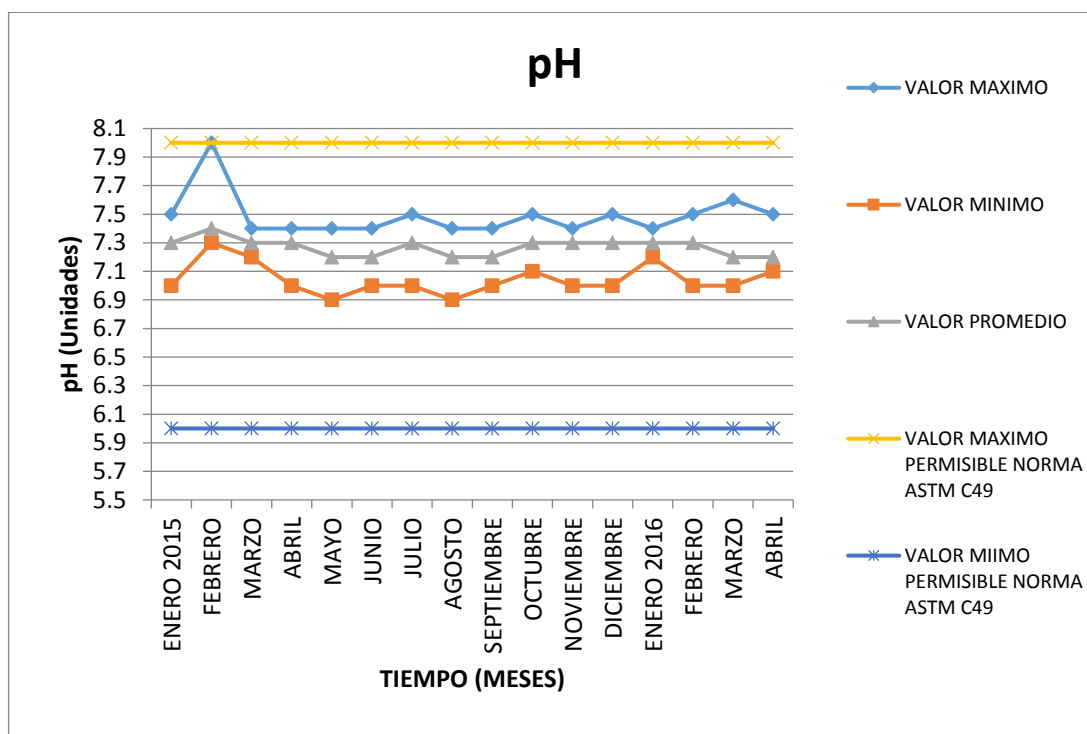
CONDUCTIVIDAD			
TIEMPO (MESES)	VALOR MAXIMO (μS/cm)	VALOR MINIMO (μS/cm)	VALOR PROMEDIO (μS/cm)
ENERO 2015	587	406	539,2
FEBRERO	591	390	551,7
MARZO	605	453	539,2
ABRIL	575	391	526,2
MAYO	612	475	553,2
JUNIO	629	515	584,4
JULIO	593	495	568,1
AGOSTO	609	525	566,1
SEPTIEMBRE	641	474	593,9
OCTUBRE	633	490	574,5
NOVIEMBRE	591	419	537,1
DICIEMBRE	685	569	612,8
ENERO 2016	679	510	593,9

FEBRERO	651	529	593,6
MARZO	662	458	553,8
ABRIL	579	369	523,7



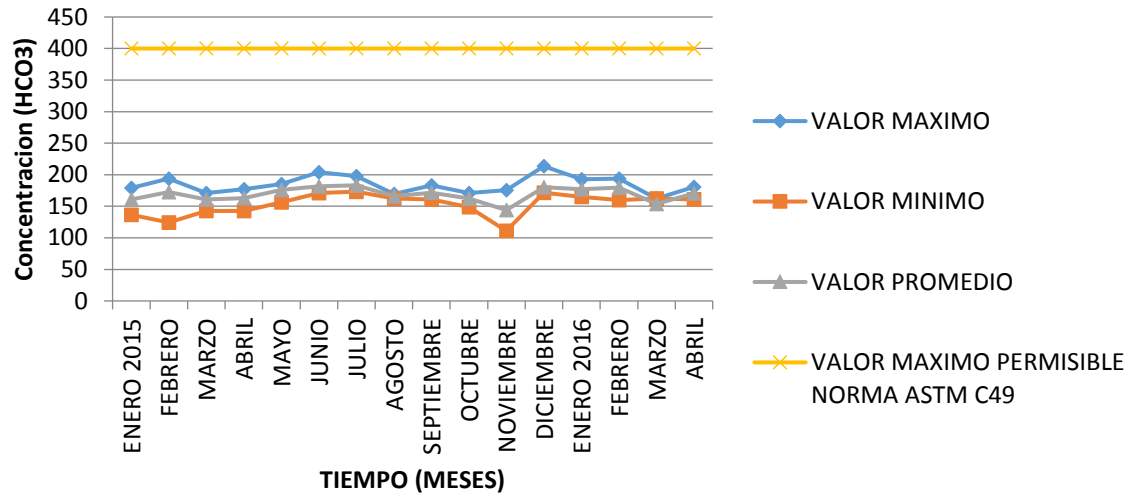
pH					
TIEMPO (MESES)	VALOR MAXIMO (unidades)	VALOR MINIMO (unidades)	VALOR PROMEDIO (unidades)	VALOR MINIMO PERMISIBLE NORMA ASTM C-94 (unidades)	VALOR MAXIMO PERMISIBLE NORMA ASTM C-94 (unidades)
ENERO 2015	7,5	7,0	7,3	6	8
FEBRERO	8,0	7,3	7,4	6	8
MARZO	7,4	7,2	7,3	6	8
ABRIL	7,4	7,0	7,3	6	8
MAYO	7,4	6,9	7,2	6	8
JUNIO	7,4	7,0	7,2	6	8
JULIO	7,5	7,0	7,3	6	8
AGOSTO	7,4	6,9	7,2	6	8
SEPTIEMBRE	7,4	7,0	7,2	6	8
OCTUBRE	7,5	7,1	7,3	6	8

NOVIEMBRE	7,4	7,0	7,3	6	8
DICIEMBRE	7,5	7,0	7,3	6	8
ENERO 2016	7,4	7,2	7,3	6	8
FEBRERO	7,5	7,0	7,3	6	8
MARZO	7,6	7,0	7,2	6	8
ABRIL	7,5	7,1	7,2	6	8

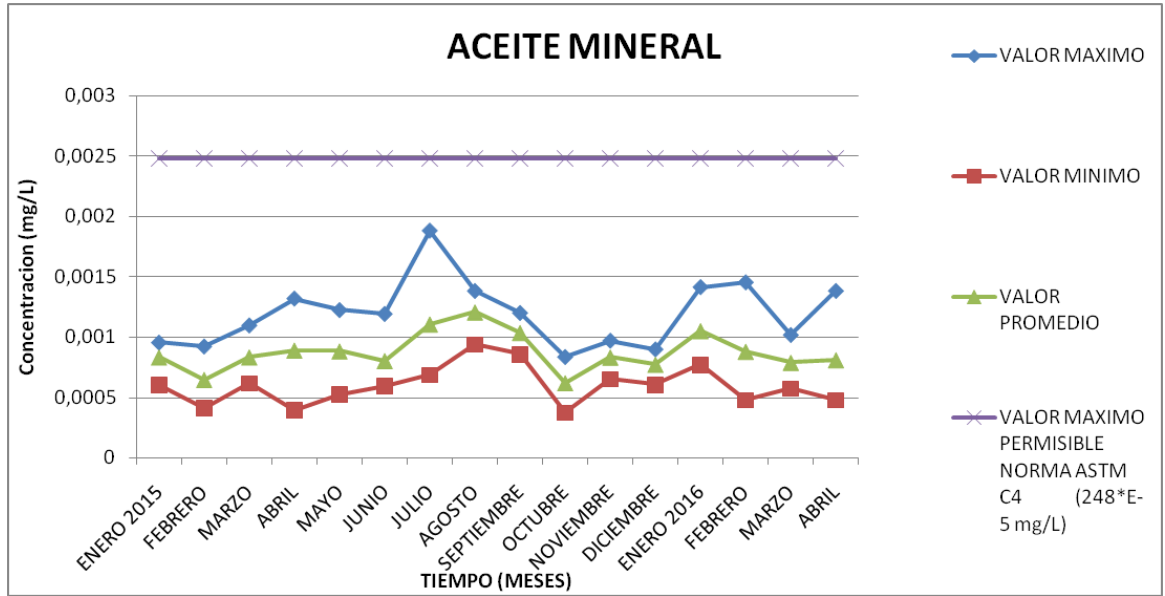


BICARBONATO EXPRESADO DE PARAMETRO ALCALINIDAD				
TIEMPO (MESES)	VALOR MAXIMO (mg/L)	VALOR MINIMO (mg/L)	VALOR PROMEDIO (mg/L)	VALOR MAXIMO PERMISIBLE NORMA ASTM C-94 (mg/L)
ENERO 2015	179,3	136,6	160,7	400
FEBRERO	193,9	124,4	172,3	400
MARZO	170,8	142,7	160,7	400
ABRIL	176,9	142,7	162,9	400
MAYO	185,4	156,2	176,3	400
JUNIO	203,7	170,8	181,5	400
JULIO	197,6	173,2	183,3	400
AGOSTO	169,6	162,3	165,9	400
SEPTIEMBRE	183,0	161,0	171,3	400
OCTUBRE	170,8	148,8	162,3	400
NOVIEMBRE	175,7	111,0	143,9	400
DICIEMBRE	213,5	171,5	180,3	400
ENERO 2016	192,8	164,7	177,1	400
FEBRERO	193,9	159,8	179,6	400
MARZO	162,3	162,3	153,7	400
ABRIL	180,6	161,0	170,6	400

BICARBONATOS

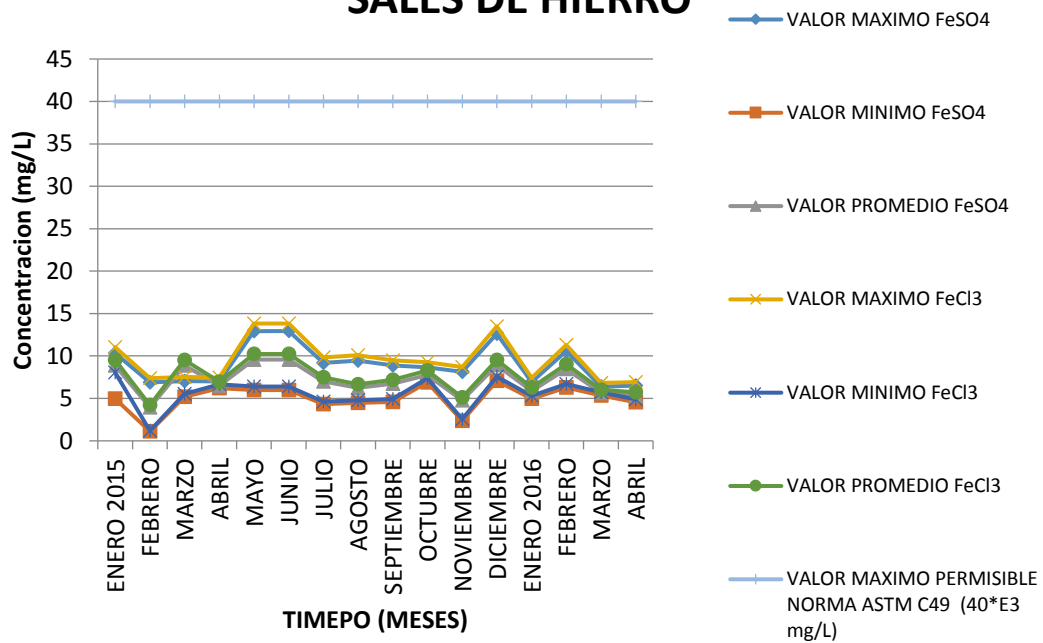


ACEITE MINERAL EXPRESADO DE PARAMETRO GRASAS Y ACEITES				
TIEMPO (MESES)	VALOR MAXIMO (mg/L)	VALOR MINIMO (mg/L)	VALOR PROMEDIO (mg/L)	VALOR MAXIMO PERMISIBLE NORMA ASTM C-94 (248*E-5) (mg/L)
ENERO 2015	0,00095	0,00060	0,00083	0,0025
FEBRERO	0,00092	0,00041	0,00065	0,0025
MARZO	0,0011	0,00062	0,00083	0,0025
ABRIL	0,0013	0,00039	0,00089	0,0025
MAYO	0,0012	0,00052	0,00088	0,0025
JUNIO	0,0012	0,00059	0,00080	0,0025
JULIO	0,0019	0,00069	0,0011	0,0025
AGOSTO	0,0014	0,00094	0,0012	0,0025
SEPTIEMBRE	0,0012	0,00086	0,0010	0,0025
OCTUBRE	0,00083	0,00037	0,00062	0,0025
NOVIEMBRE	0,00097	0,00065	0,00083	0,0025
DICIEMBRE	0,00089	0,00060	0,00077	0,0025
ENERO 2016	0,0014	0,00077	0,0010	0,0025
FEBRERO	0,0014	0,00048	0,00088	0,0025
MARZO	0,0010	0,00057	0,00079	0,0025
ABRIL	0,0014	0,00048	0,00081	0,0025



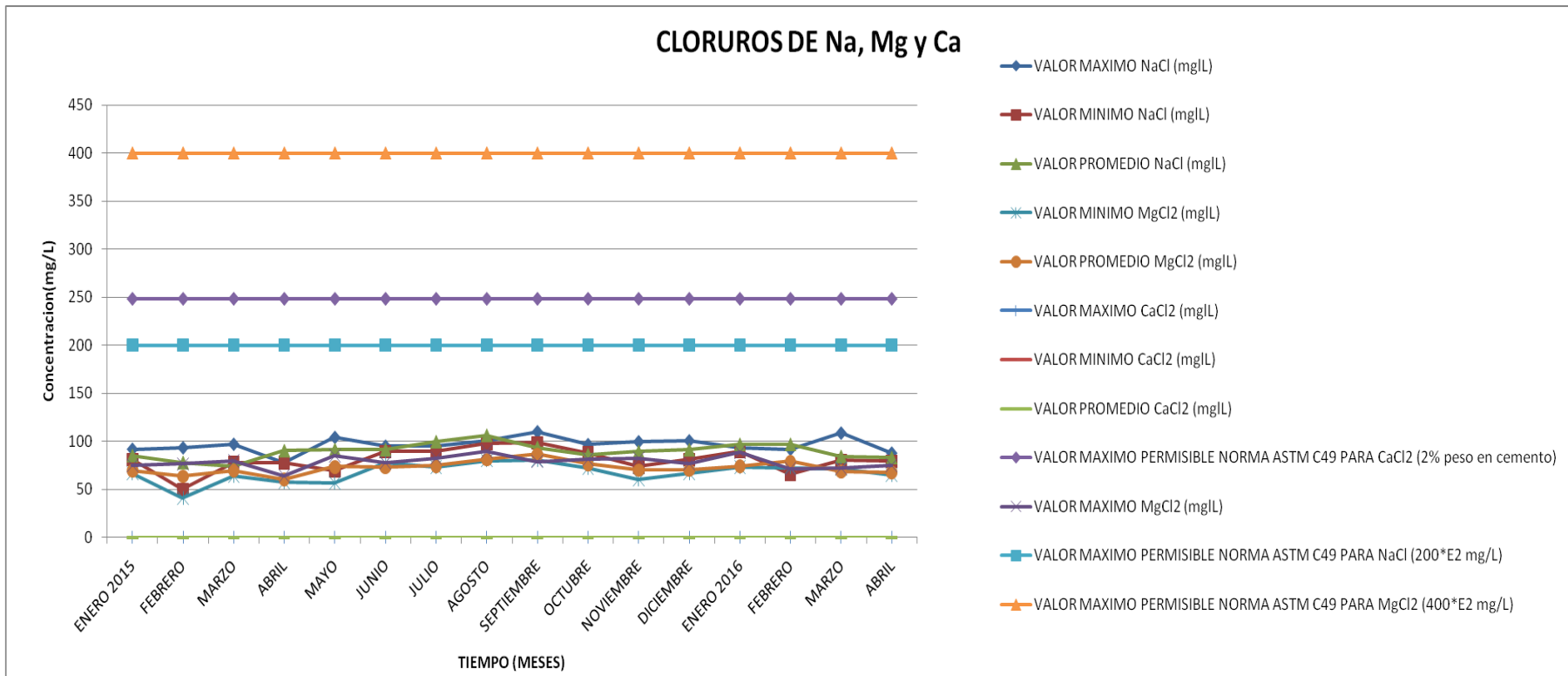
SALES DE HIERRO EXPRESADO DE PARAMETRO HIERRO TOTAL							
TIEMPO (MESES)	VALOR MAXIMO O FeSO4 (mg/L)	VALOR MINIMO O FeSO4 (mg/L)	VALOR PROMEDIO FeSO4(mg/L)	VALOR MAXIMO O FeCl3 (mg/L)	VALOR MINIMO O FeCl3 (mg/L)	VALOR PROMEDIO O FeCl3 (mg/L)	VALOR MAXIMO PERMISIBL E NORMA ASTM C94 (40*E3) (mg/L)
ENERO 2015	10,3	4,9	8,9	11,0	8,0	9,5	40
FEBRERO	6,9	1,1	3,9	7,4	1,2	4,2	40
MARZO	7,0	5,1	8,9	7,5	5,5	9,5	40
ABRIL	6,9	6,2	6,5	7,5	6,7	6,9	40
MAYO	12,9	5,9	9,6	13,8	6,4	10,2	40
JUNIO	12,9	5,9	9,6	13,8	6,4	10,2	40
JULIO	9,19	4,3	7,0	9,8	4,6	7,5	40
AGOSTO	9,4	4,4	6,2	10,1	4,8	6,7	40
SEPTIEMBRE	8,9	4,5	6,7	9,5	4,9	7,2	40
OCTUBRE	8,7	6,9	7,7	9,3	7,4	8,3	40
NOVIEMBRE	8,1	2,4	4,8	8,7	2,5	5,1	40
DICIEMBRE	12,6	7,1	8,9	13,5	7,5	9,5	40
ENERO 2016	6,9	4,9	5,9	7,4	5,3	6,3	40
FEBRERO	10,6	6,3	8,5	11,3	6,7	9,1	40
MARZO	6,4	5,3	5,7	6,8	5,7	6,0	40
ABRIL	6,5	4,6	5,3	6,9	4,9	5,7	40

SALES DE HIERRO



CLORUROS DE SODIO, CALCIO Y MAGNESIO EXPRESADO DE PARAMETRO CLORUROS												
TIEMPO (MESES)	VALOR MAXIMO NaCl (mg/L)	VALOR MINIMO NaCl (mg/L)	VALOR PROMEDIO NaCl (mg/L)	VALOR MAXIMO (mg/L)	VALOR MINIMO MgCl2 (mg/L)	VALOR PROMEDIO MgCl2 (mg/L)	VALOR MAXIMO CaCl2 (mg/L)	VALOR MINIMO CaCl2 (mg/L)	VALOR PROMEDIO CaCl2 (mg/L)	VALOR MAXIMO PERMISIBLE NORMA ASTM C-94 PARA NaCl (200*E2)(mg/L)	VALOR MAXIMO PERMISIBLE NORMA ASTM C-94 PARA MgCl2 (400*E2)(mg/L)	VALOR MAXIMO PERMISIBLE NORMA ASTM C-94 PARA CaCl2 (248*E2)(mg/L)
ENERO 2015	91,8	81,3	85,1	74,8	66,2	69,3	0,0044	0,0039	0,0041	200	400	248
FEBRERO	93,3	49,9	77,9	75,9	40,7	63,5	0,0045	0,0024	0,0038	200	400	248
MARZO	96,9	77,8	73,9	78,9	63,4	69,3	0,0047	0,0037	0,0041	200	400	248
ABRIL	77,8	77,8	90,1	63,4	57,2	60,1	0,0037	0,0034	0,0036	200	400	248
MAYO	104,0	69,2	91,3	84,7	56,4	73,3	0,0050	0,0033	0,0043	200	400	248
JUNIO	94,9	89,2	91,3	77,3	77,3	72,6	0,0044	0,0046	0,0044	200	400	248
JULIO	94,9	89,2	99,4	82,3	72,6	74,3	0,0046	0,0043	0,0044	200	400	248
AGOSTO	101,1	97,8	106,0	89,4	79,6	80,9	0,0049	0,0047	0,0048	200	400	248

SEPTIEMBRE	109,8	98,4	93,6	78,7	80,1	86,3	0,0053	0,0047	0,0051	200	400	248
OCTUBRE	96,6	87,9	86,0	81,1	71,6	76,2	0,0047	0,0042	0,0045	200	400	248
NOVIEMBRE	99,6	73,4	89,2	81,9	59,7	70,1	0,0048	0,0035	0,0041	200	400	248
DICIEMBRE	100,6	81,3	90,9	76,3	66,2	70,1	0,0048	0,0039	0,0043	200	400	248
ENERO 2016	93,6	89,34	96,7	88,3	72,8	74,1	0,0048	0,0043	0,0044	200	400	248
FEBRERO	91,8	65,6	96,7	70,8	72,2	78,7	0,0045	0,0043	0,0047	200	400	248
MARZO	108,5	79,9	84,1	71,6	70,8	68,5	0,0052	0,0038	0,0040	200	400	248
ABRIL	87,9	79,1	82,9	332,9	64,4	67,6	0,0042	0,0038	0,0039	200	400	248



Anexo 3 Diseño de mezcla compuesta por PTAR Cañaveralejo.

EMCALI		CAUDAL PROMEDIO DIARIO (m³/s) Y ALICUOTAS DE COMPOSICIÓN (mL) PTAR-C									
EMCALI		CÓDIGO: 067P011098F001					VERSION: 1				
		FECHA (dd - mmm - aaaa)					04-Abr-2016 (05 - Abril - 2016)				
DATOS DESDE BASE DE DATOS						ALICUOTAS COMPOSICIÓN (mL)				NÚMERO DE MUESTRA	
HORA	AGUABLANCA Y NAVARRO (m³/s)	CAÑAVERALEJO (m³/s)	IMPULSIONES (m³/s)	COLECTOR CENTRAL (m³/s)	COLECTOR TRASVASE (m³/s)	CAUDAL TOTAL (m³/s)	AFLUENTE EFLENTE	IMPULSIONES	COLECTOR CENTRAL	COLECTOR TRASVASE	NÚMERO DE MUESTRA
0						6.01	8710	0	0	0	Muestra - 01
1						5.90	6587	0	0	0	Muestra - 02
2						5.81	6487	0	0	0	Muestra - 03
3						5.62	6274	0	0	0	Muestra - 04
4						5.39	6018	0	0	0	Muestra - 05
5						5.33	5951	0	0	0	Muestra - 06
6						5.92	6609	0	0	0	Muestra - 07
7						6.14	6855	0	0	0	Muestra - 08
8						6.00	6699	0	0	0	Muestra - 09
9							#VALORI	0	0	0	Muestra - 10
10							#VALORI	0	0	0	Muestra - 11
11							#VALORI	0	0	0	Muestra - 12
12							#VALORI	0	0	0	Muestra - 13
13							#VALORI	0	0	0	Muestra - 14
14	2.53	1.81	4.34	1.74	0.87	6.95	7763	15612	14094	13756	Muestra - 15
15	2.48	1.80	4.28	1.53	0.83	6.64	7415	15402	12377	13101	Muestra - 16
16	2.40	1.78	4.18	1.50	0.83	6.51	7265	15051	12126	13010	Muestra - 17
17	2.25	1.79	4.04	1.46	0.72	6.22	6945	14540	11805	11346	Muestra - 18
18	1.72	1.79	3.52	1.43	0.82	5.77	6437	12645	11556	12972	Muestra - 19
19	1.82	1.80	3.62	1.42	0.58	5.63	6287	13035	11530	9197	Muestra - 20
20	1.83	1.79	3.63	1.53	0.49	5.65	6306	13041	12416	7709	Muestra - 21
21	0.88	1.79	3.63	1.53	0.49	5.65	6306	13041	12416	7709	Muestra - 22
22	1.50	0.05	1.55	1.45	0.85	3.85	4295	5570	11726	13409	Muestra - 23
23	1.78	0.00	1.78	1.40	0.84	4.02	4485	6398	11333	13226	Muestra - 24
Caudal Total m³/d	165.880	124.810	290.690	129.082	86.313	492.844					
Media	1.92	1.44	3.36	1.49	0.77	5.70	Volumen composición de muestra (mL)			121.000	
Desviación	0.51	0.75	1.02	0.10	0.13	0.78					
Min	0.88	0.00	1.55	1.40	0.49	3.85					
Max	2.53	1.82	4.34	1.74	0.87	6.95					

EMCALI		CAUDAL PROMEDIO DIARIO (m³/s) Y ALICUOTAS DE COMPOSICIÓN (mL) PTAR-C									
EMCALI		CÓDIGO: 067P011098F001					VERSION: 1				
		FECHA (dd - mmm - aaaa)					05-Abr-2016				
DATOS DESDE BASE DE DATOS						ALICUOTAS COMPOSICIÓN (mL)				NÚMERO DE MUESTRA	
HORA	AGUABLANCA Y NAVARRO (m³/s)	CAÑAVERALEJO (m³/s)	IMPULSIONES (m³/s)	COLECTOR CENTRAL (m³/s)	COLECTOR TRASVASE (m³/s)	CAUDAL TOTAL (m³/s)	AFLUENTE EFLENTE	IMPULSIONES	COLECTOR CENTRAL	COLECTOR TRASVASE	NÚMERO DE MUESTRA
0	1.92	1.80	3.83	1.35	0.84	6.01	923	915	915	974	Muestra - 01
1	1.82	1.84	3.76	1.29	0.84	5.69	905	900	876	972	Muestra - 02
2	1.87	1.85	3.72	1.26	0.83	5.81	891	889	854	967	Muestra - 03
3	1.83	1.86	3.69	1.24	0.69	5.62	863	882	841	804	Muestra - 04
4	1.80	1.85	3.65	1.25	0.49	5.39	828	872	852	572	Muestra - 05
5	1.77	1.82	3.60	1.24	0.50	5.33	819	860	843	579	Muestra - 06
6	1.83	1.77	3.69	1.30	0.93	5.92	909	884	881	1080	Muestra - 07
7	2.12	1.76	3.88	1.38	0.88	6.14	943	928	937	1028	Muestra - 08
8	1.87	1.78	3.64	1.47	0.88	6.00	921	871	1000	1025	Muestra - 09
9							0	0	0	0	Muestra - 10
10							0	0	0	0	Muestra - 11
11							0	0	0	0	Muestra - 12
12							0	0	0	0	Muestra - 13
13							0	0	0	0	Muestra - 14
14							0	0	0	0	Muestra - 15
15							0	0	0	0	Muestra - 16
16							0	0	0	0	Muestra - 17
17							0	0	0	0	Muestra - 18
18							0	0	0	0	Muestra - 19
19							0	0	0	0	Muestra - 20
20							0	0	0	0	Muestra - 21
21							0	0	0	0	Muestra - 22
22							0	0	0	0	Muestra - 23
23							0	0	0	0	Muestra - 24
Caudal Total m³/d	163.458	157.707	321.164	113.115	65.968	500.247					
Media	1.89	1.83	3.72	1.31	0.76	5.79	Volumen composición de muestra (mL)			8.000	
Desviación	0.10	0.05	0.08	0.08	0.17	0.28					
Min	1.77	1.76	3.60	1.24	0.49	5.33					
Max	2.12	1.90	3.88	1.47	0.93	6.14					

Fuente: PTAR Cañaveralejo

Anexo 4 Metodología empleada en las pruebas fisicoquímicas entregadas por la PTAR Cañaveralejo.

PARAMETRO	UNIDAD	MÉTODOS
pH	Unidades	4500- H ⁺ B
DBO ₅	mg O ₂ /L	5210-B y 4500-O G
DQO	mg O ₂ /L	ISO 15705
S.T.	mg/L	2540-B
S.S.T.	mg/L	2540-D
S.S.V.	mg/L	2540-E
S.S.	mL/L	2540-F
Conductividad	μS/cm	2510-B
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	2320-B
Acidez	mg CaCO ₃ /L	2310-B
Cloruros	Mg Cl /L	4500-Cl ⁻ B
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	4500- SO ₄ ²⁻ E
Detergentes Anionicos	mg SAAM/L	5540-C
Fenoles Totales	mg Fenol /L	5530-B y 5530-C
Cianuros Totales	mg/L	4500-CN ⁻ C y Test 5 -22 Visicolor ECO
Grasa y Aceites	mg/L	5520-B
Nitrógeno Total	mg N/L	4500-N _{org} -B, 4500-NH ₃ B. y 4500-NH ₃ C.
Fosforo Total	mg P/L	4500-P B y 4500-P D
Plomo Total	mg/L	3030 F y 3111-B
Cromo Total	mg/L	3030 F y 3111-B
Zinc Total	mg/L	3030 F y 3111-B
Hierro Total	mg/L	3030 F y 3111-B
Mercurio Total	mg/L	EPA 7470-A
Turbiedad	NTU	N.E.
Color	UPC	N.E.
Dureza Total	mg/L	N.E.
Nitratos	mg/L	N.E.
Nitritos	mg/L	N.E.
Cloro residual	mg/L	N.E.
Olor	-	-

Anexo 5 Pruebas de Molisch, detección de pigmentos para presencia de algas y Yodimetría.

- **Prueba de Molisch para detectar azúcares**

Equipos e instrumentos: Tubos de ensayo, Baño María, Pipetas, Propipetas, Campana de Extracción

Reactivos: α -Naftol ò 1 Naftol ò 1- Hidroxinaftaleno; alcohol etílico (95% - 96%), ácido sulfúrico concentrado; azúcar común, agua destilada

Preparación del reactivo de Molisch: Se disolvieron 100 g de α -Naftol en 100 mL de Alcohol Etílico 95% (se debe preparar antes de hacer la prueba). Para la muestra ejemplo se usaron 5 g de Azúcar en 100mL de agua.

Procedimiento: En un tubo de ensayo se depositaron 10 mL de la muestra de A.R.T., en un segundo tubo de ensayo se depositaron 10 mL de agua destilada con 5 g de azúcar común. Un tercer tubo, muestra blanco se hace con 10 mL de agua de grifo.

Se añaden 3 gotas de reactivo de Molisch (α -Naftol al 5% en Etanol) a cada tubo y se mezcla el contenido. Se inclinaron los tubos y se dejó resbalar cuidadosamente 1 mL de Ácido Sulfúrico concentrado a lo largo de la pared del tubo de manera que se forme una capa bajo la fase acuosa.

Se calentaron los tubos en “Baño María” unos minutos. La reacción se consideró positiva si se formó un anillo rojo violáceo en la interfase, caso contrario es negativo. Este proceso se realizó tres veces con tres muestras similares.

- **Detección de pigmentos para presencia de algas**

Equipos e instrumentos: Embudo de separación, Pipetas, Propipetas, Centrifuga 4000 RPM, Tubos para centrifuga, Contenedores plásticos de 1 mL, Erlenmeyer, Beaker, Bomba de vacío, Placas de vidrio para cromatografía de 2 x 5 cm, Capilares, Cámara de vidrio de 20 x 10 x 10 cm con cubierta, Cámara de rayos U.V., Microscopio óptico estándar.

Reactivos: Hexano al 70 %, Acetona al 30 % y agua destilada.

Procedimiento: Se filtró 1 L de muestra problema con la bomba de vacío, se colocaron 20mL de esta muestra, más 10 mL de Hexano en los tubos para centrifugar. Se llevó a la centrifugadora durante 5 minutos a 4000 RPM, se extrajo con pipeta la capa líquida superior del tubo; esa capa pertenece al Hexano.

Se vertió este Hexano en el embudo de separación que contenía Acetona en partes iguales al volumen de Hexano que se vertió en el embudo de separación. Esta mezcla produjo una reacción de turbulencia, se esperó que la mezcla se estabilizara y se retiró la capa inferior que se formó, esta se llevó a baño maría para reducción hasta quedar aproximadamente 1 mL.

Se tomó una placa de cromatografía y con un lápiz se trazaron líneas a cada extremo de la placa de 0,5 cm a partir del borde, con un capilar se tomó la muestra reducida y se esparció sobre una de las líneas previamente marcadas en la placa, la placa se introdujo en una cámara de vidrio que contenía una mezcla de Hexano-Acetona en proporción 70%-30% respectivamente, de esta solución se colocó una cantidad que alcance una altura de 2 mm desde la base interna de la cámara.

Se colocó la placa de vidrio en forma paralela de manera que absorbiera la solución contenida en la cámara, se tuvo cuidado de que no se caiga la placa, y se cubrió la cámara con una lámina de vidrio para que se produzca saturación, una vez la solución subió por la placa hasta la marca opuesta, se llevó a cámara de rayos UV, el color rojo indicó la presencia de Clorofila.

Del tubo que se centrifugó inicialmente, quedó en el recipiente la capa inferior, esta se sometió nuevamente a centrifugadora durante 5 minutos a 4000 RPM, con cuidado se desechó la parte de líquido, ya que la parte sólida queda en el fondo, esta parte sólida se la colocó en un recipiente aún más pequeño y se centrifugó nuevamente para eliminar toda la parte líquida, una vez se tuvo solo la parte sólida, se realizó un extendido al microscopio y se observó para determinar que estructuras se pueden encontrar.

Para el desarrollo de este proyecto se empleó como muestra problema agua residual tratada y agua de *tradescantia* (muestra ejemplo). El procedimiento se repitió una vez con la muestra ejemplo y 5 veces con muestra problema.

- **Prueba Yodimétrica para valorar sulfitos**

Equipos e instrumentos: Balanza electrónica, varilla de vidrio, espátulas, Erlenmeyer, Bureta, Beaker, Pipetas y Propipetas.

Reactivos: Yodo en polvo (99% alta pureza), Yoduro de Potasio en polvo (99% alta pureza), Solución de Almidón, agua destilada, Ácido Sulfúrico 3 N

Preparación de una solución de Yodo – Yoduro 0,1N: Se pesaron en la balanza 3.1725g de Yodo puro se incorporó en un matraz volumétrico de 250 mL, previamente se midieron 4.5g de Yoduro de Potasio en 8.75 mL de agua destilada y se incorporaron en el matraz, se mezcló toda la solución y se agitó el contenido

hasta disolver totalmente el yodo, se completó con agua destilada hasta aforar los 250mL. Este procedimiento se realizó en un lugar donde la luz solar no interfiriera y se almacenó en un contenedor ámbar fuera del alcance de luz solar.

Procedimiento: Este procedimiento se realizó en un cuarto cerrado con luz artificial tenue. Se midieron 10mL de la muestra problema con pipeta de doble aforo y se descargó en un Erlenmeyer, se agregó agua destilada hasta completar 70 mL y adicionalmente 2 mL de Almidón.

Se cargó la bureta con la solución de Yodo-Yoduro preparada previamente, se miden 10 mL de Ácido Sulfúrico 3N, se vierte a la solución a valorar y se tituló con la solución de Yodo rápidamente. Para determinar la cantidad de sulfitos se tuvo en cuenta el volumen gastado de titulante al momento que la solución vira a azul.

Anexo 6 Conversiones y relaciones de parámetros analizados de muestra de agua para mezcla de hormigón en comparación con norma ASTM C-94

Cloruros como Cloruro de Sodio (NaCl), Cloruro de Magnesio (MgCl₂) y Cloruro de Calcio (CaCl₂)

Para expresar los valores adquiridos del ion Cl equivalentes en compuestos, se realizó una estimación mediante la siguiente fórmula general:

$$\text{Concentración} \left(\frac{mg}{L} \right) = \text{concentración del ion} \left(\frac{mg}{L} \right) * \frac{\text{peso molecular comp. solicitado} (mg)}{\text{peso molecular de ion} (mg)}$$

Para introducir los datos en la fórmula se debe calcular los pesos moleculares de los iones y sustancias requeridas:

Para NaCl de PTAR

$$\text{Concentración NaCl} \left(\frac{mg}{L} \right) = \text{concentración cloruros} \left(\frac{mg}{L} \right) * \frac{\text{peso molecular (NaCl)}}{\text{peso molecular de (Cl)}}$$

$$\text{Concentración NaCl} \left(\frac{mg}{L} \right) = 48,8 * \frac{58,46}{35,46} = 80,45 \frac{mg}{L}$$

Para NaCl de PTAP

$$\text{Concentración NaCl} \left(\frac{mg}{L} \right) = 6,0 * \frac{58,46}{35,46} = 9,89 \frac{mg}{L}$$

Para MgCl₂ de PTAR

$$\text{Concentración MgCl}_2 \left(\frac{mg}{L} \right) = \text{Concentración Cloruros} \left(\frac{mg}{L} \right) * \frac{\text{peso molecular (MgCl}_2)}{2 * \text{peso molecular de (Cl)}}$$

$$\text{Concentración MgCl}_2 \left(\frac{mg}{L} \right) = 48,8 * \frac{95,22}{2 * 35,46} = 65,52 \frac{mg}{L}$$

Para MgCl₂ de PTAP

$$\text{Concentración MgCl}_2 \left(\frac{mg}{L} \right) = 6,0 * \frac{95,22}{2 * 35,46} = 8,06 \frac{mg}{L}$$

Para CaCl₂ de PTAR

$$\text{Concentración CaCl}_2 \left(\frac{mg}{L} \right) = \text{Concentración Cloruros} \left(\frac{mg}{L} \right) * \frac{\text{peso molecular (CaCl}_2)}{2 * \text{peso molecular de (Cl)}}$$

$$\text{Concentración CaCl}_2 \left(\frac{mg}{L} \right) = 48,8 * \frac{110,92}{2 * 35,46} = 76,32 \frac{mg}{L}$$

El CaCl_2 es un contaminante, como lo denomina la norma en la tabla 11, que esta expresado respecto a la cantidad de cemento usado en el diseño (máximo 2% respecto al peso de cemento). Por lo tanto se requiere hacer los respectivos cálculos así:

La concentración de 76,32 mg/ L; indica que en un litro de A.R.T. hay 76,32 mg de CaCl_2 , la cantidad A.R.T. usada en el diseño es 9030 g (para la proporción de 100% A.R.T. y con corrección para asentamiento de 15 cm); asumiendo densidad de 916,8 Kg/m^3 en condiciones normales (Campo *et al.*, 2006), se obtiene:

$$\frac{76,32 \text{ mg CaCl}_2}{1 \text{ L A.R.T.}} * \frac{1000 \text{ L ART}}{1 \text{ m}^3 \text{ A.R.T.}} * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ A.R.T.}}{916,8 \text{ Kg A.R.T.}} = \frac{83,25 \text{ mg CaCl}_2}{1 \text{ Kg A.R.T.}}$$

De esta manera:

$$\frac{83,25 \text{ mg CaCl}_2}{1 \text{ Kg A.R.T.}} * \frac{1 \text{ Kg A.R.T.}}{1000 \text{ g A.R.T.}} * \frac{1 \text{ g CaCl}_2}{1000 \text{ mg CaCl}_2} * 9030 \text{ g A.R.T.} = 0,75 \text{ g CaCl}_2$$

Se tiene que 12400 g de cemento fue usado en el diseño, equivale un 100% entonces:

$$\% \text{ de CaCl}_2 \text{ en diseño} = \frac{0,75 \text{ g} * 100 \%}{12400 \text{ g}} = 0,0060\%$$

Significa que está contenido en una proporción de 0,0060 % respecto al peso de cemento.

Para CaCl_2 de PTAP

$$\text{Concentración MgCl}_2 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 6,0 * \frac{110,92}{2 * 35,46} = 9,38 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

La concentración de 9,38 mg/ L; indica que en un litro de A.P. hay 9,38 mg de CaCl_2 , la cantidad A.P. usada en el diseño es 9030 g (para la proporción de 100% A.P. y con corrección para asentamiento de 15 cm); asumiendo densidad de 916,8 Kg/m^3 en condiciones normales, se obtiene:

$$\frac{9,38 \text{ mg CaCl}_2}{1 \text{ L A.P.}} * \frac{1000 \text{ L A.P.}}{1 \text{ m}^3 \text{ A.P.}} * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ A.P.}}{916,8 \text{ Kg A.P.}} = \frac{10,23 \text{ mg CaCl}_2}{1 \text{ Kg A.P.}}$$

De esta manera:

$$\frac{10,23 \text{ mg CaCl}_2}{1 \text{ Kg A.P.}} * \frac{1 \text{ Kg A.P.}}{1000 \text{ g A.P.}} * \frac{1 \text{ g CaCl}_2}{1000 \text{ mg CaCl}_2} * 9030 \text{ g A.P.} = 0,092 \text{ g CaCl}_2$$

Se tiene que 12400 g de cemento fue usado en el diseño, equivale un 100% entonces:

$$\% \text{ de CaCl}_2 \text{ en diseño} = \frac{0,092 \text{ g} * 100 \%}{12400 \text{ g}} = 0,00074\%$$

Significa que está contenido en una proporción de 0,00074 % respecto al peso de cemento.

Alcalinidad Total como bicarbonato (HCO_3^-)

Se procede de forma similar a las anteriores conversiones, y obtener de esta manera la expresión en forma de Ion Bicarbonato:

Para HCO_3^- de PTAR

$$\text{Concentración HCO}_3^- \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \text{Concentración Alcalinidad} \left(\frac{\text{mgCaCO}_3}{\text{L}} \right) * \frac{\text{peso molecular (HCO}_3^-)}{\text{meq de (CaCO}_3)}$$

$$\text{Concentración HCO}_3^- \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 138 * \frac{61}{50} = 168,36 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Para HCO_3^- de PTAP

$$\text{Concentración HCO}_3^- \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 16,4 * \frac{61}{50} = 20,00 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Sulfatos como sulfato de sodio (Na_2SO_4) y sulfato de magnesio (MgSO_4)

Para Na_2SO_4 de PTAR

$$\text{Concentración Na}_2\text{SO}_4 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \text{Concentración Sulfatos} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * \frac{\text{peso molecular (Na}_2\text{SO}_4)}{\text{peso molecular de (SO}_4)}$$

$$\text{Concentración Na}_2\text{SO}_4 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 65,6 * \frac{142}{96} = 97 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Para Na_2SO_4 de PTAP

$$\text{Concentración Na}_2\text{SO}_4 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 16,37 * \frac{142}{96} = 24,21 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Para Na_2SO_4 de PTAR con A.R.T.R.

$$\text{Concentración } Na_2SO_4 \left(\frac{mg}{L} \right) = 64,8 * \frac{142}{96} = 95,85 \frac{mg}{L}$$

Para MgSO₄ de PTAR

$$\text{Concentración } MgSO_4 \left(\frac{mg}{L} \right) = \text{Concentración Sulfatos} \left(\frac{mg}{L} \right) * \frac{\text{peso molecular } (MgSO_4)}{\text{peso molecular de } (SO_4)}$$

$$\text{Concentración } MgSO_4 \left(\frac{mg}{L} \right) = 65,6 * \frac{120}{96} = 82 \frac{mg}{L}$$

Para MgSO₄ de PTAP

$$\text{Concentración } MgSO_4 \left(\frac{mg}{L} \right) = 16,37 * \frac{120}{96} = 20,46 \frac{mg}{L}$$

Para MgSO₄ de PTAR con A.R.T.R.

$$\text{Concentración } MgSO_4 \left(\frac{mg}{L} \right) = 64,8 * \frac{120}{96} = 81 \frac{mg}{L}$$

Sales de Hierro a través de Hierro Total

La medición del hierro total realizada por la Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater indica que hierro se disuelve y se reduce a estado ferroso, esto hace que se identifique las sales de hierro ferroso, la sal más común es el Sulfato de Hierro.

$$\text{Concentración } FeSO_4 \left(\frac{mg}{L} \right) = \text{Concentración hierro} \left(\frac{mg}{L} \right) * \frac{\text{peso molecular } (FeSO_4)}{\text{peso molecular de } (Fe)}$$

Para FeSO₄ de PTAR

$$\text{Concentración } FeSO_4 \left(\frac{mg}{L} \right) = 1,60 * \frac{151,91}{55,85} = 4,35 \frac{mg}{L}$$

Para FeSO₄ de PTAP

$$\text{Concentración } MgSO_4 \left(\frac{mg}{L} \right) = 0,14 * \frac{151,91}{55,85} = 0,38 \frac{mg}{L}$$

Para FeSO₄ de PTAR con A.R.T.R.

$$\text{Concentración } MgSO_4 \left(\frac{mg}{L} \right) = 3,98 * \frac{151,91}{55,85} = 10,83 \frac{mg}{L}$$

Adicionalmente, la norma específica un valor de concentración alto (40 000 ppm) de esta manera, el Hierro Total disponible no sobrepasa este valor límite de la norma.

Aceite Mineral como Grasas y Aceites

Las grasas y aceites de origen mineral pueden ser no biodegradables y requieren pretratamiento antes del tratamiento biológico. Sin embargo no existe un método que permita distinguir las grasas y aceites vegetales o animales de las de origen mineral (Romero, 2000). De esta manera se pueden interpretar los valores de este método como el conjunto de todas las grasas y aceites sin diferir en su origen.

La concentración de 10,2 mg/ L; indica que en un litro de A.R.T. hay 10,2 mg Grasas y aceites, la cantidad A.R.T. usada en el diseño es 9030 g (para la proporción de 100% A.R.T. y con corrección para asentamiento de 15 cm); asumiendo densidad de 916,8 Kg/m³ en condiciones normales, se obtiene:

$$\frac{10,2 \text{ mg GyA}}{1 \text{ L A.R.T.}} * \frac{1000 \text{ L ART}}{1 \text{ m}^3 \text{ A.R.T.}} * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ A.R.T.}}{916,8 \text{ Kg A.R.T.}} = \frac{11,13 \text{ mg GyA}}{1 \text{ Kg A.R.T.}}$$

De esta manera:

$$\frac{11,13 \text{ mg GyA}}{1 \text{ Kg A.R.T.}} * \frac{1 \text{ Kg A.R.T.}}{1000 \text{ g A.R.T.}} * \frac{1 \text{ g GyA}}{1000 \text{ mg GyA}} * 9030 \text{ g A.R.T.} = 0,10 \text{ g GyA}$$

Se tiene que 12400 g de cemento fue usado en el diseño, equivale un 100% entonces:

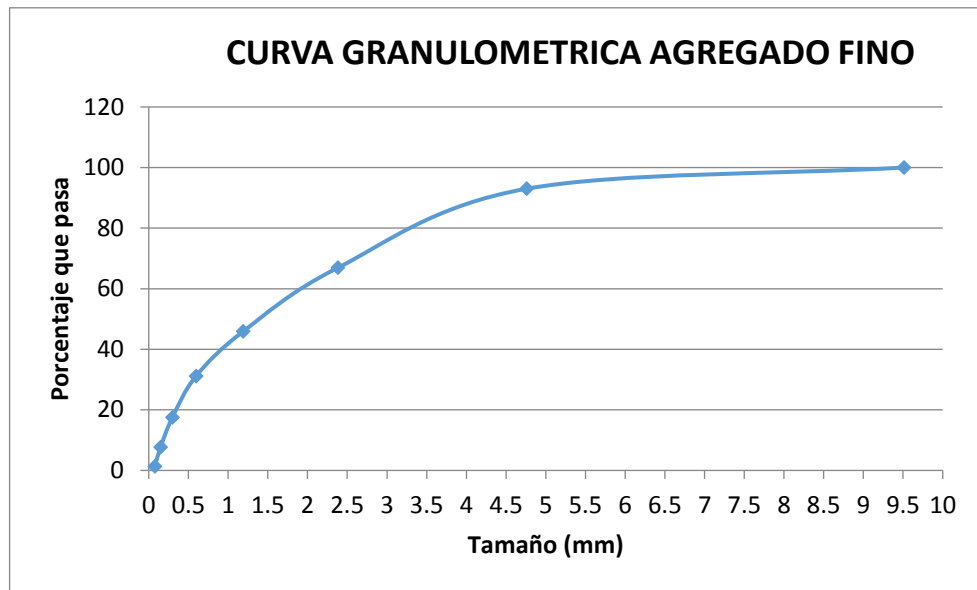
$$\% \text{ de GyA en diseño} = \frac{0,10 \text{ g} * 100 \%}{12400 \text{ g}} = 0,00081\%$$

Significa que está contenido en una proporción de 0,00081 % respecto al peso de cemento.

Anexo 7 Resultados de ensayos granulométricos

Ensayo granulométrico a la arena

Peso seco inicial de arena = 980 g					
Tamiz		Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
Pulgadas	mm				
3/8	9,5	0	0	0	100
No. 4	4,8	61	7,0	7,0	93,0
No. 8	2,4	228	26,1	33,1	66,9
No. 16	1,2	183	21,0	54,1	45,9
No. 30	0,6	129	14,8	68,9	31,1
No. 50	0,3	119,2	13,7	82,5	17,5
No. 100	0,1	85,4	9,8	92,3	7,7
No. 200	0,07	55,9	6,4	98,7	1,3
Fondo		11,2	1,3	100	0
Total		872,7	100	337,9	



Para obtener el módulo de finura se suman los valores de porcentaje retenido acumulado de los tamices 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50 y No. 100 y se divide entre 100.

$$\text{Módulo de finura} = 337,9 / 100 = 3,38$$

Este es un valor equivalente a un agregado de arena gruesa. Lo ideal es q este entre 2,3 y 3,1 para obtener un buen hormigón

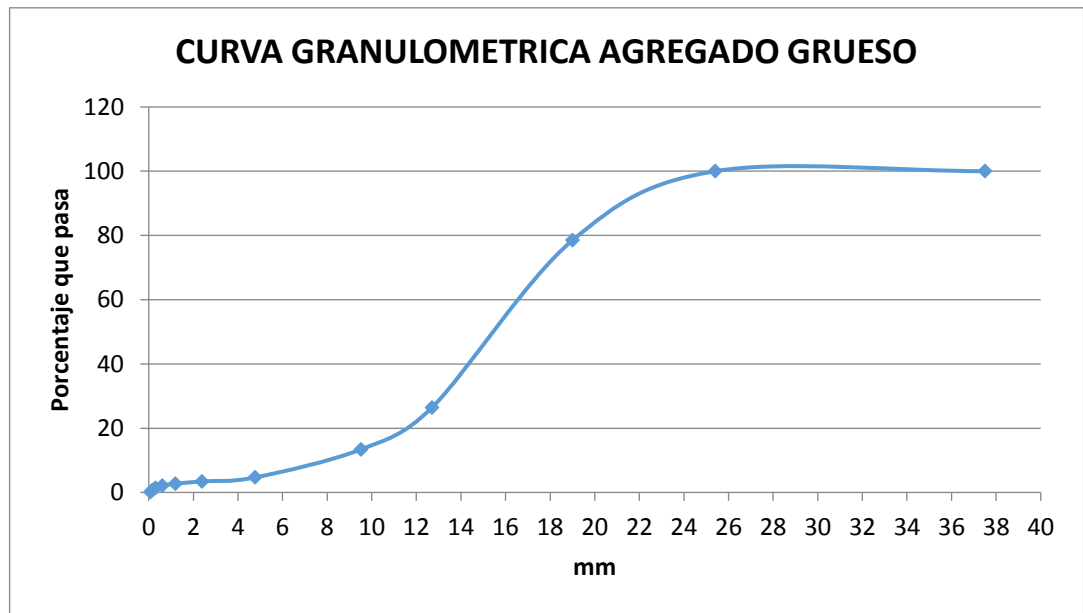
Tamaño máximo = 3/8" (9,51 mm)

Tamaño máximo nominal = No. 4 (4,76 mm)

Ensayo granulométrico a la grava

Peso seco inicial de grava = 4831 g					
Tamiz		Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
Pulgadas	mm				
1 1/2	37,5	0	0	0	100
1	25,4	0	0	0	100
3/4	19,0	1018,6	21,5	21,5	78,5
1/2	12,7	2464,1	52,1	73,6	26,4
3/8	9,5	617,0	13,0	86,6	13,4
No. 4	4,8	413,3	8,7	95,3	4,7

No. 8	2,4	57,8	1,2	96,6	3,4
No. 16	1,2	34,5	0,7	97,3	2,7
No. 30	0,6	27,4	0,6	97,9	2,1
No. 50	0,3	32,8	0,7	98,6	1,4
No. 100	0,1	31,8	0,7	99,2	0,8
No. 200	0,07	29,7	0,6	99,9	0,1
Fondo		6,6	0,1	100,0	0
Total		4733,6	100,0	372,4	



Para obtener el módulo de finura se suman los valores de porcentaje retenido acumulado de los tamices 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜" y No. 4

$$\text{Módulo de finura} = 372,4 / 100 = 3,72$$

Este es un valor equivalente a un agregado de grava gruesa. Lo ideal es q este entre 2,3 y 3,1 para obtener un buen hormigón

Tamaño máximo = 1" (25,4 mm)

Tamaño máximo nominal = ¾" (19,0 mm)

Anexo 8 Información técnica y características de cemento Portland tipo 1 CEMEX para uso general

INFORMACIÓN TÉCNICA		
Resistencias a compresión (Kg/cm²)		
1 día	60 - 100	NA
3 días	130 - 190	Mínimo 80
7 días	170 - 240	Mínimo 150
28 días	245 - 300	Mínimo 240
Análisis físicos	Rango resultados	Requisitos Norma NTC121
Superficie específica Blaine (cm ² /g)	3000 - 6000	Mínimo 2800
Tiempos de fraguado Vicat (minutos)		
Inicial	100 - 180	Mínimo 45
Final	180 - 260	Máximo 480
Expansión en autoclave (%)	0,00 - 0,20	Máximo 0,80
Análisis químicos		Requisitos Norma NTC321
% SO ₃	1,50 - 3,00	Máximo 3,5
%MgO	1,00 - 3,00	Máximo 7,0

Cumple las normas NTC 121 y 321 para Cemento Portland Tipo I.

Producto elaborado bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 por ICONTEC.

Beneficios

- Alta retención de agua que garantiza una excelente manejabilidad.
- Estabilidad en sus propiedades de fraguado, resistencia y color.
- Moderado calor de hidratación que minimiza la aparición de fisuras.

Usos y aplicaciones

- Ideal para la elaboración de morteros de pega, pañete, acabados y afinados de piso.
- Sirve para la elaboración de concretos de comportamiento normal en fraguados y resistencias.

Anexo 9 Información técnica y características de aditivo TM – 20

Descripción

Plastiment TM 20 es un aditivo líquido, color café oscuro, de gran poder retardante sobre el tiempo de fraguado del concreto y reductor de agua. No contiene cloruros.

Usos: Plastiment TM 20 extiende el tiempo de trabajabilidad y retarda el tiempo de fraguado de la mezcla de una forma considerable, facilitando el transporte, colocación, vibrado y acabado del concreto.

- Permite reducir hasta un 17% el agua de amasado, sin variar el asentamiento normal, obteniéndose un incremento considerable de las resistencias mecánicas a todas las edades.
- Se puede aprovechar el incremento de resistencias logrado con la reducción de agua, para disminuir el contenido de cemento y así optimizar y hacer más económico el diseño de la mezcla.
- Plastiment TM 20 se recomienda especialmente para la elaboración, transporte y bombeo de concreto en climas muy cálidos y uso de cemento Tipo III con muy cortos tiempos de fraguado. Es indicado cuando se requiera largo tiempo de transporte y evitar la formación de juntas frías, cuando se colocan grandes volúmenes de concreto.

Ventajas en el concreto endurecido:

- Incrementar considerablemente las resistencias mecánicas principalmente a edades finales
- Aumentar la compacidad y disminuir la permeabilidad.
- Mejorar el acabado del concreto a la vista
- Disminuir la contracción y la fluencia

Modo de empleo: Adicionarlo disuelto en la última porción de agua de amasado de la mezcla o directamente a la mezcla ya preparada.



Dosificación

Del 0,3 al 0,5% del peso del cemento de la mezcla.

Datos técnicos




Densidad: 1,14 ± 0,04 kg/l

Anexo 10 Fotos de cilindros después de prueba de rompimiento









Diseño	Fecha de mezcla	Hora de la Mezcla	Día Rotura	Proporción agua	Temperatura promedio día de mezcla (°C)	Fecha prueba Rompimiento	Fuerza ejercida (KN)	Fotos
DAR1	6 de abril de 2016	10:30 a.m.	7	Agua Residual	34°	12 de abril de 2016	249.4	
DAR2	6 de abril de 2016	10:30 a.m.	7	Agua Residual	34°	12 de abril de 2016	243.3	




DAR3	6 de abril de 2016	10:30 a.m.	14	Agua Residual	34°	20 de abril de 2016	287.6	
Diseño	Fecha de mezcla	Hora de la Mezcla	Día Rotura	Proporción agua	Temperatura promedio día de mezcla (°C)	Fecha prueba Rompimiento	Fuerza ejercida (KN)	Fotos
DAR4	6 de abril de 2016	10:30 a.m.	14	Agua Residual	34°	20 de abril de 2016	300.5	
DAR5	6 de abril de 2016	10:30 a.m.	28	Agua Residual	34°	4 de mayo de 2016	326.5	



DAR6	6 de abril de 2016	10:30 a.m.	28	Agua Residual	34°	4 de mayo de 2016	318.0	
Diseño	Fecha de mezcla	Hora de la Mezcla	Día Rotura	Proporción agua	Temperatura promedio día de mezcla (°C)	Fecha prueba Rompimiento	Fuerza ejercida (KN)	Fotos
D50/501	6 de abril de 2016	12:10 m	7	Agua Residual/Agua Potable	34°	13 de abril de 2016	255.1	





D50/502	6 de abril de 2016	12:10 m	7	Agua Residual/Agua Potable	34°	13 de abril de 2016	274.0	
D50/503	6 de abril de 2016	12:10 m	14	Agua Residual/Agua Potable	34°	20 de abril de 2016	319.8	
Diseño	Fecha de mezcla	Hora de la Mezcla	Día Rotura	Proporción agua	Temperatura promedio día de mezcla (°C)	Fecha prueba Rompimiento	Fuerza ejercida (KN)	Fotos
D50/504	6 de abril de 2016	12:10 m	14	Agua Residual/Agua Potable	34°	20 de abril de 2016	315.5	

D50/505	6 de abril de 2016	12:10 m	28	Agua Residual/Agua Potable	34°	4 de mayo de 2016	366.1	
D50/506	6 de abril de 2016	12:10 m	28	Agua Residual/Agua Potable	34°	4 de mayo de 2016	380.9	
Diseño	Fecha de mezcla	Hora de la Mezcla	Día Rotura	Proporción agua	Temperatura promedio día de mezcla (°C)	Fecha prueba Rompimiento	Fuerza ejercida (KN)	Fotos


DAP 1	6 de abril de 2016	12:40 m	7	Agua Potable	34°	13 de abril de 2016	212.3	 
DAP 2	6 de abril de 2016	12:40 m	7	Agua Potable	34°	13 de abril de 2016	266.1	  
DAP 3	6 de abril de 2016	12:40 m	14	Agua Potable	34°	20 de abril de 2016	324.9	  
Diseño	Fecha de mezcl	Hora de la Mezcl	Día Rotur a	Proporción agua	Temperatura promedio día de	Fecha prueba Rompimient	Fuerza ejercida (KN)	Fotos

	a	a			mezcla (°C)	o		
DAP 4	6 de abril de 2016	12:40 m	14	Agua Potable	34°	20 de abril de 2016	326.5	
DAP 5	6 de abril de 2016	12:40 m	28	Agua Potable	34°	4 de mayo de 2016	369.0	
DAP 6	6 de abril de 2016	12:40 m	28	Agua Potable	34°	4 de mayo de 2016	363.8	
Diseñ	Fecha	Hora	Día	Proporción	Temperatura	Fecha	Fuerza	Fotos

o	de mezcl a	de la Mezcl a	Rotur a	agua	promedio día de mezcla (°C)	prueba Rompimient o	ejercida (KN)	
DARR 7	13 de abril de 2016	11:30 am	7	Agua Residual	28°	20 de abril de 2016	249.8	
DARR 8	13 de abril de 2016	11:30 am	7	Agua Residual	28°	20 de abril de 2016	248.9	

DARR 9	13 de abril de 2016	11:30 am	28	Agua Residual	28°	11 de Mayo de 2016	326.1	
Diseño	Fecha de mezcla	Hora de la Mezcla	Día Rotura	Proporción agua	Temperatura promedio día de mezcla (°C)	Fecha prueba Rompimiento	Fuerza ejercida (KN)	Fotos
DARR 10	13 de abril de 2016	11:30 am	28	Agua Residual	28°	11 de Mayo de 2016	322.9	
D 50/50 R7	13 de abril de 2016	1:40 pm	7	Agua Residual/Agua Potable	28°	20 de abril de 2016	242.5	
D 50/50 R 8	13 de abril de 2016	1:40 pm	7	Agua Residual/Agua Potable	28°	20 de abril de 2016	243.4	

D 50/50 R 9	13 de abril de 2016	1:40 pm	28	Agua Residual/Ag ua Potable	28°	11 de Mayo de 2016	389.2	
Diseño	Fecha de mezcla	Hora de la Mezcla	Día Rotura	Proporción agua	Temperatura promedio día de mezcla (°C)	Fecha prueba Rompimiento	Fuerza ejercida (KN)	Fotos
D 50/50 R 10	13 de abril de 2016	1:40 pm	28	Agua Residual/Ag ua Potable	28°	11 de Mayo de 2016	359.6	
DARR 11	13 de abril de 2016	11:30 am	56	Agua Residual	28°	8 de junio de 2016	388.0	

D 50/50 R11	13 de abril de 2016	1:40 pm	56	Agua Residual/Ag ua Potable	28°	8 de junio de 2016	448.4	
-------------------	------------------------------	------------	----	-----------------------------------	-----	-----------------------	-------	---