



**EFFECTOS DE LA MATERIA ORGANICA DEL AGUA EN LA RESISTENCIA
DEL CONCRETO**



YANNINA ALBIS MESA

Estudiante

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D T. Y C.**

2016.



**EFFECTOS DE LA MATERIA ORGANICA DEL AGUA EN LA RESISTENCIA
DEL CONCRETO**

Grupo de investigación: Esconpat

Línea de investigación: Materiales de Construcción

YANNINA ALBIS MESA

Estudiante

**Proyecto de grado para optar el título de
Ingeniero Civil**

Ing. José Faustino España Moratto

Ingeniero civil- especialista en estructuras

Director

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D T. Y C.**

2016



NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL DIRECTOR
JOSE FAUSTINO ESPAÑA MORATTO

FIRMA DEL JURADO
MODESTO BARRIOS FONTALVO

FIRMA DEL JURADO
MONICA ELJAECK

Cartagena de indias. D. T y C.



DEDICATORIAS

A Dios por la esperanza que nos mueve y el amor que nos brinda la felicidad. A mis padres, quienes permanentemente me apoyaron con espíritu alentador, contribuyendo incondicionalmente a lograr las metas y objetivos propuestos. Dedico este trabajo, a los docentes que nos han acompañado durante este largo camino, brindándonos siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos como estudiante universitario. Dedico este trabajo de igual manera a mi director José España Moratto, quien me orientó en todo momento en la realización de este proyecto, que enmarca el último escalón hacia un futuro en donde seamos partícipe en el mejoramiento del proceso de enseñanza y aprendizaje. Por ultimo dedico este trabajo a mis amigos y seres queridos por el apoyo brindado y colaboración de esta gran etapa.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a dios y a mis familiares quienes estuvieron presente en el proceso de este sueño, al apoyo moral y académico que desde siempre me fue brindado por todos los docentes del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena, entre los que es de mi agrado mencionar: Al profesor José España por haber escuchado mis inquietudes y por sus sugerencias para el desarrollo de este proyecto, además por su ánimo brindado. Al profesor Esteban Puello, por el tiempo dedicado a la revisión y solvatación de todas las inquietudes, Al profesor Modesto Barrios por su colaboración y apoyo. Gracias a todas aquellas contribuciones del cuerpo docente de la Universidad que hoy por hoy nos tienen en los últimos pasos de nuestro proyecto de grado y próximamente de nuestra carrera profesional, que es para mí la mejor de las herencias. Por ultimo a mis amigos y seres queridos los cuales me brindaron una excelente compañía y colaboración en la realización de esta experiencia.



CONTENIDO

RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN.....	13
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
2. ALCANCE.....	17
2.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	17
2.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	16
2.3 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.....	16
2.4 PRODUCTO FINAL A ENTREGAR Y PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS	16
2.5. ASPECTOS QUE NO INCLUYE LA INVESTIGACIÓN	17
3. MARCO REFERENCIAL	18
3.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	18
3.2. MARCO TEORICO	22
3.2.1. Concreto	22
3.2.2. Composición del concreto	22
3.2.3. Propiedades en estado endurecido.....	28
3.2.4. Factores que inciden en la resistencia.....	28
3.2.5. Agua residual.....	30
3.2.6. Constituyentes del agua residual.....	31
3.2.7. Materia orgánica.	31
3.2.8. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	31
3.2.9. Ensayos a compresión del concreto.	33
3.3 MARCO LEGAL	38



3.3.1. Ley N: 1562 del 2012 "Por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional"	38
3.3.2. Ley 100 de 1993 (diciembre 23) "Por la cual se crea el sistema de seguridad social integral y se dictan otras disposiciones".....	38
3.3.2 Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10) –Titulo C-concreto estructural- capitulo C.4- requisitos de durabilidad.	39
3.3.3 Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10) –Titulo C-concreto estructural- capitulo C.3- materiales.	39
4 METODOLOGIA	41
4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
4.2 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	41
4.2.1. Fuentes primarias.....	41
4.2.2 Fuentes secundarias	42
4.2.3 Población y muestra	42
4.3. VARIABLES	42
4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	43
4.5. PROCEDIMIENTO.....	45
4.5.1 Determinación de la cantidad de azúcar	45
4.5.2 Elaboración de las muestras.....	46
5. ANALISIS DE RESULTADOS	53
5.1 ENSAYOS A COMPRESIÓN DEL CONCRETO	53
6. CONCLUSIONES	61
7. RECOMENDACIONES	63
8. BIBLIOGRAFÍA.....	64



Listado de figuras

<i>Figura 1. Mapa de la ciudad de Cartagena de indias</i>	15
<i>Figura 2. Laboratorios de Cardique.....</i>	15
<i>Figura 3. Preparación de cilindros de concreto.....</i>	37
<i>Figura 4. Diseño de probetas para ensayos a compresión.....</i>	44
<i>Figura 5. Balanza electrónica para determinar la cantidad de azúcar</i>	46
<i>Figura 6. Concentraciones de materia orgánica en el agua sintética</i>	46
<i>Figura 7. Probetas en su estado de curado del concreto.....</i>	47
<i>Figura 8. Elaboración de las probetas de concreto.....</i>	48
<i>Figura 9. Materiales utilizados para la mezcla de concreto.</i>	48
<i>Figura 10. Moldes utilizados para la elaboración de las probetas.</i>	49
<i>Figura 11. Probetas de concreto para ensayos a la compresión.....</i>	49
<i>Figura 12. Mezcla de concreto.</i>	50
<i>Figura 13. Maquina universal para el ensayo a la compresión.</i>	50
<i>Figura 14. Tablero computarizado para medir la carga aplicada.</i>	51
<i>Figura 15. Ensayo a la compresión del concreto.</i>	52
<i>Figura 16: Registro de resultado de los ensayos de Cardique Fuente: Laboratorios de Cardique</i>	66
<i>Figura 17: Ensayo de cilindro a la compresión.....</i>	67
<i>Figura 18: Balanza electrónica para la determinación del Azúcar</i>	68
<i>Figura 19: Probetas en estado de curado del concreto.....</i>	68
<i>Figura 20 : Probetas de concreto en la maquina universal de ensayos a la compresión.....</i>	69



Listado de tablas

<i>Tabla 1. Valores recomendados para impurezas en el agua de mezclado para concretos.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 2: Composición de las aguas residual domésticas.</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3. Especificaciones método de compactación.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 4. Requisitos para el moldeo por apisonado.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 5. Variables para el diseño experimental.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 6. Diseño experimental.</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 7: Diseño del número de cilindros de concreto.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8. Ensayos a compresión para resistencia de 3000psi</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 9. Ensayos a compresión para resistencia de 3000psi</i>	<i>54</i>



Listado de graficas

<i>Grafica 1 : Variación de la resistencia Vs concentración de materia orgánica a los 7 días.</i>	<i>55</i>
<i>Grafica 2 : Variación de la resistencia Vs concentración de materia orgánica a los 14 días</i>	<i>55</i>
<i>Grafica 3 : Variación de la resistencia Vs concentración de materia orgánica a los 28 días.</i>	<i>56</i>
<i>Grafica 4: Variación de la resistencia Vs concentración de materia orgánica a los 7, 14 y 28 días.</i> <i>.....</i>	<i>57</i>



RESUMEN

Este proyecto de investigación se realizó con el fin de evaluar el efecto de la materia orgánica presente en un agua residual sintética preparada a partir de agua potable diluida con azúcar en la preparación de mezclas de concretos, para conocer hasta qué concentración de materia orgánica no se ve afectada la resistencia del concreto. Este proyecto es una investigación tipo experimental, ya que consiste en encontrar el comportamiento de una variable a partir de diferentes combinaciones de variables. Para la elaboración del agua residual sintética se utilizó 0.2 gr de azúcar comercial por cada litro de agua y se midió el contenido de DBO en los laboratorios de Cardique; a partir de esta muestra se determinaron las demás concentraciones de materia orgánica para la elaboración de los ensayos. Para dicho fin se realizaron 54 probetas de concreto con diferentes concentraciones de materia orgánica en el agua residual sintética, los parámetros para el estudio y diseño de experimentos fueron: la resistencia del concreto y la concentración de materia orgánica en el agua sintética para la mezcla. Una vez construidas las probetas se realizaron ensayos a compresión a los 7, 14 y 28 días con el fin de observar cambios físico-mecánicos en la resistencia para la cual estaban diseñadas. Se observó que a medida que aumentaba el contenido de materia orgánica, disminuía la resistencia a compresión del concreto. La concentración de materia orgánica que no afectó la resistencia del concreto fue 0.1 gr por cada litro de agua es decir, una DBO de 105mg/lit, permitiendo un concreto de 3000 Psi.

Palabras claves: concreto, Agua residual sintética, materia orgánica, resistencia mecánica.



ABSTRACT

This project was conducted in order to evaluate the effect of organic matter present in a synthetic wastewater prepared from the dilution of sugar in drinkable water, in the preparation of mixtures of concrete, to determine the limit where the concentration of organic matter do not affect the concrete strength. This project is an experimental research because it involves determining the behavior of a variable from different combinations of variables. It was used 0.2 g of sugar per liter of water to prepare the synthetic wastewater and the content of BOD was measured in Cardique's laboratories; from this sample, it was determined the concentrations of organic matter of the other samples. 54 concrete specimens were made with different concentrations of organic matter in the synthetic wastewater. The parameters for this experiment were concrete strength and concentration of organic matter in the synthetic wastewater. The specimens were submitted to compressive strength testing at 7, 14 and 28 days in order to observe their mechanical properties under their design compressive strength. It was observed that when organic matter content was increased, compressive strength of concrete diminished. The concentration of organic matter that did not affect concrete strength was 0,1 grams per liter of water, equivalent to a BOD of 105mg / lt, allowing a compression resistance of 3000 Psi.

Keywords: Concrete, Synthetic wastewater, organic matter, mechanical strength.



INTRODUCCIÓN

La sola idea de construcción viene acompañada del concepto de perpetuidad, desde los inicios de la humanidad la intención de cada construcción siempre ha sido que esta se mantuviese erguida durante un largo periodo de tiempo. Normalmente, para lograr este cometido los constructores tenían que vencer varios problemas tales como adaptar la construcción al terreno, diseño de la estructura de acuerdo con los requerimientos del contratante, y la disponibilidad de materiales (agua, arena, grava, etc.). Sin embargo en algunos lugares dichos materiales (agua potable) se ven limitados, ocasionando aumentos en los costos de operación y retrasos en la construcción.

A su vez el aprovechamiento de un agua residual tratada, podría no solo disminuir los costos de operación en las obras que se ven afectada por la carencia del recurso, si no que también se podría utilizar para darle uso al agua residual y de esta forma contribuir a la preservación del medio ambiente.

Si bien es cierto, que el agua potable suma gran importancia para la elaboración de la mezclas de concreto, por esta razón han surgidos numerosos estudios que buscan sustituir ésta sin afectar la resistencia del concreto. Se han realizados investigaciones donde sustituyen el agua de la mezcla de concreto con agua de mar, agua de río e incluso con agua residual, sin embargo muchas de éstas no cumplen con los requisitos establecidos por la norma, por lo que necesitan someter las muestras de agua a laboratorios y comparar los resultados con las especificaciones de la NTC 3459. Esta norma denominada “agua para elaboración de concreto” establece la cantidad máxima de impurezas (ácidos, alcalinidad, dureza, cloro, ph, sólidos disueltos, materia orgánica, sedimento, turbidez, etc.) que pueden ser aceptadas en el agua de mezclado, en caso tal de que ésta no cumpla con las especificaciones requeridas es necesario realizar una intervención para poder obtener una mezcla de concreto satisfactoria.

Por otro lado la implementación del agua residual tratada a través de los años ha tenido un gran auge; solo en España (Andalucía, Canaria, Cataluña) el agua residual tratada se utiliza para filtros verdes y riego de cultivos para la obtención de biodiesel, riego de campos de golf



y agua inyectada para generar barreras hidráulicas contra la intrusión marina del acuífero. En los tres casos estudiados se incide con aspecto de suelo, agua e impacto ambiental (Bustamante, Cabrera, Candela, Lilo, & Palacio, 2010). En México desde el año 2009 el instituto de ingeniería de la UNAM recicla y da tratamiento al agua de los sanitarios y lavados de sus edificios, para su reúso con un ahorro de 3000 litros diarios, aprovechando estas aguas no solo para riego de áreas verdes, sino también para descarga de sanitario, reduciendo así el gasto de agua potable (Rodriguez, 2013). En el campo recreativo se puede encontrar en estanques artificiales como fuentes, producción de nieve artificial, creación de humedales que sirvan de refugio para la vida animal o en la creación de lagos en los que se pueda practicar la pesca y otras actividades (Fleur, y otros, 2004). Por ultimo también se ha encontrado la implementación de estas aguas para la elaboración de concretos para la construcción.

Sin embargo por la cantidad de parámetros que contiene el agua residual, es complicado y tomaría demasiado tiempo evaluar cada uno de estos parámetros, por lo que en esta investigación se evaluó la resistencia del concreto con agua residual sintética, simulando el contenido de materia orgánica con la adición de azúcar, donde al adicionar 0,1 gr de azúcar por cada litro de agua se obtiene una DBO de 100 mg/lit. (Shabani, 2012)

En el campo de la ingeniería civil será de gran utilidad el aprovechamiento de las aguas residuales en la construcción de puentes, sistemas viales y de transporte, y edificios resistentes especialmente para aquellas zonas donde el agua potable es muy limitada, disminuyendo los costos y mantenimiento, y generando un impacto ambiental positivo.

Para esta investigación se midieron distintas concentraciones de materia orgánica presentes en el agua residual sintética las cuales se realizaron en el laboratorio de Cardique para obtener su contenido de DBO, y a partir de ahí se realizaron los ensayos de cilindros a compresión con el fin de evaluar la resistencia del concreto. La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Cartagena, donde existen distintas localidades donde el agua potable es muy escasa y no hay servicio de alcantarillado que disponga de las aguas servidas, tal es el caso del pozón (sector Isla de León), Tierra Bomba, Barú y sus corregimientos, Tierra Baja entre otros. Por



esta razón nace la inquietud de estudiar el aprovechamiento de estas aguas para la industria de la construcción, principalmente en estos sectores, surgiendo así la pregunta de investigación; ¿Hasta qué cantidad de materia orgánica puede contener un agua residual, para la elaboración de un concreto con una resistencia de 3000 psi?

Por tal motivo se evaluó el efecto de la materia orgánica en la resistencia del concreto en los laboratorios de la Universidad de Cartagena y en el laboratorio del Ingeniero Modesto Barrios. El objetivo está basado en determinar, experimentalmente, la relación entre el contenido de materia orgánica del agua residual sintética y la resistencia mecánica del concreto. El alcance permitirá determinar que tanto afecta la materia orgánica presente en agua residual en la resistencia del concreto, y si una reducción de ésta puede generar un concreto de 3000 psi; para preparar mezclas con menor impacto ambiental que beneficiarán no solo a la región caribe sino que también incentivará al aprovechamiento de estas aguas.

Este trabajo de grado amplía la literatura actual debido a que las bases de datos de la universidad de Cartagena, no registra investigaciones acerca de la evaluación de la resistencia mecánica del concreto elaborado con agua residual sintética.



1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar experimentalmente la relación entre el contenido de materia orgánica del agua, y la resistencia mecánica del concreto preparándolo con agua residual sintética, obtenida de adicionar agua potable con azúcar, con el fin de obtener un concreto de 3000 psi.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir la concentración de azúcar requerida en el agua potable con la cual se pueda simular la materia orgánica del agua residual.
- Determinar el contenido máximo de materia orgánica en el agua residual utilizada en la elaboración del concreto, que proporcione una resistencia de 3000 psi.
- Realizar comparaciones entre los ensayos de la resistencia a la compresión de concretos elaborados con agua residual, y concretos elaborados con agua potable, para establecer si es posible obtener un concreto de buena calidad.



2. ALCANCE

En esta investigación se buscó determinar que tanto afecta la materia orgánica presente en el agua residual, la resistencia mecánica del concreto, y si una reducción de ésta puede generar un concreto de 3000 psi, con el propósito de sustituir el agua potable en la elaboración de concretos, para contribuir al ahorro de agua potable, y a la reutilización de las aguas servidas en la elaboración de concretos.

En la investigación se requirió la realización de ensayos y pruebas de laboratorio con el fin de determinar la resistencia del concreto, y a partir de ésto determinar su posible uso en las edificaciones, para lo que se realizó:

- Un estudio de caracterización de DBO que contiene la materia orgánica del agua residual, con el fin de elaborar un agua residual sintética a partir de la adición de azúcar en el agua potable, y de esta forma simular la misma cantidad de materia orgánica presente en el agua residual.
- Se realizó una serie de ensayos con el fin de evaluar la variación de la resistencia a la compresión que presenta el concreto elaborado con agua residual sintética, simulando distintos porcentajes de materia orgánica, con el fin de conocer su viabilidad en la elaboración de un concreto de 3000 psi.

2.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL

El estudio se realizó en la Universidad de Cartagena, sede Piedra de Bolívar, ubicada en la ciudad de Cartagena, localizada a los 10° 25'30'' latitud norte y 75° 32'25'' longitud oeste, en la costa norte de la república de Colombia, en la dirección Avenida del Consulado # Calle 30 No. 48 – 152, Cartagena, Bolívar.



Figura 1. Mapa de la ciudad de Cartagena de indias

Fuente: Google Earth



Figura 2. Laboratorios de Cardique.

Fuente: El Universal



Los ensayos para la determinación de la resistencia del concreto, se realizaron en los laboratorios del Ingeniero Modesto Barrios, Mientras que los ensayos para obtener las características del contenido de DBO del agua residual sintética y sus respectivas concentraciones se realizaron en los laboratorios de Cardique ubicados en el Barrio Bosque sector Manzanillo.

2.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

La ejecución de este proyecto se realizó en un tiempo de 4 meses aproximadamente, comprendido entre los meses de marzo a junio del primer periodo académico del año 2016.

2.3 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

En esta investigación se buscó evaluar la resistencia del concreto elaborado con agua residual simulada (agua adicionada con azúcar), y compararla con la resistencia de un concreto elaborado con agua potable, para esto se realizaron ensayos de cilindros a compresión considerando variables de estudio como la resistencia del concreto y ensayos de DBO para garantizar la cantidad de azúcar necesaria para que actué como materia orgánica presente en el agua residual.

2.4 PRODUCTO FINAL A ENTREGAR Y PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS

Una vez realizados los ensayos, se realizó un informe en el cual se muestran los resultados del análisis de los datos que se obtuvieron a partir de cada ensayo de la resistencia del concreto con agua potable, y agua residual sintética simulando distintas concentraciones de materia orgánica, gráficas comparativas para la visualización de los resultados, y se hizo un estudio detallado con el fin de comprobar si es posible un concreto de 3000 psi elaborado con agua residual.



2.5. ASPECTOS QUE NO INCLUYE LA INVESTIGACIÓN

- I. Solo se estudiará el parámetro de DBO que contiene el agua residual.
- II. Para la elaboración del concreto solo se empleará el cemento, agua con contenido de materia orgánica y los agregados, no se le suministrará ningún aditivo químico o natural que altere la muestra.
- III. Una vez realizado los ensayos no se buscará tratar el agua con la intención de remover la materia orgánica.
- IV. Los ensayos solo serán utilizados para obtener la resistencia mecánicas del concreto.



3. MARCO REFERENCIAL

3.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

Uno de los problemas que se pueden presentar en las obras de construcción es la disposición de los materiales para la elaboración del concreto, esto ha llevado a que se realicen diferentes estudios que buscan sustituir ciertos materiales con el fin de optimizar los costos y recursos. Con base en lo anterior es de suma importancia buscar alternativas económicas que vayan de la mano con el medio ambiente que proporciones una solución a esta problemática. La investigación que se propone tiene un enfoque interdisciplinario por lo que se abordara temáticas a nivel de materiales de construcción y tratamiento de aguas residuales.

En el año 2013, la Universidad de Cartagena sede piedra de bolívar realizó el estudio “EFECTO EN LA DISMINUCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO PREPARADO CON DIFERENTES MARCAS DE CEMENTO Y AGUA DEL RIO MAGDALENA – CASO: MUNICIPIO DE CALAMAR(BOLIVAR)”, con la participación de los ingenieros Oscar Abad y Jorge Tous, que consistió en la comparación de la resistencia a la compresión de mezclas de 3000 y 4000 psi, fabricado con las diferentes marcas de cementos (ARGOS, CEMEX Y HOLCIM) utilizando el agua del rio magdalena y así determinar su comportamiento mecánico. Con lo que se concluyó que no es prudente la utilización del agua del Rio Magdalena para elaborar mezclas concreto, debido a que estos valores se encuentran muy por debajo de los límites que permite la norma y además los cementos utilizados en las mezclas de concreto muestran unas características físicas muy similar (Oscar Abad, 2013).

Para ese mismo año el ingeniero Luis Arraez de la facultad de ingeniería de la Universidad de Cartagena realizó un estudio de “LA CORRELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ELABORADO CON AGUA DEL RIO MAGDALENA”, donde se evaluó los efectos que ésta causa sobre las propiedades de manejabilidad y resistencia mecánica de mezclas de concreto. Para ésto se realizó un análisis químico del agua extraída del rio Magdalena con el



fin de determinar las impurezas presentes en el agua y cilindros a la compresión para determinar la resistencia mecánica de los concretos. Se concluyó que no es conveniente la utilización de este tipo de agua proveniente del río en la fabricación de elementos estructurales y que no existe correlación alguna entre los parámetros observados en el proyecto y la resistencia adquirida en concretos de 3000 y 4000 psi. (Luis Arraez, 2013).

En la fundación Universitaria de América de la ciudad de Bogotá en el 2004, Jenny Alejandra Gómez Arias, y Álvaro Andrés Herrera Serrano realizaron una investigación sobre “DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS POR PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA SOBRE EL CONCRETO Y SU GRADO DE TOLERANCIA”, con el objetivo de determinar los efectos que tiene la materia orgánica presente en los agregados de origen aluvial sobre el concreto y clasificarlos de acuerdo a su influencia en éste. Para lo cual se establecieron dos tipos de materia orgánica una de ellas fresca (Trozos de madera) presente en arena y grava y otra húmeda (Humus) presente solo en arena. A partir de ahí se realizaron diferentes mezclas con el fin de evaluar los cambios presentados en las propiedades más importantes de los dos estados del concreto (estado fresco y endurecido). En la mayoría de las propiedades evaluadas, se presentaron efectos que en algunos casos fueron favorables, en otros perjudiciales o simplemente inocuos, los cuales variaron según la concentración y la clase de materia orgánica. (Jenny Gómez, Alvaro Herrera, 2004)

En el año 2001 los ingenieros Adán Vázquez, Francisco Gonzales, Luis Rocha y Antonio Flores realizaron una investigación llamada “EVALUACION DE CONCRETO CON AGUA TRATADA” donde se buscó sustituir el agua potable para la fabricación del concreto con agua residual tratada. Para lo cual se realizaron 700 cilindros de concreto con agua proveniente de diferentes plantas de tratamiento (*Azcapotzalco, San Juan Ixtayopan, Acueducto de Guadalupe, Rosario*) con el fin de determinar las propiedades físicas del concreto en estado fresco y endurecido. Se obtuvo que el agua tratada no causa efectos negativos en la reducción de la resistencia del concreto, por el contrario el agua proveniente de las plantas de tratamiento *Rosario, Ixtayopan, Azcapotzalco* obtuvieron incrementos del 10 al 40% de su resistencia, por otro lado el agua proveniente de las plantas de tratamiento *Acueducto de Guadalupe, San Juan* las resistencias se mantuvieron por encima del 80% de



la resistencia de diseño. Se concluyó que debido a la calidad presentada en el agua de las plantas de tratamiento, se puede utilizar para la elaboración de concreto siempre y cuando se les dé un tratamiento adicional para eliminar o reducir las grasas y aceites presentes en las muestras, debido a que este parámetro fue el único que quedó fuera del límite, y podría causar efecto negativos en la adherencia del concreto y el acero (Vazquez, Gonzales, Rocha, & Flors, 2001).

En la ciudad de Muscat (Oman) ubicado en el continente de Asia, los investigadores, K. Jabri, A. Saïdy, R. Taha, A.J. Kemyani realizaron un trabajo titulado “EFFECT OF USING WASTEWATER ON THE PROPERTIES OF HIGH STRENGTH CONCRETE” donde se estudió el efecto del uso de agua residual en las propiedades de alta resistencia del hormigón, para lo cual se midió el ph, solidos disueltos totales, cloruros, dureza, alcalinidad y sulfatos en tres tipos de muestra obtenidas en una estación de lavado de automoviles. Los resultados indicaron que el uso de las aguas residuales de las estaciones de lavado de automóviles tiene un efecto despreciable sobre la resistencia del hormigón ya que no hubo diferencia significativa en los ensayos de resistencia a la compresión del hormigón. Sin embargo, el estudio debe extenderse a investigar el efecto de las aguas residuales en la durabilidad del hormigón, ya que puede contener sustancias que afecta negativamente el hormigón después de tiempos de exposición prolongados, por otro lado todas las mezclas de hormigón con el reemplazo de aguas residuales mostraron tasas de absorción de agua similares a los de la mezcla de control (agua potable) lo que quiere decir que la absorción de agua del hormigón no se ve afectado con el agua residual. (K.S. Al-Jabri, 2011).

En junio del 2014 el grupo de ingenieros Ana Velezmoro, Henry Blanco y Cesar Pañuela realizaron una investigación en la Universidad Central de Venezuela (Caracas) sobre la “INFLUENCIA DEL NITRATO EN EL AGUA DE MEZCLADO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL CONCRETO” que consistió en verificar si el nitrato presente en el agua de mezclado para la elaboración del concreto no afectará su comportamiento y de ser ésto posible obtener un concreto de buena calidad con agua de mezclado no potable. Para ésto se realizaron ensayos para caracterizar las propiedades físicas (tiempo de fraguado, absorción, erosión, peso unitario, ultrasonido y resistencia a la



compresión). Se concluyó que la única propiedad del concreto que no presento resultados favorables fue la resistencia a la compresión, con una diferencia del 15%; posiblemente por efecto de calcificación debido al fenómeno de lixiviación por la presencia del nitrato. La trabajabilidad, durabilidad y homogeneidad del concreto no presentaron diferencias relevantes. (Ana Velezmoro, 2014)

En la Universidad Americana de Sharjah ubicado en Emiratos Árabes Unido en el continente de Asia, en el año 2012, los investigadores Maruf Mortula y Sina Shabani realizaron un estudio titulado “REMOVAL OF TDS AND BOD FROM SYNTHETIC INDUSTRIAL WASTEWATER VIA ADSORPTION” que buscaba evaluar el proceso de límites de adsorción y su efectos sobre los SD (Sólidos disuelto) y la eliminación de la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) de aguas residuales sintéticas preparada con azúcar comercial, a partir de adsorbentes como la piedra caliza, alúmina activada, carbón activado, y escoria de acero. Para ésto se estudió el efecto del pH como variable, siendo éste el adsorbente más adecuado. Aunque en los experimentos llevados a cabo demostraron que la adsorción puede eliminar significativamente DBO y SD de las aguas residuales industriales sintética no se observaron adsorciones significativas de SD y DBO que muestran que el uso de adsorbentes eficaces puede ayudar a tales absorciones en gran medida. (Maruf Mortula, Removal of TDS and BOD from Synthetic Industrial Wastewater via, 2012).

Aunque se han realizado distintas publicaciones donde se elaboran concretos con agua no potable e incluso con agregados no especificados por la norma, son escasas las investigaciones que buscan reducir los parámetros contenidos en el agua no potable, en este caso la materia orgánica sin que afecte las propiedades mecánicas del concreto, por lo que esta investigación no solo ampliaría este tema sino que abriría campo a futuras investigaciones donde se busque evaluar diferentes parámetros presentes en el agua residual (Sulfato, nitrato, ph, solidos disueltos, etc.) y generar un concreto de buena calidad donde se reutilizaría el agua residual.



3.2.MARCO TEORICO

3.2.1. Concreto

Los elementos inertes (agregados), al arena y la grava, cuyo papel fundamental es formar el esqueleto del concreto, ocupando gran parte del volumen del producto final, con lo cual se logra abaratarlo y disminuir notablemente los efectos de la reacción química del fraguado: La elevación de la temperatura y la contracción de la lechada al endurecerse.

El agua que entra en combinación química con el cemento es aproximadamente un 33% de la cantidad total y esa fracción disminuye con la resistencia del concreto.

En consecuencia, la mayor parte del agua de mezclado se destina a lograr fluidez y trabajabilidad a la mezcla, coadyuvando a la contracción del fraguado y dejando en su lugar vacío correspondiente, cuya presencia influye negativamente en la resistencia final del concreto. (Bernal, 2009)

3.2.2. Composición del concreto

3.2.2.1. Cemento

Es un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas. El cemento se conoce también por el nombre de cemento hidráulico, nombre que incluye a todas aquellas sustancias aglomerantes que hacen fraguar y endurecer la mezcla con agua, lo que puede suceder incluso, bajo el agua. Se encuentra entre el 7% y 15% del volumen total de la misma. (Guzmán, 2001)

3.2.2.1.1. Tipos de cemento

- Cemento portland tipo I

De uso general, se puede emplear para fines estructurales u otras chorreas, siempre que no se requieran las características de los otros cementos (Chaverri & Gonzales., 2008).



- Cemento portland tipo II

Se utiliza cuando se espera un ataque moderado de los sulfatos o cuando se requiere un calor de hidratación moderado, para lograr este tipo de características se regulan la cantidad máxima de silicato tricálcico y aluminato tricálcico, este cemento alcanza una resistencia similar al cemento tipo uno pero requiere más tiempo de fraguado (Chaverri & Gonzales., 2008).

- Cemento portland III

Este desarrolla una alta resistencia en un tiempo menor, en 7 días tiene la misma resistencia que un concreto tipo I o II en 28 días. Para lograr este rápido fraguado se aumentan las cantidades de silicato tricálcico y Aluminato tricálcico. Este cemento desprende grandes cantidades de calor por lo que no es recomendado para chorreas masivas (Chaverri & Gonzales., 2008).

- Cemento portland IV

Este es un cemento de secado lento por lo que no genera gran cantidad de calor de hidratación siendo ideal para chorreas masivas que no requieran una alta resistencia inicial, para lograr esto se regulan las cantidades de aluminato tricálcico y silicato tricálcico, ya que estos son los elementos que se encargan de fraguado inicial por lo que liberan la mayor cantidad de calor de hidratación (Chaverri & Gonzales., 2008).

- Cemento portland V

Este es un cemento con gran resistencia al ataque de sulfatos, por lo que es muy utilizado en estructuras hidráulicas expuestas a aguas con gran concentración de álcalis o estructuras expuestas a agua de mar. Para lograr esto se reduce la cantidad de aluminato tricálcico ya que este es el componente más vulnerable a los sulfatos (Chaverri & Gonzales., 2008).



3.2.2.2. Agregados

Los agregados constituyen aproximadamente el 70 al 80 % del volumen total del concreto. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas (Guzmán, 2001).

Los agregados se clasifican según el tamaño, procedencia y densidad.

3.2.2.2.1 Según su tamaño:

- Agregado grueso

Agregado retenido de modo predominante por el tamiz No. 4 (de 4.75mm); o bien, aquella porción de un agregado que es retenida por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm). El agregado grueso utilizado en nuestro medio es denominado “Grava”, que resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta (Guzmán, 2001).

- Agregado fino

Agregado que pasa por el tamiz de 3/4 in (9.5 mm) y casi pasa por completo por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm). y es retenido de modo predominante por el tamiz No. 200 (de 75 μ m); o bien, aquella porción de un agregado que pasa por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm) y es retenida de modo predominante por el No. 200 (de 75 μ m)

3.2.2.2.2 Según su procedencia:

- Agregados naturales

Formados por procesos geológicos.

- Agregados artificiales

Proviene de un proceso de transformación de los agregados naturales, dichos



- Agregados artificiales

Son productos secundarios. Algunos de estos agregados son los que constituyen la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el hormigón reciclado, piedra triturada (chancada), etc.

- Piedra triturada

Producto que resulta de la trituración artificial de rocas, piedra boleada o pedruscos grandes, del cual todas las caras poseen aristas bien definidas, resultado de la operación de trituración (Guzmán, 2001).

3.2.2.3 Granulometría

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100 (150 micras) hasta 9.52 mm. Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Para la construcción de vías terrestres, la norma ASTM D 448 enlista los trece números de tamaño de la ASTM C 33, más otros seis números de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaños de partícula. La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción (Guzmán, 2001).

3.2.2.4 Agua

El agua es un integrante fundamental en las mezclas de concreto y morteros, pues al ser mezclado con el cemento reacciona químicamente con este para producir la parte sólida y desarrollar resistencia (Guzmán, 2001).



3.2.2.4.1 Agua de mezclado

El agua de mezclado está 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 la fluidez tal, que permita la lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico. La pasta de cemento, inmediatamente se mezclan los materiales, es una mezcla Plástica de cemento y agua que va adquiriendo nueva estructura conforme se produce la hidratación del cemento (Guzmán, 2001).

3.2.2.4.2 Agua no evaporable (hidratación)

El agua de hidratación es aquella parte del agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase solida de gel. Es también llamada no evaporable porque en una porción de pasta hidratada se conserva a 0% de humedad del ambiente y 110°C de temperatura (Guzmán, 2001).

3.2.2.4.3 Agua evaporable

El agua restante en la pasta, es agua que puede evaporarse a 0% de humedad relativa del ambiente y a 110°C de temperatura, pero no se encuentra libre en su totalidad (Guzmán, 2001).

3.2.2.4.4 Agua de adsorción

Es una capa molecular de agua que se encuentra fuertemente adherida a las superficies del gel por fuerzas intermoleculares de atracción. El agua adsorbida, cuyas distancias con respecto a la superficie del gel están en intervalos de 0 a 30 Å (Angstrom= 0.0000001 mm), se llama también agua activa (Guzmán, 2001).



En la siguiente tabla se muestran los valores recomendados para la impureza en el agua de mezclado.

Impurezas	Concentración máxima tolerables (PPM)
Carbonato de sodio y potasio	1000
Cloruro de sodio	20000
Sulfato de sodio	10000
Sulfato SO ₄	3000
Carbonato de calcio y magnesio, como ión bicarbonato	400
Cloruro de magnesio	40000
Sulfato de magnesio	25000
Cloruro de calcio	2%
Sales de hierro	40000
Yodato, fosfato, arsenato, y borato de sodio	500
Sulfito de sodio	100
Acido sulfúrico y acido clorhídrico	10000
Ph	6,0 - 8,0
Hidróxido de sodio	0.5%
Hidróxido de potasio	1.2%
Azúcar	500
Partículas de suspensión	2000
Aceite mineral	2%
Agua de algas	0
Materia orgánica	20
Agua de mar	3500

Tabla 1. Valores recomendados para impurezas en el agua de mezclado para concretos.

Fuente: DIEGO SANCHEZ GUZMAN. *Tecnología del concreto y el mortero*. 5 ed.

Bogotá: 2001. P30.



3.2.3. Propiedades en estado endurecido

Existen dos propiedades importantes. La primera tiene que ver con el proceso de curado de la mezcla y la resistencia obtenida después de fraguado (Linier, 1994).

3.2.3.1. Resistencia

Es la propiedad más importante del concreto, ya que en forma directa influye en las demás características de significado práctico. Los concretos más resistentes son más densos, menos permeables y más resistentes a la intemperie y ciertos agentes destructivos. Por otro lado los concretos resistentes usualmente exhiben mayor contracción por fraguado y menor extensibilidad, por lo tanto son más propensos al agrietamiento. El concreto presenta una alta resistencia a los esfuerzos de compresión y muy poca a los esfuerzos de tracción, razón por la cual la resistencia a la compresión simple es la propiedad más importante (Linier, 1994).

3.2.3.2. Resistencia mecánica

3.2.3.2.1 Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/Cm²) a una edad de 28 días. Con esta se mide o verifica la calidad del cemento y varía según las especificaciones. La resistencia se puede medir a través de cilindros normalizados que tiene un Diámetro de 6" y una altura de 12". La cual se encuentra especificada en la Norma Técnica Colombiana (NTC 673).

Se llena el molde en tres capas y se compacta con una varilla lisa y de punta redondeada, se espera 24 horas para desencofrarlas y posteriormente someterlas a curado, referenciándolas con fecha y elemento.

Según la resistencia a la compresión, el concreto se clasifica en: Normal 14 a 42 Mpa
Resistente 42 a 100 Mpa Ultra resistente > 100 Mpa

3.2.4. Factores que inciden en la resistencia

3.2.4.1 Contenido de cemento



La resistencia del concreto aumenta con la proporción de cemento en la mezcla, hasta que se alcanza la resistencia del cemento o el agregado, según el que sea más débil (Guzmán, 2001).

3.2.4.2 Relación agua-cemento (A/C)

La relación A/C de la mezcla influirá mucho sobre la resistencia del hormigón endurecido con un envejecimiento dado. Una mezcla dada puede tener una resistencia relativamente buena o mala, dependiendo de la cantidad de agua que se agregue. Una mayor relación A/C dará una menor resistencia, esto quiere decir que a mayor cantidad de agua, menos resistencia. • Influencia de los agregados: Las características de los agregados que influyen sobre la resistencia del hormigón son el tipo, la forma, textura, tamaño máximo, solidez, gradación y limpieza de la partícula (Guzmán, 2001).

3.2.4.3 Tipo de agregado

Por lo general, el efecto sobre la resistencia del hormigón del tipo de agregado con peso normal, propiedades y gradación satisfactorias, es pequeño, debido a que los agregados son más fuertes que la pasta de cemento (Guzmán, 2001).

3.2.4.4 Tamaño máximo

Conforme se aumenta el tamaño máximo del agregado en una mezcla de hormigón de un revenimiento dado, se disminuyen los contenidos de agua y de cemento, en kg/m³ de hormigón (Guzmán, 2001).

3.2.4.5 Fraguado del concreto

Es un factor importante en la resistencia del concreto, ya que es necesario determinar el tiempo del fraguado para saber si es necesario utilizar aditivos que controlen la velocidad del fraguado con el fin de regular los tiempos de mezclado y transporte (Guzmán, 2001).



3.2.4.6 Edad del concreto

Este factor está ligado a la relación que hay entre la relación agua cemento y la resistencia del concreto, ya que la misma se da únicamente con un tipo de cemento y a una sola edad (Guzmán, 2001).

3.2.4.7 Curado del concreto

Este factor aumenta o disminuye la resistencia del concreto de acuerdo a la intensidad del secamiento con que se efectúe el proceso de fraguado (Guzmán, 2001).

3.2.5. Agua residual

Agua residual es "una combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casas, edificios comerciales, fábricas e instituciones combinada con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente (Metcalf & Eddy, 1998).

Componente	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales	1200	720	35
Disueltos	950	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sedimentables	20	10	5
DBO	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrogeno Total	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo Total	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad	200	100	50
Grasas- aceites	150	100	50

Tabla 2: Composición de las aguas residual domésticas.

Fuente: Metcalf and Eddy, 1998



3.2.6. Constituyentes del agua residual

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. De los constituyentes del agua residual, los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia, y por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales deben ser diseñadas para su remoción. Antes de considerar las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, es conveniente tratar brevemente los procedimientos analíticos usados para la caracterización de las aguas residuales (Metcalf & Eddy, 1998).

3.2.7. Materia orgánica.

Los compuestos orgánicos presentes en un líquido residual consisten en una amplia variedad de compuestos orgánicos.

Desde el punto de vista del tratamiento, no es necesario la discriminación de los diferentes tipos. No sólo no es necesario, sino que no existen equipos que permitan su caracterización. Es injustificable desde el punto de vista de la ingeniería, técnicamente imposible y económicamente prohibitivo.

La determinación del contenido orgánico (cantidades de materia orgánica, en general, mayores a 1 mg/L) de las aguas residuales se estima en forma indirecta, mediante diversos métodos: DBO₅, DQO, COT y Demanda de oxígeno al permanganato.

Estas técnicas permiten obtener una estimación de la materia orgánica contenida en el líquido residual. Los resultados obtenidos para una misma muestra, dados por las diferentes técnicas no serán los mismos. Esto no me permite hablar de valores absolutos de materia orgánica, dado que se trata de diferentes procesos y diferentes grados de oxidación (Metcalf & Eddy, 1998).

3.2.8. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO es el método usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de las aguas residuales. El parámetro de contaminación orgánica es la DBO a 5 días (DBO₅). La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia



orgánica, dado que éstos utilizan oxígeno en la respiración para la obtención de energía (Metcalf & Eddy, 1998).

En la prueba estándar de DBO, una pequeña muestra de agua residual se coloca en una botella de DBO (volumen de 300 ml), la cual se completa a volumen usando agua saturada con oxígeno y con los nutrientes requeridos para crecimiento biológico. Antes de tapar la botella se mide la concentración de oxígeno. Después de incubar la botella por cinco días a 20°C, la concentración de oxígeno disuelto se mide de nuevo. La DBO de la muestra es la diferencia entre los valores de concentración de oxígeno disuelto, expresado en miligramos por litro, dividido por la fracción decimal del volumen de muestra usada (Metcalf & Eddy, 1998).

El tiempo de incubación se fija para poder estandarizar, y realizar comparaciones entre muestras. Si el tiempo es mayor o menor, la demanda de oxígeno variaría de un caso a otro.

Debe asegurarse la disponibilidad de nutrientes y oxígeno durante el período de incubación. La DBO en la mayoría de las aguas residuales supera la concentración de OD disponible en una muestra saturada de aire. Si la cantidad de materia orgánica en el líquido residual es alta, puede consumirse todo el oxígeno disuelto antes de los 5 días, dando resultados erróneos. Por tanto, es necesario diluir la muestra antes de incubarla para equilibrar de forma adecuada el requerimiento y el suministro de oxígeno. Ya que el crecimiento bacteriano requiere nutrientes tales como nitrógeno, fósforo y metales traza, se añaden éstos al agua de dilución (Metcalf & Eddy, 1998).

Cuanto mayor es la concentración de la muestra original mayor es la cantidad de sustancias que inhiben la degradación biológica. Es por ello que disminuye la DBO, a medida que aumenta la concentración de la muestra. También se puede apreciar que cuanto mayor es la dilución, mayor es el rango de incertidumbre (menor precisión) y mayores son los errores en la determinación (Metcalf & Eddy, 1998).



3.2.9. Ensayos a compresión del concreto.

3.2.9.1. Requisitos de Ensayo

- Probetas cilíndricas: Las probetas para determinar la resistencia a la compresión o a la tracción por hendimiento, deben ser cilindros moldeados y fraguados en posición vertical, con una longitud igual a dos veces el diámetro. El diámetro del cilindro debe ser de al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del árido grueso. Si el tamaño máximo nominal del árido es mayor a 2 pulg (50 mm), la muestra de hormigón se tamiza en húmedo tal como se describe en la Práctica C 172. Para los ensayos de aceptación de la resistencia especificada a la compresión, deben utilizarse probetas cilíndricas de 6 x 12 pulg (150 x 300 mm) o de 4 x 8 pulg (100 x 200 mm) cuando se especifique (Nota 2).

Nota 2 - Cuando se requieren moldes con dimensiones en Sistema Internacional y no estén disponibles, se permite usar moldes equivalentes en sistema pulgada-libra.

- Muestreo del Hormigón. Las muestras utilizadas para elaborar las probetas de ensayo bajo esta norma, deben obtenerse de acuerdo con la Práctica C 172, a menos que se haya aprobado un procedimiento alternativo.
Registre la identificación de la muestra con respecto a la localización del hormigón muestreado y la hora de colocación.
- Descenso de cono, Contenido de Aire y Temperatura: Descenso de cono - Mida y registre el descenso de cono de cada amasada de hormigón con la que se elaboran las probetas, inmediatamente después de remezclar en el recipiente, como se indica en el Método de Ensayo C 143/C 143M.
- Contenido de Aire - Determine y registre el contenido de aire de acuerdo con los Métodos de Ensayo C 173/C 173M ó C 231. El hormigón utilizado en la determinación del contenido de aire no debe emplearse en la elaboración de probetas de ensayo.
- Temperatura - Determine y registre la temperatura de acuerdo con el Método de Ensayo C 1064/C 1064M.



Nota 3 - Algunas especificaciones pueden requerir la medición del peso unitario del hormigón. El volumen de hormigón producido por cada amasada puede ser requerido en algunos proyectos. También puede ser deseable información adicional de las mediciones del contenido de aire. El Método de Ensayo C 138/C 138M es utilizado para medir el peso unitario, volumen producido y contenido de aire por el método gravimétrico en mezclas de hormigón fresco.

➤ Moldeo de las probetas:

- Lugar para el moldeo - El moldeo de las probetas debe realizarse lo más rápido posible, sobre una superficie rígida y nivelada, sin vibraciones y otras perturbaciones, en un sitio lo más cercano posible del lugar donde se almacenarán.
- Moldeo de los cilindros - Seleccione el pisón adecuado en el punto 5.4 y Tabla 1 o el vibrador adecuado en el punto 5.5. Con la Tabla 2 determine el método de compactación, a menos que se especifique otro método. Si el método de consolidación es por apisonado, determine los requisitos de moldeo con la Tabla 3. Si la consolidación es por vibración, determine los requisitos de moldeo con la Tabla 4. Elija una herramienta pequeña, de forma y tamaño suficiente para asegurar que cada porción de hormigón, tomada del recipiente con la muestra, sea representativa y lo suficientemente pequeña para no derramar hormigón al colocarlo en el molde. Mientras se coloca el hormigón en el molde, mueva la herramienta alrededor del perímetro de la abertura del molde para asegurar una distribución uniforme del hormigón y minimizar la segregación. Cada capa de hormigón debe consolidarse según se requiera. Al colocar la última capa, agregue una cantidad de hormigón que permita mantener lleno el molde después de la compactación.



Especificaciones para el Método de Compactación	
Descenso de cono, pulg (mm)	Método de compactación
≥ 1 (25)	Apisonado o vibrado
< 1 (25)	Vibrado

Tabla 3. Especificaciones método de compactación.

Fuente: ASTM: C 31/C 31M – 03^a-Práctica Normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del hormigón.

	Nº de capas de aprox. igual altura	Nº de golpes de pistón por capa
Cilindros:		
Diámetro, pulg (mm)		
4 (100)	2	25
6 (150)	3	25
9 (225)	4	50
Vigas:		
Ancho, pulg (mm)		
6 (150) a 8 (200)	2	
> 8 (200)	3 ó más de igual altura, cada una no debe exceder de 6 pulg (150mm)	

Tabla 4. Requisitos para el moldeo por apisonado.

Fuente: ASTM: C 31/C 31M – 03^a-Práctica Normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del hormigón.



➤ Curado

- Curado estándar: El curado estándar es el método de curado utilizado cuando las probetas son elaboradas y curadas para los propósitos indicados en 4.2.
- Almacenaje: En caso de que las probetas no pudieran moldearse en el lugar donde recibirán el curado inicial, inmediatamente después del acabado, mueva las probetas al lugar de almacenaje para el curado inicial. La superficie de apoyo sobre la que se almacenarán las probetas debe estar nivelada con una tolerancia de 1/4 pulg por pie (20 mm por metro). Si se mueven los cilindros elaborados con moldes desechables, levante y sostenga el cilindro por la parte baja del molde, con una llana grande o con algún otro dispositivo similar. Si se daña la superficie superior de la probeta durante el traslado al lugar de almacenaje inicial, se deben arreglar de inmediato los daños.
- Curado inicial: Después del moldeo y del acabado, las probetas deben almacenarse durante un periodo de hasta 48 horas, en un rango de temperatura entre 60 y 80 °F (16 a 27 °C) y en un ambiente húmedo para prevenir cualquier pérdida de humedad. Para las mezclas de hormigón con una resistencia especificada de 6000 psi (40 MPa) o más, la temperatura inicial de curado debe encontrarse entre 68 y 78 °F (20 y 26 °C). Se pueden emplear diversos procedimientos para mantener las condiciones de humedad y temperatura. En la Nota 5, se puede encontrar un procedimiento adecuado o combinación de procedimientos que pueden ser usados. Proteja todas las probetas contra el sol directo y de las fuentes de calor radiante, en caso de que se usen. La temperatura de almacenamiento debe ser controlada mediante aparatos de refrigeración o calefactores si fuera necesario. Anote la temperatura, usando un termómetro de máximas y mínimas. Si los moldes son de cartón, proteja la superficie externa de manera que no quede en contacto con la arpillera húmeda u otras fuentes de agua.
- Curado final: Al finalizar el curado inicial y dentro de los 30 minutos siguientes a la remoción de los moldes, las probetas deben curarse



manteniendo agua libre en las superficies del cilindro, durante todo el tiempo, a una temperatura de 73 ± 3 °F (23 ± 2 °C) usando el agua almacenada en los estanques o cuartos húmedos, que cumplan con los requisitos de la Especificación C 511, excepto cuando se refrenta con mortero de azufre e inmediatamente antes del ensayo. Cuando se refrenta con un compuesto de mortero de azufre, los extremos del cilindro deben estar lo suficientemente secos para evitar la formación de bolsas de vapor o espuma de más de 1/4 pulg (6 mm) bajo o en el refrentado, como lo describe la Práctica C 617. Durante un periodo que no exceda de 3 horas inmediatamente antes del ensayo, no se requiere de una temperatura estándar de curado, siempre que se mantenga la humedad libre en los cilindros y la temperatura ambiente se encuentre entre 68 y 86 °F (20 y 30 °C).



Figura 3. Preparación de cilindros de concreto.

Fuente: Práctica Normalizada para la preparación y curado en obra de las probetas para ensayo del hormigón.



3.3 MARCO LEGAL

3.3.1. Ley N: 1562 del 2012 "Por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional"

➤ Artículo. 1º-Sistema General de Riesgos Laborales

Es el conjunto de entidades públicas y privadas, normas y procedimientos, destinados a prevenir, proteger y atender a los trabajadores de los efectos de las enfermedades y los accidentes que puedan ocurrirles con ocasión o como consecuencia del trabajo que desarrollan. Las disposiciones vigentes de salud ocupacional relacionadas con la prevención de los accidentes de trabajo y enfermedades laborales y el mejoramiento de las condiciones de trabajo, hacen parte integrante del Sistema General de Riesgos Laborales.

Salud Ocupacional: Se entenderá en adelante como Seguridad y Salud en el Trabajo, definida como aquella disciplina que trata de la prevención de las lesiones y enfermedades causadas por las condiciones de trabajo, y de la protección y promoción de la salud de los trabajadores. Tiene por objeto mejorar las condiciones y el medio ambiente de trabajo, así como la salud en el trabajo, que conlleva la promoción y el mantenimiento del bienestar físico, mental y social de los trabajadores en todas las ocupaciones.

3.3.2. Ley 100 de 1993 (diciembre 23) "Por la cual se crea el sistema de seguridad social integral y se dictan otras disposiciones"

➤ Artículo. 1º- Sistema de seguridad social integral:

El sistema de seguridad social integral tiene por objeto garantizar los derechos irrenunciables de la persona y la comunidad para obtener la calidad de vida acorde con la dignidad humana, mediante la protección de las contingencias que la afecten.

El sistema comprende las obligaciones del Estado y la sociedad, las instituciones y los recursos destinados a garantizar la cobertura de las prestaciones de carácter económico, de salud y servicios complementarios, materia de esta ley, u otras que se incorporen normativamente en el futuro.



3.3.2 Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10) –Título C- concreto estructural- capítulo C.4- requisitos de durabilidad.

C.4.2.1 — El profesional facultado para diseñar debe asignar las clases de exposición de acuerdo con la severidad de la exposición anticipada de los elementos de concreto estructural para cada categoría de exposición.

El Título C del Reglamento NSR-10 incluye cuatro categorías de exposición que afectan los requisitos del concreto para asegurar una durabilidad adecuada:

Categoría de Exposición F: para concreto exterior expuesto a la humedad y a ciclos de congelamiento y deshielo, con o sin productos químicos descongelantes.

Categoría de Exposición S: para concreto en contacto con suelo o agua que contenga cantidades perjudiciales de iones sulfatos solubles en agua, como se define en C.4.2.1.

Categoría de Exposición P: para concreto en contacto con agua y que requiere baja permeabilidad.

Categoría de Exposición C: para concreto reforzado y preesforzadas expuesto a condiciones que requieren protección adicional del refuerzo contra la corrosión.

Para cada categoría de exposición, la severidad se encuentra definida por clases, con valores numéricos que aumentan de acuerdo con el incremento del grado de severidad de las condiciones de exposición. Se asigna una clasificación “0” cuando la categoría de exposición tiene un efecto despreciable o no es aplicable al elemento estructural.

3.3.3 Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10) –Título C- concreto estructural- capítulo C.3- materiales.

➤ Ensayos de materiales (C.3.1)

Para asegurarse que los materiales utilizados en la obra sean de la calidad especificada, deben realizarse los ensayos correspondientes sobre muestras representativas de los materiales de la construcción. Cuando se trate de edificaciones que deben someterse a Supervisión Técnica de acuerdo con lo exigido por la Ley 400 de 1997 el Supervisor Técnico establecerá un programa de control de calidad de acuerdo con lo exigido en A.1.3.9, en el presente Título C, y en el Título I de la NSR-10. Cuando la edificación no requiere Supervisión Técnica debe cumplirse lo exigido en el Artículo 19 de la Ley 400 de 1997 siendo responsabilidad del



constructor realizar y documentar los controles de calidad de los materiales que exige el Reglamento, los cuales para concreto estructural están contenidos en el presente Título C, además de los exigidos en el Título I del Reglamento.

➤ **Agregados (C.3.3)**

Los agregados para concreto deben cumplir con una de las siguientes normas:

- (a) Agregado de peso normal: NTC 174 (ASTM C33),
- (b) Agregado liviano: NTC 4045 (ASTM C330).

Se permite el uso de agregados que han demostrado a través de ensayos o por experiencias prácticas que producen concreto de resistencia y durabilidad adecuadas, siempre y cuando sean aprobados por el Supervisor Técnico.

➤ **Agua (C.3.4)**

El agua empleada en el mezclado del concreto debe cumplir con las disposiciones de la norma NTC 3459 (BS3148) o de la norma ASTM C1602M cuando sean menos exigentes que los de la norma NTC 3459.

➤ **Acero de refuerzo (C.3.5)**

El refuerzo debe ser corrugado. El refuerzo liso solo puede utilizarse en estribos, espirales o tendones, y refuerzo de repartición y temperatura. Además, se pueden utilizar cuando el Título C del Reglamento NSR-10 así lo permita: refuerzo consistente en pernos con cabeza para refuerzo de cortante, perfiles de acero estructural o en tubos, o elementos tubulares de acero. Las fibras de acero deformadas dispersas se permiten solamente para resistir cortante bajo las condiciones indicadas en C.11.4.6.1 (f).



4 METODOLOGIA

4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto investigativo es de tipo experimental ya que consiste en encontrar el comportamiento de una variable a partir de diferentes combinaciones de variables. Para entrar a experimentar es necesario pasar primero por el diseño de experimentos, esta técnica busca la manipulación sistemática de las variables de entrada de un proceso para entender el efecto que estas pueden causar en la variable respuesta (Quiroga, 2014).

Con el fin de cumplir con los objetivos propuestos en la investigación, se establecieron las siguientes etapas.

- Análisis de fuentes de información, población y muestra.
- Recolección de información
- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos
- Presentación del informe final.

4.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

4.2.1. Fuentes primarias

Se realizó una caracterización del contenido de DBO para los diferentes ensayos de remoción de materia orgánica en el agua residual con el fin de realizar una simulación de ésta, también se realizaron probetas de concreto de agua con materia orgánica presente en el agua residual y otros con agua potable para realizar ensayos comparativos a compresión del concreto con el fin de determinar la variación de la resistencia del concreto en cada una de las probetas. Para los ensayos a compresión del concreto se sometieron a prueba cada uno de los cilindros calculados para cada concentración de materia orgánica, evaluándolos a los 7, 14 y 28 días. Las muestras se realizaron en los laboratorios de la Universidad de Cartagena, y los ensayos se realizaron en el laboratorio del ingeniero Modesto Barrios en el presente año 2016.



4.2.2 Fuentes secundarias

En la base de datos de la Universidad de Cartagena se encontraron diferentes artículos, documentos, revistas científicas que fueron de gran utilidad para la realización de esta investigación dentro de las cuales tenemos: Green File, Scientific Electronic Library Online, Science Direct, Search Ebscohost, Springer-Books, Ebrary, E-libro, Emerald y ASTM international. Basado en dicho análisis se definió la metodología para la concentración de azúcar en el agua potable con el fin de simular la materia orgánica presente en el agua residual y la adecuada ejecución de las pruebas a compresión.

4.2.3 Población y muestra

Las muestras de agua residual sintética fueron obtenidas mezclando agua potable con diferentes concentraciones de azúcar, este experimento tuvo lugar en la ciudad de Cartagena. Para la elaboración de los cilindros se tomaron diferentes concentraciones de materia orgánica del agua residual doméstica, partiendo de una DBO fuerte de 396mg/lit, y a partir de este valor se redujo gradualmente hasta encontrar la cantidad de materia orgánica que permitió elaborar un concreto de 3000 psi. Los cilindros fueron ensayados de acuerdo a la norma NTC 673 con probetas de dimensiones 6” por 12”. (NTC673, 2010).

4.3. VARIABLES

Las probetas cilíndricas se elaboraron teniendo en cuenta la norma ASTM: C 31/C 31M – 03^a con dimensiones de 6” por 12”, para lo cual se tomaron las siguientes variables.

		Definición	Unidad
Variable Dependiente	Resistencia mecánica	Resistencia que tiene el concreto a la ruptura.	Psi
Variable Independiente	Concentración de materia orgánica en el agua potable	Gramos de azúcar utilizado en el agua potable.	Gr/Lt

Tabla 5. Variables para el diseño experimental.



Fuente: Autor.

4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el número de muestra se tuvo en cuenta las variables de la investigación las cuales fueron: la concentración de materia orgánica en el agua sintética y las diferentes resistencias del concreto para en edificaciones. Para la elaboración del agua sintética se partió de una DBO fuerte (396mglt) la cual equivale al 100% de concentración de materia orgánica en el agua sintética. Se elaboraron 9 muestras para cada una de las seis diferentes concentraciones de materia orgánica, es decir 3 muestras para cada una de los diferentes intervalos de tiempo; 7, 14 y 28 días, para un total de 54 probetas

<i>NUMERO DE MUESTRA</i>	<i>DBO₅ (mg/l)</i>	<i>Gr/Lt de azúcar en el agua potable</i>	<i>Concentración de material orgánica en el agua sintética</i>
1	396	0,2	100%
2	324	0,175	87,5%
3	254	0,15	75%
4	179	0,125	62,5%
5	105	0,1	50%
6	1	0	0%

Tabla 6. Diseño experimental.

Fuente: Autor.

La tabla anterior muestra el número de muestras que se realizaron, con los distintos contenidos de azúcar en el agua potable que simula la materia orgánica del agua residual doméstica y su contenido de DBO₅ para cada uno de los ellos. Además se expresan los porcentajes de las concentraciones de materia orgánica en el agua sintética con el fin de tener



un mejor manejo de los datos. Los ensayos de DBO_5 se realizaron en los laboratorios de Cardique de la ciudad de Cartagena.

➤ **Elaboración de probetas para ensayos a compresión.**

Para los ensayos a compresión se realizaron 9 muestras para cada una de las seis diferentes concentraciones de materia orgánica, es decir 3 muestras para cada una de los diferentes intervalos de tiempo; 7, 14 y 28 días. Las muestras tuvieron dimensiones de 6” por 12” basados en la norma **ASTM: C 31/C 31M – 03^a**. El número total de muestras ensayadas fueron 54.

muestra	DBO(mg/lt)	Números de Cilindros de concreto		
		7 Días	14 Días	28 Días
1	396	3	3	3
2	324	3	3	3
3	254	3	3	3
4	179	3	3	3
5	105	3	3	3
6	0	3	3	3

Tabla 7: Diseño del número de cilindros de concreto

Fuente: Autor.

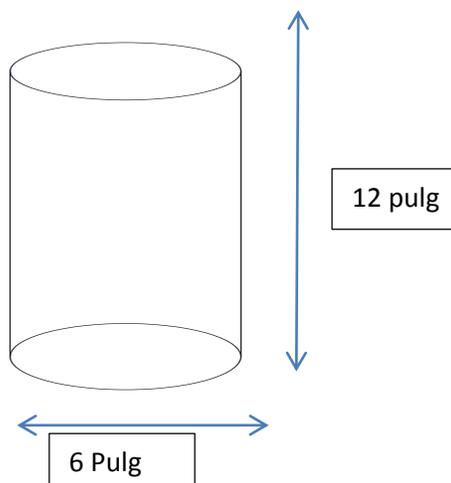


Figura 4. Diseño de probetas para ensayos a compresión.

Fuente: Autor.



4.5. PROCEDIMIENTO

Para determinar la cantidad de materia orgánica contenida en el agua sintética se realizaron ensayos de DBO en los laboratorios de Cardique en la ciudad de Cartagena, con una duración de 15 días la cual consistió en la toma de muestra y análisis de resultados. El diseño de mezcla de concreto se realizó en los laboratorios de la Universidad de Cartagena en su sede Piedra de Bolívar, con una duración de 60 días, durante los cuales se llevó acabo el diseño y elaboración de la mezcla, montaje y ensayo de los cilindros de concreto y por último análisis de los resultados obtenidos. Teniendo en cuenta las especificaciones de la norma **ASTM: C 31/C 31M – 03^a**. Cada muestra se realizó con diferentes proporciones de materia orgánica presente en el agua sintética, y ensayada a los 7, 14 y 28 días observando el comportamiento de éstas hasta alcanzar su máxima resistencia. La resistencia de los cilindros de concreto se obtuvo en el Laboratorio del Ing. Modesto Barrios.

4.5.1 Determinación de la cantidad de azúcar

Se inició con el parámetro de una DBO fuerte (396 mg/lit) para aguas residuales doméstica, la cual equivale a 0,2 gr de azúcar por un litro de agua de acuerdo al resultado obtenido en el laboratorio de Cardique, posterior a esto se disminuyó la cantidad de gr de azúcar por litro de agua hasta obtener una DBO que permita la elaboración de un concreto de 3000 psi. Se calculó en una balanza electrónica los gramos de azúcar necesaria para cada muestra de concreto, y éstas se realizaron en los Laboratorios de Geotecnia y Materiales de la facultad de ingeniería civil en la Universidad de Cartagena.



Figura 5. Balanza electrónica para determinar la cantidad de azúcar

Fuente: Autor.



Figura 6. Concentraciones de materia orgánica en el agua sintética

Fuente: Autor.

4.5.2 Elaboración de las muestras

Se prepararon 54 cilindros para ensayarlos a compresión, con un diseño de mezcla de 1:2:3 para ser ensayados a los 7, 14 y 28 días. Se ensayaron 3 cilindros en cada intervalo de tiempo con cada una de las proporciones de materia orgánica, para obtener un promedio de la resistencia real y evitar algún error en la toma de la muestra. Para la elaboración del concreto se usó cemento portland tipo I, agua potable con adición de azúcar para simular la materia



orgánica, y se usaron dos tipos de agregados: canto rodado fracturado y arena de Rotinet. Una vez realizada la mezcla de concreto para cada una de las concentraciones de materia orgánica, se llenaron los cilindros en tres capas y cada capa fue apisonada con una varilla de 3/8" con 25 golpes. Luego de 24 horas se removieron los moldes, y los cilindros se sometieron en un ambiente de saturación sumergiéndolos en agua.



Figura 7. Probetas en su estado de curado del concreto.

Fuente: Autor.



Figura 8. Elaboración de las probetas de concreto.

Fuente: Autor.



Figura 9. Materiales utilizados para la mezcla de concreto.

Fuente: Autor.



Figura 10. Moldes utilizados para la elaboración de las probetas.

Fuente: Autor.



Figura 11. Probetas de concreto para ensayos a la compresión.

Fuente: Autor.



Figura 12. Mezcla de concreto.

Fuente: Autor.



Figura 13. Maquina universal para el ensayo a la compresión.



Fuente: Autor.



Figura 14. Tablero computarizado para medir la carga aplicada.

Fuente: Autor.



Figura 15. Ensayo a la compresión del concreto.

Fuente: Autor.



5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 ENSAYOS A COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Las pruebas para determinar la resistencia del concreto se obtuvieron utilizando la maquina universal, que está compuesta por un equipo principal, una fuente hidráulica, un controlador y un sistema de control computarizado. Su placa móvil es accionada por energía eléctrica, hasta lograr ajustar la zona con la compresión deseada. Las probetas cilíndricas ensayadas fueron de 6 pulg por 12 pulg para una resistencia de 3000psi, comenzando con una concentración de materia orgánica en el agua sintética de 396mg/lt que equivale a una DBO fuerte, a partir de ahí se redujo la cantidad de materia orgánica hasta obtener la resistencia deseada de 3000 psi. En total se ensayaron 54 muestras.

A continuación se muestran los resultados de ensayos a los 7, 14 y 28 días.

Muestra	DBO(Mg/lt)	Concentración de materia orgánica en el agua sintética (%)	Resistencia a la compresión		
			7 Días	14 Días	28 Días
1	396	100	1011	1264	1736
			1017	1260	1748
			1010	1262	1731
			Promedio	1013	1262
2	324	87,5	1450	1638	1812
			1462	1644	1806
			1456	1636	1820
			Promedio	1456	1639
3	254	75	1638	1740	2036
			1645	1748	2045
			1657	1742	2034
			Promedio	1647	1743

Tabla 8. Ensayos a compresión para resistencia de 3000psi

Fuente: Autor



Muestra	DBO(Mg/lit)	Concentración de materia orgánica en el agua sintética (%)	Resistencia a la compresión		
			7 Días	14 Días	28 Días
4	179	62,5	1712	1929	2639
			1703	1935	2628
			1710	1933	2621
			Promedio	1708	1932
5	105	50	1770	2030	2941
			1768	2023	2933
			1766	2026	2951
			Promedio	1768	2026
6	1	0	1885	2219	2973
			1880	2215	2978
			1877	2213	2963
			Promedio	1880.7	2216

Tabla 9. Ensayos a compresión para resistencia de 3000psi

Fuente: Autor.



- Graficas comparativas de resultados obtenidos.



Grafica 1 : Variación de la resistencia Vs concentración de materia orgánica a los 7 días.

Fuente: Autor



Grafica 2 : Variación de la resistencia Vs concentración de materia orgánica a los 14 días

Fuente: Autor



Grafica 3 : Variación de la resistencia Vs concentración de materia orgánica a los 28 días.

Fuente: Autor

Los resultados anteriores muestran que para el concreto de 3000 psi la variación de la resistencia fue decreciente, las muestras que no contenían materia orgánica en el agua presentaron una resistencia última de 1880, 2216 y 2971 psi, para los 7, 14 y 28 días respectivamente, mientras que las probetas que contenían la misma materia orgánica de un agua residual domestica fuerte (DBO 396 mg/l) mostraron resultados último de 1010, 1262 y 1738 psi, para los 7, 14 y 28 días respectivamente. Las probetas con materia orgánica de un agua residual domestica débil (DBO 105 mg/l) presentaron resistencias muy cercanas a la muestra patrón, con resistencias de 1768, 2026 y 2942 psi para los 7, 14 y 28 días.

La muestra número 5 con un contenido de DBO de 105mg/l presentó una resistencia muy cerca a la de 3000psi, por lo tanto con este contenido de materia orgánica se puede elaborar un concreto apto para la construcción.



Grafica 4: Variación de la resistencia Vs concentración de materia orgánica a los 7, 14 y 28 días.

Fuente: Autor

La grafica anterior muestra una comparación de los resultados obtenidos a los 7, 14 y 28 días de la resistencia a la compresión del concreto con diferentes concentraciones de materia orgánica en el agua residual sintética, se observa que dicha resistencia disminuye en un promedio del 24,87% la cual varía dependiendo del contenido de materia orgánica en el agua de amasado, debido a que en la elaboración del agua residual sintética se utilizó azúcar con el fin de simular la materia orgánica del agua residual doméstica. Cuando el azúcar entra en



contacto con el cemento está lo recubre en forma coloidal evitando que el cemento los agregados y el agua se agrupen y que la pasta fragüe con rapidez. Por otro lado el azúcar reacciona con las propiedades del cemento (Aluminio y Calcio) formando complejos insolubles, que interfieren con el proceso de endurecimiento disminuyendo la cantidad de estos compuestos que pueden reaccionar con el agua potable (Murcia, 2014). Por esta razón cierto contenido de azúcar trabaja como retardante en las mezclas de concreto, disminuyendo a su vez la resistencia de este (Jorge, Rafael, & Oscar, 2006).

En la gráfica anterior se muestra que para un concreto elaborado con agua potable las resistencias a los 7, 14 y 28 días es de 1880, 2216 y 2971 respectivamente, mientras que para las muestra con un contenido de DBO (396 mg/lit) las resistencias obtenidas fueron de 1013, 1262 y 1738, dicho cambio decreciente se debe a la cantidad de materia orgánica, que por el alto contenido de azúcar retarda el proceso de fraguado del concreto ocasionando una resistencia inferior a la usual. A su vez se puede observar que el rango de diferencia entre los cilindros a los 14 y 28 días de los concretos con agua de materia orgánica es más pequeño en comparación a la muestra con agua potable, esto se debe a que en los cilindros con mayor cantidad de materia orgánica, el azúcar absorbe parte del agua de hidratación del concreto, por lo que al disminuir la cantidad de materia orgánica aumenta el agua de hidratación y no se ve afectada la resistencia del concreto.

Por otro lado en el año 2001 en la ciudad de México realizó una investigación titulada “ELABORCIÓN DE CONCRETO CON AGUA TRATADA” donde se obtuvo una resistencia de 2560psi, con una DBO de 36,79 mg/lit, sin embargo aunque el contenido de DBO es menor al estudiado en esta investigación, se podría decir que la diferencia en las resistencia del concreto se debe a los distintos parámetros físico químico en el agua residual. Sin embargo en ambas investigaciones se llegó a la misma conclusión acerca de la posibilidad de utilizar agua residual tratada en la elaboración del concreto.

Para el año 2014 el Departamento de Ingeniería Civil del institute of Technology NMAM realizó un estudio de “EFFECTS OF THE PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF TREATED WASTEWATER EFFLUENTS ON THEIR REUSE IN PLAIN



CONCRETE WORKS” que consistió en el uso de agua residual tratada de una estación de lavado, fábrica de lácteos, campus NMAM y agua potable para la elaboración del concreto. Para lo que se realizó un análisis del pH, Cloruro, sólidos disueltos, Dureza, alcalinidad y sulfatos, obteniendo resistencia a los 28 días de 5801psi para la estación de lavado, 6050psi, para lácteos, 5511psi para el agua residual tratada del campus NMAM y 6061psi para el agua potable. Con lo que se concluyó que ninguna de las muestras tiene efectos secundarios en la resistencia del hormigón. Sin embargo aunque en la investigación se obtuvieron resistencias superiores a la de esta investigación, se debe a que su muestra patrón es de 6061psi mientras que para esta investigación fue de 3000psi.

Para el año 2012 los investigadores Ainul Haezah Noruzman, Bala Muhammad, Mohammad Ismail, Zaiton Abdul-Majid realizaron un estudio titulado “CHARACTERISTICS OF TREATED EFFLUENTS AND THEIR POTENTIAL APPLICATIONS FOR PRODUCING CONCRETE” donde se busca sustituir el agua potable por agua residual tratada para la elaboración de mezclas de concreto. Para esto se utilizaron tres fuentes de agua residual que fueron: industria pesada, molino de aceite de palma y de las aguas residuales domésticas. Se les realizó un proceso de tratamiento preliminar incluyendo el primario y secundario y posterior a esto se midieron los parámetros fisicoquímicos (pH, cloruro, alcalinidad, dureza, sulfato, impurezas inorgánicas..). Para las muestras se obtuvieron resistencia a los 28 días de 7541psi para aguas de industria pesada, 6961psi para agua potable, 6236psi para agua residual doméstica y 5656psi para agua de molinos de aceite de palma, se concluyó que es recomendable la elaboración con agua tratada de la industria pesada, puesto que se obtuvieron mejores resistencia que la muestra patrón, mientras que para las dos fuentes de agua (agua residual doméstica y agua de molino de palma), estuvieron por debajo de la muestra patrón. Por otro lado la muestra elaborada con agua tratada de industria pesada obtuvo una resistencia superior al 0.8% de la muestra patrón mientras que la de agua doméstica obtuvo un 10% inferior al agua patrón, que comparándolos con los resultados obtenidos en esta investigación en la cual la muestra con un contenido de DBO de 105mg/lit tuvo una resistencia de 2942psi que estuvo un 0,9% por debajo de la



muestra patrón: por lo que se puede concluir que el uso de agua residual tratada para la elaboración del concreto es aceptable debido a que las resistencias estuvieron muy cercana a la muestra patrón.

En la ciudad de Muscat (Oman) ubicado en el continente de Asia, los investigadores, K. Jabri, A. Saïdy, R. Taha, A.J. Kemyani realizaron un trabajo titulado “EFFECT OF USING WASTEWATER ON THE PROPERTIES OF HIGH STRENGTH CONCRETE” donde se estudió el efecto del uso de agua residual en las propiedades de alta resistencia del hormigón, para lo cual se midió el ph, solidos disueltos totales, cloruros, dureza, alcalinidad y sulfatos en tres tipos de muestra con diferentes concentraciones de agua residual tratada (0%,25%, 50%, 100%) obtenidas en una estación de lavado de automóviles. Los resultados indicaron que para el agua potable la resistencia fue de 11167 psi, para la muestra con 25% de agua residual fue de 10152psi, para la muestra de 50% de agua residual fue de 10877psi y para la muestra de 100% agua residual fue de 10442psi, por lo que se concluyó que el uso de las aguas residuales de las estaciones de lavado de automóviles tiene un efecto despreciable sobre la resistencia del hormigón ya que no hubo diferencia significativa en los ensayos de resistencia a la compresión del hormigón, lo cual se debe a que para la elaboración de las muestras se empleó agua residual tratada y además de esto el agua tratada se mezcló con agua potable, lo cual redujo las impurezas presentes en el agua residual.

Por lo tanto para cada investigación se llegó a la misma conclusión acerca de la utilización del agua residual tratada en la elaboración del concreto, puesto que las resistencias obtenidas se encontraban por encima o muy cercanas a la muestra patrón. De ser esto posible, se generaría un menor impacto ambiental, y contribuiría con la recolección de agua residual en aquellos lugares donde no existe alcantarillado.



6. CONCLUSIONES

Se observó que los cilindros con una DBO de 105 mg/l en el agua de amasado, desarrollaron una resistencia final cercana a 3000 psi, las muestras que contenían altas concentraciones de materia orgánica mostraron valores decreciente en la resistencia del concreto, por lo que se puede concluir que se puede elaborar un concreto apto para la construcción con agua que contenga una DBO de 105 mg/l, equivalente a una agua residual domestica débil.

Se determinó que 0,2 gr de azúcar por cada litro de agua potable genera un contenido de DBO de 396mg/lt, y se utilizó como punto de partida para determinar las distintas concentraciones de materia orgánica para el agua de amasado del concreto.

La resistencia a la compresión disminuía en cuanto mayor era la concentración de materia orgánica, esto se debe a la cantidad de azúcar presente en el agua de amasado la cual ocasionaba un efecto de retracción en la muestra que a su vez afectaba la resistencia.

Comparando los resultados obtenidos en este documento con el estudio realizado en el año 2001 en la ciudad de México por los ingenieros Adán Vázquez, Francisco Gonzales, Luis Rocha y Antonio Flores titulada “EVALUACION DE CONCRETO CON AGUA TRATADA, se encontró que hubo un aumento de resistencia para un contenido de DBO mayor, lo cual podría ser debido a que el agua utilizada para las investigaciones anteriores fue agua residual tratada mientras que en esta investigación se utilizó agua residual sintética, por esta razón no se contaba con la gran cantidad de parámetros fisicoquímicos que contiene el agua residual, lo que pudo influenciar para obtener una resistencia mayor. Por otro lado en ambas investigaciones se concluyó que es posible utilizar un concreto de 3000psi para las obras de construcción.

Para las investigaciones realizadas en los años 2012,2014 las resistencias para los concretos elaborados con agua residual tratada se encontraron cercanas a la muestra patrón y en algunos



casos por encima de esta, por lo que sí es posible la utilización del agua residual tratada en la elaboración de concretos, ya que esta no afecta sus propiedades mecánicas.

Este proyecto es importante porque busca sustituir el agua para la preparación del concreto con agua residual tratada, generando un menor impacto ambiental, y contribuir con la recolección de agua residual en aquellos lugares donde no existe alcantarillado. Además podría servir de base para futuras investigaciones donde busquen analizar los parámetros físico-químicos del agua residual, hasta llegar a un concreto con agua residual tratada que se pueda utilizar en la industria de la construcción.

Para la elaboración de los primeros cilindros de concreto se utilizó una concentración de azúcar de 0,5 gr por cada litro de agua con un contenido de DBO de 934 mg/lit, sin embargo estos cilindros no llegaron a los 28 días del tiempo de curado, debido a que se rompieron antes de ser ensayados, debido a la gran cantidad de materia orgánica.



7. RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los datos obtenidos del estudio de la materia orgánica en el agua de amasado para el concreto, se sugiere realizar investigaciones para cada uno de los parámetros físico-químico del agua residual, con el fin de conocer cómo afectan éstos la resistencia del concreto.
- Aunque es posible obtener un concreto de 3000 psi con una DBO de 105 mg/lit, es recomendable realizar ensayos en el concreto reforzado, y verificar si ésta afecta o no el acero estructural.
- Se debe verificar si es factible económicamente la remoción de cada parámetro físico-químico del agua residual para ser utilizado como sustituto del agua potable en obras de construcción, ya que podría no solo generar mayores costos en la industria de la construcción, si no también problemas al momento de conseguir un agua residual tratada con las especificaciones necesarias que no afecten la resistencia del concreto.
- Por otro lado es importante realizar investigaciones en donde se enfoquen en la durabilidad del concreto preparado con agua residual domestica débil, ya que es parte fundamental en el proceso constructivo.



8. BIBLIOGRAFÍA

- Ana Velezmoro, H. A. (2014). Influencia del nitrato presente en el agua de mezclado sobre las propiedades físicas del concreto. *Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela vol.29 no.2 Caracas* .
- Bernal, J. (5 de Mayo de 2009). *El concreto*. Obtenido de <http://elconcreto.blogspot.com/2009/05/el-concreto-reforzado.html#comment-form>
- betico49. (5 de Mayo de 2009). <http://elconcreto.blogspot.com/2009/05/el-concreto-reforzado.html#comment-form>.
- Bustamante, Cabrera, Candela, Lilo, & Palacio. (marzo de 2010). *TREATED URBAN WASTEWATER REUSE IN SPAIN*:. Obtenido de http://www.unesco.org.uy/ci/fileadmin/phi/aqualac/Bustamante_et_al.pdf
- Chaverri, J. A., & Gonzales., C. B. (Abril de 2008). *ARQHYS ARQUITECTURA*. Obtenido de <http://www.arqhys.com/arquitectura/tipos-cemento-portland.html>
- Fleur, B., Aitken, C., Rosanne, C., Maria, C., Polly, K., & Julia, M. (2004). *Restauración de Humedales –Manejo Sostenible de Humedales y Lagos Someros*. Programa LIFE de la Unión Europea.
- Guzmán, S. d. (2001). *Tecnología del concreto y del mor*. SantaFe de Bogotá: BHANDAR EDITORIALES LTDA.
- Hernández, S. y. (2008). http://metodologia2012.bligoo.cl/media/users/23/1179686/files/332545/12cap_MI5aCD.pdf.
- Jenny Gómez, Alvaro Herrera. (2004). *Determinación de los efectos por presencia de materia orgánica sobre el concreto y su grado de tolerancia*. Obtenido de Fundación universitaria de america sistema de biblioteca: <http://biblos.uamerica.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=20609%20|%2020609%20|%2020609%20|%2020609%20|%2020609%20|%2020609%20|%2020609%20|%2020609%20|%2020609%20|%2020609%20>
- Jorge, R., Rafael, R., & Oscar, M. (2006). Investigación experimental del efecto del azúcar en el concreto.
- K.S. Al-Jabri, A. A.-S.-K. (2011). Effect of using Wastewater on the Properties of High Strength Concrete. *procedia Engineering*, 370-376.
- Linier, D. (1994). *Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón*. 2da.



- Luis Arraez, M. B. (31 de diciembre de 2013). *La correlación de los parámetros físicoquímico y la resistencia a la compresión del concreto elaborado con agua del río Magdalena*. Obtenido de Repositorio institucional universidad de Cartagena:
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://190.25.234.130:8080/jspui/handle/11227/276>
- Maruf Mortula, S. S. (2012). Removal of TDS and BOD from Synthetic Industrial Wastewater via. *IPCBEE vol.41*, 166-170.
- Metcalf, & Eddy. (1998). *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. Mc Graw Hill.
- Murcia, U. d. (28 de 02 de 2014). *Todo sigue Igual*. Obtenido de <https://todosigueigual.wordpress.com/2014/02/28/el-hormigon-que-conocio-el-azucar/>
- NTC673. (2010). *Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes cilíndricos de Concreto*. ICONTEC.
- Oscar Abad, J. t. (31 de diciembre de 2013). *Efecto en la disminución de la resistencia del concreto preparado con diferentes marcas de cemento y agua del río Magdalena - caso : Municipio de Calamar (Bolívar)*. Obtenido de Repositorio Universidad de Cartagena:
https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewjYUNvfgs7MAhUEqh4KHbB_BX8QFggaMAA&url=http%3A%2F%2F190.25.234.130%3A8080%2Fjspui%2Fhandle%2F11227%2F273&usg=AFQjCNFpZNETX8O5Mi-w2_BOJvYFlxSIEg&sig2=j9IH-cvrK9WaRZ
- Quiroga, V. M. (2014). *Manual Práctico Para El Análisis De Experimentos De Campo*. Instituto Interamericano De Ciencias Agrícolas.
- Rodríguez, N. (mayo de 2013). *UNAM*. Obtenido de <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/Publicaciones/GacetaElectronica/GacetaMayo2013/Paginas/Reutilizaciondeaguatratada.aspx>
- Shabani, M. M. (2012). Removal of TDS and BOD from synthetic Industrial Wastewater via Adsorption. *IPCBEE vol 41*, 166-170.
- Vazquez, A., Gonzales, F., Rocha, L., & Flors, A. (Abril de 2001). *Elaboración de concreto con agua tratada*. Recuperado el 05 de junio de 2016, de <http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/concretos.htm>



9. ANEXOS



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE
CARDIQUE
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS F-GES-75

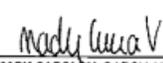
Nombre de la Empresa	YANNA ALBES MESA
Cédula de Ciudadanía	1143989412
Dirección de la Empresa	Consuelo Sáenz Camilo Torres Carvajal
Código de entrada al Laboratorio	LA16: 0511
Reporte de Análisis	Nº. 0119-16

Naturaleza de la Muestra	Agua
# de Muestras	1
# de Análisis	1
Fecha de Toma de Muestras	Información disponible por el cliente
Hora Toma de Muestras	Información disponible por el cliente
Fecha de Recibo	Abril 12 de 2016
Fecha de Emisión de Informe	Abril 20 de 2016
Recolector	Información disponible por el cliente
Tipo de Caracterización	Servicio
Plan de Muestreo	Información disponible por el cliente
Procedimiento de Muestreo	Información disponible por el cliente
Punto de Muestreo	Agua residual sintética (Información suministrada por el cliente)
Páginas	2 de 2

Parámetros	Unidades	Métodos	Entrada	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B-4500-O-G	396.00	0,48	Abril 12/16

S.M Standard Methods Edición 22

Resultados válidos Únicamente para las muestras analizadas
 Este documento no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización de LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL DE CARDIQUE
 El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la **CONFIDENCIALIDAD** de los resultados presentados en este Informe



MADY CAROLINA GARCÍA VERGARA
 Jefe de Oficina del Laboratorio de Calidad Ambiental

NUESTRO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL CUMPLE LOS ESTANDARES DE LA NORMA ISO 17025

Figura 16: Registro de resultado de los ensayos de Cardique
Fuente: Laboratorios de Cardique



Figura 17: Ensayo de cilindro a la compresión

Fuente: Autor



Figura 18: Balanza electrónica para la determinación del Azúcar

Fuente: Autor



Figura 19: Probetas en estado de curado del concreto.

Fuente: Autor



Figura 20 : Probetas de concreto en la maquina universal de ensayos a la compresi3n

Fuente: Autor

