

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA MEZCLAS
DE CONCRETOS DE 3000 PSI ELABORADAS CON COMBINACIONES DE
AGUA DEL RÍO MAGDALENA Y DE AGUA POTABLE A DISTINTAS
PROPORCIONES.**



**EVER JOSE ANAYA SUAREZ
OSCAR DE JESUS SUAREZ TORRES
Estudiantes**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS DT. Y C.
2016**

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETOS DE
3000 PSI ELABORADAS CON COMBINACIONES DE AGUA DEL RÍO
MAGDALENA Y DE AGUA POTABLE A DISTINTAS PROPORCIONES.**

**Grupo de investigación: ESCONPAT
Línea de investigación: Materiales de construcción**

**EVER JOSE ANAYA SUAREZ
OSCAR DE JESÚS SUAREZ TORRES
Estudiantes**

**ING. JOSE FAUSTINO ESPAÑA MORATTO
Director**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS DT. Y C.
2016**

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por brindarme la oportunidad de estudiar esta maravillosa carrera universitaria y ayudarme a salir adelante sin importar las adversidades, además, a mis padres Oscar Antonio Suarez Cabrera y Maryluz Torres Cohen y mi hermana Duvis Suarez Torres, que han sido mi motor, mis ganas y mi guía para alcanzar mis metas, y, a la universidad de Cartagena, su cuerpo de docentes, de trabajadores, a mis compañeros de estudio, a mis amigos y a todas las personas que estuvieron cerca de mi brindándome apoyo y buenos deseos.

OSCAR DE JESUS SUAREZ TORRES

Primero que todo agradezco a DIOS por darme la oportunidad de estudiar y convertirme en un gran profesional, también darle gracias a mis papas Ever De Jesús Anaya Reyes y Cerlis Del Carmen Suarez Viera que sin la ayuda de ellos esto no hubiera sido posible, mi familia, mis amigos y todas las personas que de alguna u otra manera me apoyaron e influyeron en la obtención de este título. A la universidad de Cartagena, todo su cuerpo de docentes, administrativos y demás personal que me dieron la oportunidad de cumplir el primero de muchos logros que vendrán, brindándome el conocimiento y el apoyo necesario para cumplir esta gran meta.

EVER JOSÉ ANAYA SUAREZ



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
2. MARCO REFERENCIAL	16
2.1. ESTADO DEL ARTE	16
2.2. ANTECEDENTES	18
2.2.1. Estudios nacionales.	18
2.2.2. Estudios internacionales	25
2.3. MARCO TEÓRICO	28
2.3.1. Concreto.	28
2.3.2. Cemento portland.	30
2.3.3. Agua.	36
3. OBJETIVOS	53
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	53
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	53
4. ALCANCE	54
4.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.	54
4.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	56
4.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.	56
4.4. PRODUCTO FINAL A ENTREGAR Y PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS..	57
4.5. ASPECTOS QUE NO INCLUYE LA INVESTIGACIÓN.	57
5. METODOLOGIA.....	58
5.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACION	58
5.2. VARIABLES	59
5.3. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	60
5.4. RECOLECCION DE LOS MATERIALES	60
5.5. ENSAYOS DE LABORATORIO AL AGUA	61
5.5.1. Ph.....	62
5.5.2. Turbidez.....	62
5.5.3 Solidos Suspendidos Totales	63
5.5.4 Temperatura.....	63
5.5.5 DQO	64
5.5.6 DBO.....	65



5.5.7. Cloruros	66
5.5.8. Alcalinidad	67
5.5.9 Oxígeno disuelto.....	68
5.5.10 Dureza.....	69
5.5.11 Conductividad.....	69
5.5.12. Coliformes fecales	70
5.5.13 Grasas y aceites	72
5.6. DISEÑO DE MEZCLA	74
5.7. ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS.....	76
5.8. ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO (ASTM C 31-ASTM C 39).....	77
5.9. REPRESENTACION ESQUEMATICA.....	79
5.10. ANALISIS DE CONFIABILIDAD, VALIDEZ Y OBJETIVIDAD	80
6. RESULTADOS	81
6.1. DISEÑO DE MEZCLA 3000 psi	81
6.2. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL AGUA	82
6.2.1. Comparación de los resultados con los límites permitidos por la norma NTC 3459 según Resolución 2115 de 2007 para Agua Potable.....	83
6.2.2. Comparación Con Los Estudios Previos	84
6.3. RESULTADOS DEL ENSAYO A LOS CILINDROS.....	86
6.3.1. Comparación Con Estudios Previos	87
6.4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	89
6.4.1. Caracterización del agua.....	89
6.4.2. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión.....	90
7. CONCLUSIONES.....	92
8. RECOMENDACIONES	94
9. BIBLIOGRAFIA	95



TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes del hormigón en peso.....	28
Figura 2. Aspecto del hormigón endurecido.....	29
Figura 3. Etapas en la fabricación del cemento Portland.....	33
Figura 4. Ubicación geográfica del epicentro en donde se harán los estudios.....	54
Figura 5. Ubicación geográfica de la Universidad de Cartagena, Campus Piedra de Bolívar.....	55
Figura 6. Imagen satelital del municipio de Calamar, Bolívar.....	55
Figura 7. Imagen satelital de los laboratorios de la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar.....	56
Figura 8. Vista del municipio de Calamar, Bolívar.....	58
Figura 9. Recolección y almacenamiento de las muestras.....	61
Figura 10. Agua Utilizada.....	62
Figura 11. Elaboración y curado de los cilindros.....	77
Figura 12. Ensayo de compresión a los cilindros.....	78



LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Valores para impurezas en el agua de mezclado para concretos.....	39
Tabla 2. Clasificación de los agregados según su tamaño.....	41
Tabla 3. Clasificación de los agregados según su densidad.....	42
Tabla 4. Variables independientes para el diseño experimental.....	59
Tabla 5. Variables intervinientes para el diseño experimental.....	59
Tabla 6. Resistencia requerida de diseño.....	74
Tabla 7. Relación agua cemento.....	75
Tabla 8. Propiedades físico químicas de las muestras de agua.....	82
Tabla 9. Propiedades fisicoquímicas del agua permitidas por la NTC.....	83
Tabla 10. Comparación de resultados del agua del río magdalena con anteriores trabajos de grado.....	84
Tabla 11. Resistencia a la compresión para concretos de 3000 PSI.....	86
Tabla 12. Comparación de resultados del agua del río magdalena con anteriores trabajos de grado.....	93



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



LISTADO DE GRAFICAS

Grafica 1. Curvas de resistencia obtenidas de los cilindros de concreto de 3000 PSI...	87
Grafica 2. Comparación de resultados para concretos de 3000 PSI.....	88



RESUMEN

Uno de los componentes fundamentales en la construcción de obras civiles es el concreto, el cual se considera como una mezcla de agregado fino y/o grueso, cemento y agua siendo este último uno de los elementos más importantes en dicha mezcla, ya que es fundamental en la resistencia que el concreto pueda alcanzar. Por consiguiente se han venido realizando muchas investigaciones encaminadas a la utilización del agua en mezclas de concreto, para conocer su comportamiento y buscar posibles mejoras.

Teniendo en cuenta lo antes dicho, queriendo aportar a las investigaciones anteriores y buscando innovaciones en el campo ingenieril se realizó la presente investigación la cual se trata de la Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena tomada a la altura del municipio de Calamar y de agua potable a distintas proporciones.

Para llevar a cabo este proyecto se elaboraron mezclas de concreto con las combinaciones de agua de río y potable, con solo agua de río y con solo agua potable, las combinaciones entre agua de río y agua potable fueron de: 50% agua de río y 50% agua potable, 65% agua potable y 35% agua de río y 75% agua potable y 25% agua de río. Dichos cilindros de concretos fueron ensayados a 7, 14 y 28 días con el fin de analizar los distintos resultados y así poder compararlos con los límites que permite la norma. A su vez se elaboraron las caracterizaciones o análisis físico-químicos a las diferentes combinaciones entre agua potable y agua de río para determinar los niveles de DBO₅, DQO, PH, Temperatura, Salinidad, Oxígeno Disuelto, Sólidos suspendidos totales, Turbidez, Coliformes fecales, Conductividad, Cloruros, Dureza, grasas y aceites y Alcalinidad para tener una idea de los efectos que produciría en la resistencia de los cilindros.

Por otro lado, teniendo en cuenta los resultados arrojados en esta investigación, para el caso del agua y sus combinaciones entre agua de río y agua potable se nota que el agua de río Magdalena a la altura del municipio de Calamar no se encontró en condiciones óptimas para su utilización en obras de ingeniería, ya que algunos de los resultados arrojados por las caracterizaciones realizadas se encuentran por fuera de los límites permitidos por las normas para la realización de mezclas de concreto, y para el caso de los ensayos a compresión realizados a los cilindros de concreto hechos con las distintas combinaciones entre agua de río y agua potable, se obtuvo que ninguna de las mezclas



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



de concreto alcanzó la resistencia requerida y que la mezcla de concreto que estuvo más cerca al mínimo de 90% requerido por la norma fue la mezcla preparada con 25% agua de río y 75% agua potable, que estuvo en el orden de 85.587% de la resistencia total.



ABSTRACT

One of the key components in the construction of civil works is concrete, which is considered as a mixture of fine aggregate and / or thick, cement and water the latter being one of the most important elements in said mixture as it is essential resistance in the concrete can reach. Therefore they have been carried out much research aimed at the use of water in concrete mixes to know their behavior and look for possible improvements.

taking into account what has been said, wanting to contribute to previous research and looking for innovations in the field engineering was performed this research which is the evaluation of the compressive strength 3000 PSI elaborate concrete mixtures with combinations of the Magdalena river water taken at the height of the municipality of squid and drinking water to different proportions.

To carry out this project were elaborated mixes concrete with combinations of river water and drinking, with only drinking water, and only water of river combinations between river water and drinking water were: 50% water of river and 50% drinkable water, 65% water and 35% water of river and 75% water and 25% Water River. These cylinders of concrete were tested at 7, 14 and 28 days in order to analyze the different results and thus to compare with limits that allows standard. At the same time were developed characterizations or physico-chemical analysis to the different combinations between potable water and water of river to determine the levels of BOD₅, cod, PH, temperature, salinity, dissolved oxygen, total suspended solids, turbidity, fecal coliform bacteria, conductivity, chloride, hardness, fats and oils, and alkalinity to get an idea of the effects that would produce the strength of cylinders.

On the other hand, taking into account the results in this investigation, for the case of water and their combinations between water river and drinking water is noticed that River Magdalena at the height of the municipality of squid was not found in optimal conditions for use in engineering works, since some of the results thrown by the characterizations made by outside the limits permitted by the rules for carrying out mixtures of concrete, and in the case of the compressive tests to cylinders of concrete made with different combinations between river and drinking water water, obtained no concrete mixes reached the required resistance and that the concrete mixture that it was



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



closer to the 90% required by the standard minimum was prepared with 25% mix river water and 75% water who was in the order of 85.587% of the total resistance.



1. INTRODUCCIÓN

Si bien ya se ha reiterado en muchas ocasiones que el agua es uno de los componentes esenciales para las mezclas de concreto, pues esta permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante. Esta debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas.

En caso de tener que usar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cilindros de prueba, que deben tener a los 7, 14 y 28 días un 90% de la resistencia de los concretos que se preparen con agua potable.

Estudios realizados anteriormente nos hablan de cómo puede influir el agua que no esté tratada correctamente en la resistencia del concreto, tales estudios fueron los siguientes, el análisis comparativo del comportamiento en la disminución de la resistencia de concretos de 3.000 y 4.000 psi con diferentes marcas de cemento de la región, preparados con agua del río magdalena en el municipio de calamar departamento de bolívar, el cual fue el trabajo realizado por Oscar Ignacio Abad Suarez y Jorge Antonio Tous Hernández en el año 2013. Este consistió en hacer mezclas de concreto con tres marcas de cemento diferentes las cuales fueron ARGOS, CEMEX y HOLCIM y con agua del río magdalena a la altura del municipio de calamar bolívar para determinar la influencia y los comportamientos que proporciona dicha agua en las propiedades físico-químicas del hormigón y ver cual marca de cemento es la más óptima para hacer mezclas de concreto, permitiendo así establecer si esta agua es apta para la elaboración de mezclas de concreto de 3000 y 4000 psi, este aporte se realizó para determinar la evaluación de los efectos causados sobre las propiedades resistencia a la compresión de mezclas de concreto hidráulico y de manejabilidad.

Otro estudio fue el de la evaluación y comparación de la resistencia en concretos para mezclas de 3000 y 4000 psi elaboradas con agua del río magdalena y del acueducto municipal de Zambrano, el cual fue trabajo de grado realizado por Juan David Méndez Duran y William Felipe Ortiz Giraldo en el año 2012, el cual consistió en la realización de un estudio analítico sobre la resistencia del concreto como material para la construcción y a su vez determino si la utilización del agua del Río Magdalena y del acueducto del municipio de Zambrano-Bolívar eran aptas como agua de mezclado en la



fabricación de concreto, verificando si se compromería la resistencia de éste haciendo inaceptable e inútil su utilización en la construcción. Todos estos estudios están enfocados en la manera como el agua puede influir en la resistencia del concreto en estas poblaciones; más específicamente en el municipio de Calamar donde no existen otros recursos para conseguir agua en mejores condiciones para la realización de la mezcla del hormigón.

Con base en todo lo anterior, el problema a resolver consiste en buscar la mezcla óptima entre agua de río y potable, teniendo en cuenta la influencia de DBO₅, DQO, PH, Temperatura, Salinidad, Oxígeno Disuelto, Sólidos suspendidos totales, Turbidez, Coliformes fecales, Conductividad, Cloruros, Dureza, grasas y aceites y Alcalinidad y los límites tolerables de estos en mezclas de concreto, de tal manera que se pueda disminuir la pérdida de la resistencia en obras de concreto al momento de utilizar solo agua de río, además, se busca disminuir el uso del agua potable en obras de ingeniería utilizando lo estrictamente necesario.

Para ello se propuso tomar agua del río Magdalena a la altura del municipio de Calamar y mezclarla con agua potable en distintas proporciones y caracterizar dichas proporciones, con el fin de conocer la incidencia de elementos presentes en el agua de río tales como DBO₅, DQO, PH, Temperatura, Salinidad, Oxígeno Disuelto, Sólidos suspendidos totales, Turbiedad, Coliformes fecales, Conductividad, Cloruros, Dureza, grasas y aceites y Alcalinidad en las mezclas de concreto, además, para encontrar la combinación ideal de estas aguas para la realización de mezclas de concreto, disminuyendo la pérdida de la resistencia y ayudando a optimizar el uso de agua potable en mezclas de concreto, ahora, ¿Qué proporción de mezcla de agua de río y potable será la óptima para usar como agua de amasado de la matriz de concreto?

El estudio se realizó a partir de ensayos a cilindros de concreto realizados con las distintas combinaciones entre agua de río y agua potable, para determinar si el concreto con estas combinaciones logra adquirir la resistencia requerida para poder realizar cualquier tipo de construcciones. Los resultados serán analizados a través de gráficas comparativas que buscan establecer parámetros que pudieran servir de base para el conocimiento del tema en un futuro cercano.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



Este estudio es novedoso, puesto que nadie ha realizado combinaciones de agua potable y agua de río a distintas proporciones para verificar si alguna proporción puede ser apta para la realización de mezclas de concreto y usar dicha mezcla en todo tipo de construcciones, cosa que no se ha encontrado en las investigaciones relacionadas con el tema, ya que solo se limitan a estudiar las mezclas de concreto con agua del río Magdalena en su totalidad.



2. MARCO REFERENCIAL

2.1. ESTADO DEL ARTE

A lo largo del tiempo se han realizado diversas investigaciones para analizar y poder mejorar las características del concreto; utilizando como objeto de estudio el agua de mezclado, debido a que este es un componente que incide en las propiedades del concreto, sobre todo en el desarrollo de su resistencia a compresión en función de la edad.

Cuando se hacen construcciones en lugares aledaños a ríos como las poblaciones cercanas al río Magdalena, debido a la escasez de agua potable en dichas zonas muchas veces se utiliza el agua de los ríos para hacer la mezcla de concreto, cosa que no es recomendable hacer porque dicha agua tiene muchos factores que afectan a la mezcla como el pH, los sólidos suspendidos, la materia orgánica y la turbidez. Debido a esto es de gran importancia buscar la manera de poder hacer una combinación óptima entre el agua de río y el agua potable, buscando con esto tanto ahorrar agua potable como buscar que la resistencia a compresión del concreto fabricado con dicha combinación sea al menos el 90% de la fabricada solo con agua potable.

Como respuesta a esto se han realizado diferentes estudios orientados a determinar los efectos que tienen sobre las propiedades del concreto, aguas de amasado de calidades variables y estudios a las propiedades del agua, de los cuales se puede tomar como referencia que realizar mezclas de concreto con agua de río pura disminuye su resistencia en un rango de 25% a 40% aproximadamente, que uno de los elementos presentes en el agua de río que más influye negativamente en la resistencia a la compresión es los sólidos suspendidos totales (SST) y que dentro del conjunto de elementos presentes en el agua de río se descartan algunos como incidentes en la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto dentro de los cuales podemos encontrar los cloruros y los sulfatos.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



Cabe destacar que el agua de río se puede utilizar para realizar mezclas de concreto, pero realizándole tratamientos a esta, como usar humedales artificiales, sedimentación, filtración, coagulación, etc.

A continuación se presentan diferentes estudios que se han hecho tanto en el ámbito nacional como en el internacional con respecto al comportamiento de la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto con agua río y el estudio de los componentes fisicoquímicos de dicha agua.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



2.2. ANTECEDENTES

2.2.1. Estudios nacionales.

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO EN LA DISMINUCIÓN DE LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 3.000 Y 4.000 PSI CON DIFERENTES MARCAS DE CEMENTO DE LA REGIÓN, PREPARADOS CON AGUA DEL RÍO MAGDALENA EN EL MUNICIPIO DE CALAMAR DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR. Oscar Ignacio Abad Suarez; Jorge Antonio Tous Hernández. Universidad de Cartagena. 2013.

Esta investigación consistió en la comparación de las resistencias a compresión de mezclas de concreto de 3000 y 4000 psi, fabricados con las diferentes marcas de cemento comercializadas en la región (ARGOS, CEMEX Y HOLCIM) y utilizando el agua del Río Magdalena, para determinar su comportamiento mecánico. Para llevar a cabo este proyecto se elaboraron y ensayaron cilindros de concretos a edades de 7, 14 y 28 días con el fin de analizar los distintos resultados y así poder compararlos con los límites que permite la norma. Antes de esto se realizaron ensayos de laboratorio a los diferentes cementos para verificar sus propiedades físico-mecánicas con el fin de identificar si el cemento que se estaba manejando era óptimo para la realización de la mezcla.

Al agua se le hicieron estudios físico-químicos para determinar qué tipo de sustancias o agentes contaminantes se encontraban en ésta para tener una idea de los efectos que produciría en la resistencia de los cilindros, los agregados se caracterizaron y se determinaron sus propiedades físicas. Seguido a esto se hizo el ensayo de manejabilidad para medir la consistencia del concreto no endurecido, se fabricaron los cilindros de concreto variando la marca de cemento de acuerdo a unos diseños de mezcla para 3000 y 4000 psi y por último se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión para corroborar si los cilindros llegaban a las resistencias esperadas.

Por último el análisis de resultados que se realizó de la resistencia a la compresión, muestra que la resistencia que se alcanzó de los concretos realizados con el agua del Río



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



Magdalena y diferentes marcas de cemento, están en el rango de 84.01, 81.45 y 81,15% para concretos de 3000 psi y para los de 4000 psi están en el rango de 78.81, 76.33 y 75.58%, con lo anterior se concluye que definitivamente no es prudente el uso del agua del Río Magdalena para elaborar mezclas concreto, debido a que estos valores se encuentran muy por debajo de los límites que permite la norma y además permite comprender que los cementos utilizados en las mezclas de concreto muestran unas características físicas muy similares. (abad & tous, 2013)

CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO ELABORADO CON AGUA DEL RÍO MAGDALENA

Esta investigación se realizó con el fin de determinar la correlación existente entre algunos parámetros físico-químicos y la resistencia a compresión del concreto elaborado con agua del río Magdalena, a su vez establecer si dicha agua es apta para la elaboración de mezclas de concreto de 3000 y 4000 psi. Este aporte se realiza a través de la evaluación de los efectos causados sobre las propiedades de manejabilidad y resistencia mecánica de mezclas de concreto hidráulico. En primer lugar se le realizó un análisis químico al agua extraída del río Magdalena para determinar algunas sustancias o impurezas que se encuentran presentes en el agua.

Se realizó un análisis fisicoquímico a los agregados provenientes de canteras locales, luego se procedió a realizar los diseños de mezclas y la elaboración de cilindros de concreto a edades de 7 y 28 días; utilizando dos tipos de agua: agua potable y agua de río, realizando los diferentes ensayos establecidos para las propiedades descritas, y comparando los resultados por medio de la norma NSR 10. Los resultados mostraron que al momento de utilizar agua potable 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 se notó que las propiedades se encontraban en un rango entre el 66% al 80%, estos últimos son considerados intolerables según los límites establecidos en las normas, lo que permite concluir que no es conveniente la utilización de este tipo de agua proveniente del río en la fabricación de elementos estructurales. Luego del análisis físico-químico hecho por el laboratorio, donde se analizaron algunas



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



impurezas presentes dentro del agua de río Magdalena se concluyó que no existe correlación alguna entre los parámetros observados en este proyecto y la resistencia adquirida en concretos de 3000 y 4000 psi. (arraez, 2013)

EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA EN CONCRETOS PARA MEZCLAS DE 3000 Y 4000 PSI ELABORADAS CON AGUA DEL RÍO MAGDALENA Y DEL ACUEDUCTO MUNICIPAL DE ZAMBRANO.

Esta investigación consistió en realizar un estudio analítico sobre la resistencia del concreto como material para la construcción y a su vez determinar si al utilizar el agua del río Magdalena y del acueducto del municipio de Zambrano-Bolívar como agua de mezclado en la fabricación de concreto, se compromete su resistencia haciendo inaceptable e inútil su utilización en la construcción. Para verificar y fundamentar así esta labor, se efectuaron una serie de ensayos como: estudios físico-químicos del agua; entre ellos el PH, color, turbidez, conductividad, sustancias disueltas, sulfatos e hidratos de carbono. Además, se realizaron ensayos de caracterización de los agregados como: el de granulometría, peso específico, peso unitario, todo esto tanto para agregados grueso como finos. Los resultados obtenidos a través de los ensayos de resistencia a la compresión, se analizaron para establecer así la viabilidad de estos para cada una de las alternativas planteadas.

Así pues, este proyecto se desarrolló mediante un análisis descriptivo, que en un principio demuestra los niveles de resistencia, plasticidad y solidez del concreto. Se pretendió valorar y establecer una relación comparativa entre las mezclas constituidas por aguas del río y aguas de un acueducto por medio de ensayos mecánicos de compresión, para determinar sus diferencias, características, consistencia, durabilidad y aplicación. De igual forma se buscó precisar sus niveles de soporte y firmeza, ante las condiciones climáticas, el deterioro en el lapso de tiempo para el que ha sido proyectado su servicio.

Gracias a los ensayos y a la comparación de los datos que se obtuvieron se concluyó, que esta agua del río Magdalena no es apta para el uso de la fabricación de mezclas de concreto para elementos estructurales, debido a que se encuentran por debajo de los



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



límites permitidos por la norma, sin embargo se pueden establecer unas recomendaciones para adquirir más resistencia y así poder ayudar a que mejoren las especificaciones de los concretos para el municipio de Zambrano.

En consecuencia a lo expuesto y solo en el caso en que sea inevitable la utilización del agua del río Magdalena en la elaboración de mezclas de concreto, se aconseja tener en cuenta algunas recomendaciones, por ejemplo: si se utiliza china fracturada esta ofrecerá mejores resultados en la resistencia del concreto porque presenta mayor adherencia con la pasta de cemento que la adherencia que pueda ofrecer la china lisa. El uso de algún tipo de aditivo que aumente la resistencia del concreto brindará mayor confianza y arrojará resultados favorables al momento de evaluar la resistencia de este. También se recomienda disminuir la relación agua-cemento y las impurezas en el agua, estas son alternativas analizadas en anteriores trabajos de grado que mejoraron la firmeza de los concretos elaborados con agua del río y es aquí donde el factor económico entraría a jugar un papel importante ya que para obtener mayor resistencia se incrementa los costos de elaboración del hormigón.

Se esperaba que en los concretos elaborados con el agua del acueducto se obtuviera al 100% la resistencia deseada, pero esto no se dio y se piensa que la posible causa de este inesperado resultado puede radicar en la elaboración de las mezclas, puesto que por diversos factores se cometieron errores. El diseño de mezcla fue contemplado con un asentamiento de 7.5 cm, pero el asentamiento real fue mucho mayor lo cual indica que no se tuvo suficiente cuidado con las medidas del agua en la mezcla, ocasionando un aumento de la relación agua- cemento, relación que al incrementarse va en contra de la resistencia del concreto.

(duran & giraldo, 2012)

PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO DE CONCRETO PREPARADO CON AGUA CONTAMINADA CON CLORUROS.

En esta investigación se analizan las propiedades del concreto ordinario y de alto desempeño en estado endurecido contaminado con cloruros, evaluando la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad a los 28 días de edad.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



Con los resultados observados se concluye, que aunque la adición de cloruros en las mezclas de concreto estudiadas no afecta directamente su resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad, lo hace indirectamente al ocasionar pérdida de trabajabilidad, especialmente en el concreto de alto desempeño.

Lo anterior se puede presentar debido a una posible incompatibilidad de algunos componentes de la mezcla, por ejemplo: aditivo súper-plastificante y cloruros adicionados intencionalmente. Los resultados también indican que es más adecuado obtener el módulo de elasticidad del concreto de datos experimentales, ya que al utilizar expresiones teóricas se sobreestiman dichos parámetros. (García, 2007)

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA DISMINUCIÓN DE PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN DEL AGUA DEL RÍO MAGDALENA, SOBRE LA RESISTENCIA DE MEZCLAS DE CONCRETO DE 3000 Y 4000 PSI, EN EL MUNICIPIO DE MOMPOX.

En este trabajo de grado se estudió la influencia de los sólidos suspendidos presentes en el agua del río Magdalena utilizada como agua de mezclado en el municipio de Mompox, en la resistencia de concretos de 3000 y 4000 psi. Se realizaron ensayos de cilindros de concreto fabricados con agua del río, agua potable, cemento y agua del río adicionada con alumbre. Logrando con esto realizar una comparación económica del valor por metro cúbico de concreto fabricado con adiciones de alumbre y del mismo fabricado con adiciones de cemento.

Se concluye que tanto la primera alternativa de aumentar la cantidad de cemento a la mezcla preparada con agua del río y la segunda de adicionarle alumbre a la mezcla, son técnicamente viables, ya que se consiguió un aumento considerable en la resistencia del concreto. Aunque no se alcanzó que la resistencia estuviese por encima del 95%, se recomienda que el porcentaje de cemento sea incrementado en un 25% para la primera alternativa y para la segunda se recomienda que en el proceso de la preparación de agua a utilizar en la mezcla, se aumente el tiempo de la sedimentación de los sólidos con el fin de que se minimicen las impurezas presentes en el agua.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



Con la realización de esta investigación, se amplía el espectro que se tiene en cuanto a los estudios que se han adelantado en la Universidad de Cartagena en los municipios ribereños al río Magdalena, en este proyecto se realizó un análisis acerca de la influencia del agua en la resistencia del concreto donde una de las muestras, específicamente la del río Magdalena no cumple con los parámetros aceptables para la elaboración de mezclas de hormigón, además se analizaron los agregados de la zona de influencia, siendo este estudio la secuencia de una serie de investigaciones que se ha venido realizando a lo largo de la cuenca del río, la investigación sirve como complemento al compendio de estudios realizados y a los que se vienen desarrollando para la caracterización e influencia del agua del río Magdalena en la resistencia del concreto, siendo una investigación con un enfoque académico se realizó la comparación de la resistencias entre una mezcla preparada con agua del acueducto municipal y otra con agua del río Magdalena, para mostrar con ello qué tanto se podría ver afectada la resistencia del concreto si no se utiliza agua de calidad en las mezclas de hormigón. (Carlos Andres Carmona, 2011)

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL AGUA DEL RÍO MAGDALENA COMO AGUA DE MEZCLADO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE 3000 Y 4000 PSI.

En esta tesis se analiza la influencia que tiene el agua del río Magdalena y sus afluentes en los municipios de Mompo, Talagua Nuevo, Cicuco y Magangué, en las propiedades físico-mecánicas del concreto más exactamente la resistencia, manejabilidad, y tiempo de fraguado de concreto de 3000 y 4000 psi.

Como objeto de la investigación se concluye, que el agua del río Magdalena no sirve para la fabricación de elementos estructurales, ya que los resultados dieron por debajo de los límites permitidos y aceptados por la norma, se observó además una serie de recomendaciones que brindan un mejor uso del agua en el futuro para estos municipios como ejemplo; puede ser el aumento de la relación agua- cemento, la potabilización del agua de mezclado para poder retirar las diferentes impurezas que en ella se presenten y la utilización de aditivos para aumentar la resistencia del concreto.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



Al estar un proyecto realizado por estudiantes de la Universidad de Cartagena, el desplazamiento a la zona de estudio y el transporte de los materiales se ha convertido en los problemas más frecuentes para esta investigación, debido a que el lugar de estudio se encuentra retirado de la ciudad. (Jose Felix Caballero, 2010)

REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE MUESTRAS DE AGUAS.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE CARDIQUE LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL INFORME DE RESULTADOS F-GES-75									
Nombre de la Empresa		CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CANAL DEL DIQUE-CARDIQUE							
Lugar de Muestreo		SUBDIRECCION DE GESTION AMBIENTAL REDCAM / Bahía de Cartagena							
Código de entrada al Laboratorio		LA15: 1773-1774-1775-1776-1777							
Reporte de Análisis		No. 0329-15							
Naturaleza de la Muestra		Agua							
# de Muestras		5							
# de Análisis		107							
Fecha de Toma de Muestras		Septiembre 30 de 2015							
Hora de Toma de Muestras		9:05 a.m. - 2:05 p.m.							
Fecha de Recibo		Septiembre 30 de 2015							
Fecha de Emisión de Informe		Octubre 20 de 2015							
Recolector		Ildefonso Castro - Funcionario de Cardique							
Tipo de Caracterización		Convenio							
Plan de Muestreo		F-GES-34; Programación Semanal de muestreo del 28 de septiembre al 2 de octubre de 2015							
Procedimiento de Muestreo		Manual de Procedimientos; P-FIS-03							
Punto de Muestreo		Abajo descritos							
Páginas		2 de 4							
Parámetros	Unidades	Métodos	Punto No 1	Punto No 2	Punto No 3	Punto No 4	Punto No 5	Límite de Detección	Fecha de Realización de Análisis
Amonio	mg/L	S.M 4500-NH ₄ -B,C	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,576	Oct 9 y 14/15
Cadmio	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,010	0,006	0,008	0,008	0,008	0,005	Oct 19/15
Clorofilas	mg/m ³	Fluorescencia	*	1,360	*	*	*	0,25	Oct 1/15
Cobre	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,020	Oct 19/15
Conductividad	mS/cm	S.M 2520-A	32,00	43,10	0,14	0,58	42,90	NA	Sept 30/15
Cromo Total	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,025	Oct 19/15
DBO ₅	mg O ₂ /L	S.M.5210-B,4500-O-G	*	0,76	*	*	*	0,46	Sept 30/15
Fosfatos	mg/L	S.M 4500-P E	0,070	0,070	<LD	<LD	0,070	0,026	Oct 2/15
Niquel	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,025	Oct 19/15
Nitratos	mg/L	S.M. 4500-NO ₃ -E	0,0344	0,0194	0,2967	0,2183	0,0539	0,0104	Oct 5/15
Nitritos	mg/L	S.M. 4500-NO ₂ -B	0,0040	0,0099	0,0409	0,0256	0,0022	0,0022	Oct 5/15
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	S.M 4500- O -G	9,01	8,32	7,40	7,28	8,26	NA	Oct 1/15
% de Saturación O ₂	%	S.M 4500-O-G	101,00	98,00	90,50	89,00	99,00	NA	Sept 30/15
pH	Unidades	S.M. 4500 - H - B	8,32	8,14	7,77	8,01	8,31	NA	Sept 30/15
Plomo	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	0,0820	0,0580	0,1150	0,1150	0,1070	0,0023	Oct 19/15
Salinidad	o/oo	S.M. 2520 - B	20,20	28,40	0,00	0,20	27,80	NA	Sept 30/15
S.S.T	mg/L	S.M. 2540 - D	16,40	17,60	193,00	153,00	9,60	4,21	Oct 15/15
Temperatura	°C	S.M. 2550 - B	33,00	38,50	32,20	32,20	31,40	NA	Sept 30/15
Turbiedad	NTU	S.M 2130-B	12,80	9,12	178,00	157,00	2,24	0,07	Oct 2/15
Zinc	mg/L	S.M 3030-E;3111-B	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,010	Oct 19/15
C. Totales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	70	<1,8	70 X 10	79 X 10 ²	<1,8	<1,8	Sept 30/15
C. Fecales	NMP/100mL	Tubos Múltiples	12	<1,8	78	93 X 10	<1,8	<1,8	Sept 30/15
Enterococos	NMP/100mL	Sustrato Definido	87 X 10	31	33 X 10	61 X 10	30,00	<1	Sept 30/15
PUNTOS DE MUESTREO									
Punto 1:	Boya Roja Colecmar		North	10° 18' 40,7		West	75°30' 57		
Punto 2:	Alcalis		North	10° 20' 55,3		West	75°30' 38,1		
Punto 3:	Canal del Dique 1 Km		North	10° 17' 22,6		West	75°31' 35,8		
Punto 4:	Desembocadura del Canal del Dique		North	10° 18' 22,1		West	75°31' 53,7		
Punto 5:	Boya Verde 41		North	10° 23' 52,6		West	75°32' 57		
Resultado válido únicamente para la muestra Analizada.									
Este documento no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización escrita del Laboratorio de Calidad Ambiental de Cardique									
El Laboratorio de Calidad Ambiental de CARDIQUE asegura la CONFIDENCIALIDAD de los resultados presentados en este Informe									

(CARDIQUE, 2015)



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



2.2.2. Estudios internacionales

CALIDAD DEL AGUA DE LA NIEBLA CAPTADA ARTIFICIALMENTE EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, VERACRUZ, MÉXICO

Con el fin de determinar si el agua recolectada artificialmente de la niebla en la zona central montañosa del estado de Veracruz es apta para el consumo humano, se realizó un muestreo preliminar de enero a marzo del año 2010, período de mayor frecuencia de nieblas, para analizar sus aspectos físicos, químicos y biológicos y evaluar su calidad.

Se encontró que el agua contiene metales pesados como el mercurio, organismos coliformes y cantidades altas de nitrógeno amoniacal, pero esto se puede solucionar aplicando un tratamiento de saneamiento para uso humano con un costo de 0.00341 USD L⁻¹ que no incluye mano de obra ni infraestructura. Se discuten las causas que pueden originar su contaminación y se concluye que el agua recolectada de la niebla no es adecuada para el consumo humano, pero sí para la agricultura. (Rodolfo Jofre Melendez, 2015)

LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN, CONDICIÓN NECESARIA PERO NO SUFICIENTE PARA EL LOGRO DE LA DURABILIDAD DE LAS OBRAS, SANTO DOMINGO, REPUBLICA DOMINICANA.

El cumplimiento de la resistencia a compresión como propiedad fundamental del hormigón endurecido durante el proceso de ejecución de una obra, constituye una gran satisfacción para todos los actores del proceso constructivo (proyectistas, suplidores de hormigón, constructores, inversionistas, supervisores, etc.); mas, sin embargo, esto no garantiza su durabilidad en el tiempo.

En realidad, la durabilidad tiene un carácter relativo, por lo que no constituye una propiedad del hormigón: cualquier hormigón, puede resultar perfectamente duradero en determinado ambiente de trabajo, pero el mismo hormigón, puede no ser apto para otros, y cuando esto ocurre, trae consigo estructuras con daños severos en plazos de



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



explotación relativamente pequeños. Esta situación, está afectando de manera considerable a muchos países que tienen que destinar cuantiosos recursos a las reparaciones de las estructuras para así prolongar su vida útil.

Este trabajo centra su atención en el establecimiento de los requisitos de durabilidad de las obras de concreto ante los distintos ambientes. Como consecuencia, se proponen requerimientos a considerar que se deben reflejar en la etapa de proyecto relativas al diseño de las mezclas de hormigón, tales como: la relación agua/cemento máxima, el contenido de cemento mínimo, la trabajabilidad de la mezcla fresca y la resistencia media mínima entre otras. (Corral, 2009)

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ESPUMADO QUE CONTIENE REPELENTES DE AGUA, SHANGHAI, CHINA.

En general se sabe que las propiedades físicas y mecánicas se degradan en gran medida después de la transferencia de agua o humedad en el hormigón espumado. En este estudio, un hormigón celular con una baja densidad de aproximadamente 550 kg/m³ se prepara utilizando cemento Portland ordinario y tres tipos de repelentes de agua, incluyendo trimetilsilanolato de potasio (PT), estearato de calcio (CS) y basado en siloxano polímero (SP) se emplean para disminuir la absorción de agua del hormigón espumado.

Se estudiarán los efectos de los repelentes al agua sobre las propiedades mecánicas y físicas del concreto de espuma, tales como la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días, conductividad térmica, capacidad de absorción y la higroscopicidad.

Los resultados de laboratorio indican que los repelentes de agua mejoran la resistencia a la compresión en cierta medida sin sacrificar la propiedad de aislamiento térmico del hormigón espumado.

La capacidad de absorción evaluada por 48-h de absorción de agua y el coeficiente de retención de la resistencia se mejora significativamente a medida que el contenido de repelente al agua aumenta. Cuando se utiliza 1,0% SP, el valor de absorción de agua y



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



RS del hormigón espumado con resistencia a los 28 días de 1,77 MPa y una conductividad térmica de 0,150 W/m K son 2,5% (en volumen) y 0.989, respectivamente.

Además, el contenido de humedad higroscópica [$W(\phi)$] también disminuye con el aumento del contenido de repelente al agua. Las curvas ajustadas higroscópicas con altos coeficientes de determinación obtenidos de los modelos KUM y CUB han demostrado ser aplicables en la exploración de la relación de la $W(\phi)$ para la humedad relativa. (Cong Ma, 2016)

LIMITACIONES:

Para los estudios realizados en el ámbito nacional referentes a las propiedades del agua de río Magdalena y la influencia de esta en la mezcla de concreto, las limitaciones que tuvieron los investigadores de estos proyectos fue principalmente la caracterización del agua, ya que no tuvieron en cuenta algunos componentes que son muy influyentes para la resistencia de un concreto, como lo son los sólidos suspendidos totales (SST), los coliformes fecales y la DQO.

Las caracterizaciones del agua de río en los estudios anteriores han demostrado que elementos como los sulfatos, el hierro, el aluminio, entre otros se encuentran en valores despreciables por lo que serán descartados de las caracterizaciones que se le harán a las diferentes combinaciones de agua de río y agua potable, ya que no son una posible causa por la cual la resistencia del concreto vaya a ser afectada.

Otra limitación que se encontró fue que ellos solo usaron agua de río para preparar las mezclas de concreto y no a distintas proporciones como se hizo en esta investigación, esto podría contribuir a encontrar de una manera más exacta la proporción óptima de agua de río sin tratar y agua potable para utilizarla en las mezclas de concreto y que esta no afecte la resistencia a la compresión del mismo.



2.3. MARCO TEÓRICO

El marco teórico que fundamenta esta investigación proporcionará al lector una idea más clara acerca de este tema y cada uno de los conceptos que respaldan al mismo. Se encontrarán los conceptos muy básicos, los complementarios y específicos.

La ingeniería hoy en día busca mejorar muchos aspectos, dentro de los que se destacan los aspectos económicos y tecnológicos, para conseguir este objetivo es necesario tener en cuenta cada uno de los conceptos que se utilizan en la vida ingenieril, para mejorar lo que se ha hecho hasta ahora.

2.3.1. Concreto.

El concreto es una mezcla de: cemento, agua y áridos como componentes principales. Además pueden añadirse adiciones (hasta un 35% del peso de cemento, dependiendo del tipo de adición) y aditivos (<5% del peso de cemento). El objetivo de las adiciones y de los aditivos es mejorar alguna de las propiedades del hormigón aunque en la práctica las adiciones se emplean sobre todo para abaratar el precio final del hormigón. Las adiciones son: puzolanas naturales, cenizas volantes, escoria de alto horno y polvo de sílice.

Los aditivos, como los súper plastificantes, se utilizan fundamentalmente para mejorar la trabajabilidad temporal del hormigón y permitir relaciones bajas de agua/cemento. En peso, las proporciones aproximadas de cada uno de los componentes de un hormigón típico vienen reflejadas en la Figura 1:

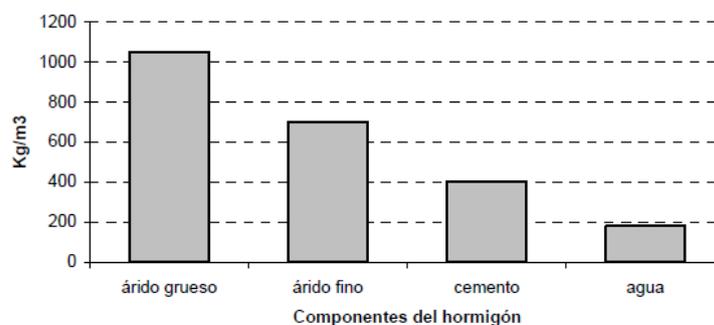


Figura 1. Componentes del hormigón en peso.

Fuente: Libro concreto reforzado y preesforzado.



En el instante en que el agua entra en contacto con el cemento se produce una reacción química exotérmica de hidratación y en poco tiempo (unos días) el hormigón se endurece tomando el aspecto de una piedra, ver Figura 2. Cuando se agrega agua al cemento y a los áridos se forma una pasta gelatinosa que puede tomar cualquier forma.

El agua es necesaria para que el hormigón fresco sea manejable y moldeable y por este motivo la cantidad de agua añadida será superior a la estrictamente necesaria para el proceso de hidratación y endurecimiento del hormigón. El agua en exceso no llega a formar parte de la estructura química del hormigón endurecido sino que se evapora con el tiempo y hace que el hormigón adquiera una naturaleza porosa.

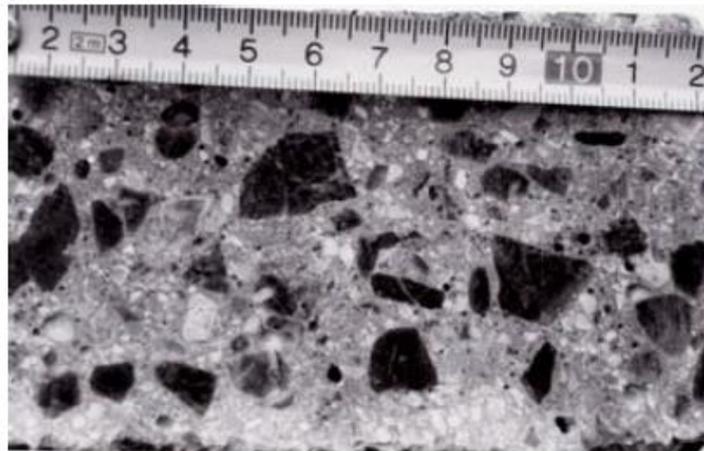


Figura 2. Aspecto del hormigón endurecido.

Fuente: Libro concreto reforzado y preesforzado.

La propiedad más importante del hormigón es su resistencia a compresión. La relación agua/cemento de la mezcla es la variable que más afecta a la resistencia a compresión del hormigón. Un hormigón con gran cantidad de agua será muy poroso, retraerá en exceso y tendrá una resistencia baja. (GIL MARTIN & HERNANDEZ MONTES , 2007)



2.3.2. Cemento portland.

2.3.2.1. Definición.

El cemento es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí, formando un todo compacto. En la construcción, se ha generalizado la utilización de la palabra cemento para designar un tipo de aglutinante específico que se denomina Cemento Portland, debido a que es el más común.

El cemento portland es la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina u óxidos de hierro, procesados a altas temperaturas y mezclados con yeso. El nombre obedece a la similitud en el aspecto del cemento endurecido con una piedra que abunda en Portland, Inglaterra. Fue patentado en 1824 por Joseph Aspdin con un proceso que fue perfeccionado algunos años más tarde por Isaac Johnson.

Este material tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua presentándose un proceso de reacción química que se conoce como hidratación.

2.3.2.2. Proceso de fabricación

En general el cemento Portland se fabrica a partir de materiales minerales calcáreos tales como la caliza y materiales arcillosos con alto contenido de alúmina y sílice. Frecuentemente es necesario adicionar otros productos, como óxido de hierro, para mejorar la composición química de las materias primas Principales.

La proporción en que debe mezclarse la caliza con la arcilla depende de la composición de los materiales. Debido a que la cantidad de caliza es generalmente 4 veces mayor a la de arcilla, el primer paso a seguir, para seleccionar la localización de una fábrica de cemento, es estudiar los depósitos de caliza y luego proceder a encontrar las fuentes de arcilla cercanas. Existen diferentes tipos de caliza que varían en apariencia y dureza, pero prácticamente todas pueden utilizarse en la manufactura de cemento. El único caso en que no pueden ser empleadas, es cuando tienen cantidades grandes de magnesio, pues si el cemento contiene más del límite permitido, se presentarán cambios volumétricos en la pasta de cemento endurecida, que ocasionarán fisuramiento y



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



desmejoramiento de las propiedades mecánicas. Las materias primas se deben moler finamente, mezclar minuciosamente en una cierta proporción y calcinar en un horno rotatorio a una temperatura de aproximadamente 1400°C.

Allí el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando el Clinker. Este se enfría y se tritura hasta obtener un polvo fino el cual es mezclado con yeso para obtener como producto final el cemento Portland.

En algunos casos además de yeso, se suman otros materiales con características especiales, formando así los cementos adicionados, de uso muy común en la construcción.

El proceso de fabricación empleado en determinada planta productora de cemento varía de acuerdo con sus circunstancias particulares, pero en general todas realizan las siguientes etapas:

- Explotación de materias primas
- Dosificación, molienda y homogeneización de materias primas
- Clinkerización
- Enfriamiento
- Molienda de Clinker; adiciones y yeso
- Empaque y distribución

Los detalles del proceso de fabricación del cemento, se explican a continuación en la figura 3.

2.3.2.3. Explotación de materias primas

El procedimiento de explotación se hace de acuerdo a las normas y parámetros convencionales. Dependiendo de la dureza de los materiales se usan explosivos y trituración posterior, en otros casos el simple arrastre es suficiente.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



Una vez extraídos los materiales de las respectivas canteras, se lleva a un proceso de trituración primaria para obtener tamaños máximos de 25 mm (1"). Los materiales que no requieren de esta trituración se llevan a un lugar de almacenamiento.

2.3.2.4. Dosificación, molienda y homogeneización

Este paso se puede efectuar con materiales suspendidos en agua, con los materiales secos o con distintos grados de humedad.

- Proceso húmedo: Las materias primas se llevan a los molinos (denominados molinos de crudo), donde son mojados y se obtiene una lechada, la cual se lleva a los silos de almacenamiento (llamados silos de crudo), donde una vez conocidas sus características químicas se dosifican en proporciones definidas y se envían a un silo de normalización. En este lugar se hacen las correcciones necesarias para obtener la pasta de la calidad deseada. Una vez normalizada se transporta a un tanque circular denominado < balsa > donde se almacena y se mantiene la homogeneidad.
- Proceso seco; Las materias primas se trituran, se dosifican en proporciones definidas y son llevadas al molino de crudo donde se secan y reducen su tamaño a pequeñas partículas, obteniéndose un material denominado harina, el cual se lleva a los silos de homogeneización, y allí por medio de aire a presión se obtiene la mezcla de los materiales. (ASOCRETO, 2010)

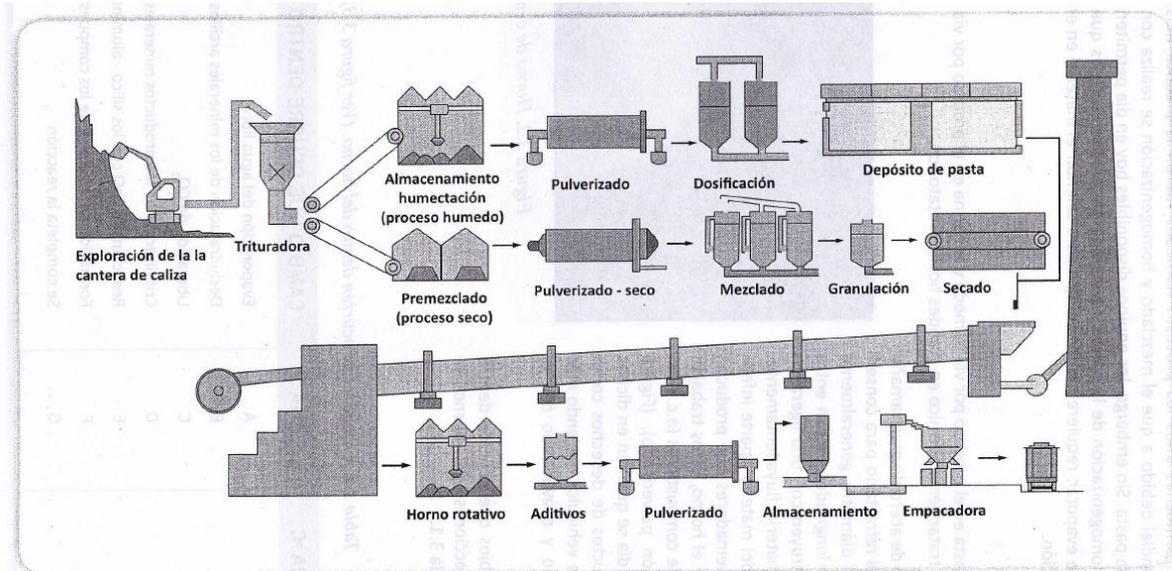


Figura 3. Etapas en la Fabricación del Cemento Portland.

Fuente: Libro tecnología del concreto.

2.3.2.5. Reacciones químicas del cemento.

El cemento portland contiene silicatos y aluminatos de calcio formados mediante una secuencia de procesos térmicos y químicos, incluyendo la descomposición de la caliza, la reacción con otros materiales de cantera tales como la arcilla, el mineral de hierro, y la arena; la fusión parcial de estos componentes, y da origen a la formación de nódulos duros, redondeados denominados Clinker. Todo esto ocurre a la temperatura de 1450 °C en un horno rotatorio de una planta de cemento. Después del enfriamiento, el Clinker se muele junto con aproximadamente 5 % de yeso (sulfato de calcio dihidratado) hasta una finura tipo harina, produciendo el producto final, cemento portland (Panarese, 1994).

El conocimiento presente de la composición química del cemento portland y lo que le sucede con él cuando se lo mezcla con agua fue primero revelado en 1887 por el químico francés Henry Le Chatelier (1905). En su tesis doctoral, identificó correctamente los minerales importantes del cemento como silicato tricálcico, silicato di cálcico, y aluminato tricálcico. En 1915, los científicos en el Laboratorio Geofísico en Washington DC, estuvieron estudiando las relaciones de fase en altas temperaturas del sistema ternario CaO- SiO₂ – Al₂O₃. Entre las fases minerales investigadas estaban, por supuesto, el silicato tricálcico, el silicato di cálcico, y el aluminato tricálcico.



En el proceso de publicación del diagrama de fases en forma de triángulo, se inventaron ciertas abreviaturas simplificadas para las composiciones químicas de cada fase mineral. Por ejemplo, el silicato tricálcico, Ca_3SiO_2 , se podría escribir también como la secuencia combinada de los dos óxidos, tales como $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Los investigadores, Rankin y Wright, usaron entonces la notación abreviada de $\text{CaO} = \text{C}$, $\text{SiO}_2 = \text{S}$, y $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{A}$. De acuerdo con ello, $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ podía escribirse como C_3S . En forma similar, el silicato di cálcico, $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, se transformó en C_2S , y el aluminato tricálcico, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ se transformó en C_3A .

Esta notación fue tan conveniente y útil que, en las futuras publicaciones durante los años siguientes, se introdujo una notación similar para los otros óxidos. Entonces, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{F}$, $\text{MgO} = \text{M}$; $\text{H}_2\text{O} = \text{H}$; $\text{Na}_2\text{O} = \text{N}$ y $\text{K}_2\text{O} = \text{K}$. El problema adicional de la S del trióxido de azufre SO_3 se resolvió simplemente indicándolo con S barra. Otros nombres para los minerales del cemento o sus hidratos entraron concurrentemente en el lenguaje y se usan comúnmente hoy en día. Durante aproximadamente 100 años, los minerales silicato tricálcico y di cálcico, en su composición impura como cristalizan en el Clinker han sido denominados alita y belita, respectivamente. Otros se denominan por su nombre mineralógico equivalente, tales como periclase para los cristales de MgO en el cemento, portlandita para el hidróxido de calcio (CH en la notación abreviada) y etringita para el silicoaluminato de calcio hidratado ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). La fórmula para la etringita en la notación de la química del cemento parece ser complicada, pero es simplificada comparada a una fórmula química convencional ($\text{Ca}_5 [\text{Al}(\text{OH})_3]_{24} \text{H}_2\text{O} \cdot (3\text{SO}_2) \cdot (2 \text{H}_2\text{O})$).

2.3.2.6. Reacciones de hidratación normal.

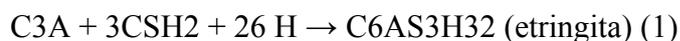
La reacción más rápida que ocurre cuando se mezclan cemento y agua es la hidratación del aluminato tricálcico (C_3A). Solo él mismo, el C_3A y el agua formarán rápidamente hidratos de aluminato tricálcico tales como C_4AH_{13} y C_2AH_8 .

Esto puede ocurrir tan rápidamente que el hormigón se puede volver espeso al cabo de unos minutos y volverse completamente intrabajable debido al calor emitido. Esta condición se denomina de falso fraguado. En el siglo diecinueve, cuando el cemento desarrolló la resistencia lentamente debido a que era molido en partículas grandes y

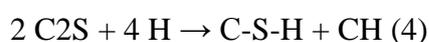
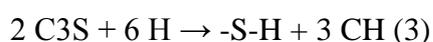


reaccionaba imperfectamente, el falso fraguado no era un problema. Eventualmente, con la introducción de hornos rotatorios, una proporción más científica de los componentes de las materias primas y una molienda mucho más fina del Clinker, el agregado de yeso (CSH₂) al cemento eliminaron los problemas del falso fraguado.

Químicamente el C₃A, el yeso y el agua formarían un recubrimiento protector de sulfoaluminato de calcio hidratado (etringita) sobre las superficies expuestas de aluminato tricálcico que permanecería durante varias horas. La hidratación del C₃A se reactiva a medida que comienza el principio de fraguado, consumiendo el sulfato y formando más etringita. Si el cemento Portland es del tipo ASTM Tipo I, sin embargo, probablemente contiene más de 8% de C₃A, que es un porcentaje mucho más alto que el sulfato presente. Cuando todo el sulfato ha sido combinado como etringita, el exceso de C₃A continúa hidratándose, y luego comienza a eliminar sulfato de algo de la etringita (trisulfato) para formar otro compuesto estable sulfoaluminato de calcio denominado monosulfato, C₃ACSH₁₂(ec. 1 y 2). Un cuarto mineral importante en el cemento, la fase ferrita que contiene hierro, o el aluminoferrito tetracálcico (C₄AF) también se hidrata, aunque mucho más lentamente, para formar compuestos químicamente similares trisulfato y monosulfato, en los que el hierro (Fe₂O₃) reemplaza una porción del aluminio (Al₂O₃) (Steniour, 1958). Los químicos del cemento genéricamente denominan a éstos las fases Aft (aluminato- ferrito – trisustituidos) y AFm (aluminato – ferrito – monosulfato), respectivamente.



El desarrollo de la resistencia principal del hormigón, sin embargo, resulta de la hidratación de las fases silicato de calcio (C₃S y C₂S). Ambos silicatos de calcio se combinan con agua para formar el silicato de calcio tipo gel hidratado, o C-S-H (ec. 3 y 4)



(Vagn C. Johansen, 2002)



2.3.3. Agua.

2.3.3.1. Generalidades.

El agua de mezcla cumple dos funciones muy importantes, permitir la hidratación del cemento y hacer la mezcla manejable. De toda el agua que se emplea en la preparación de un mortero o un concreto, parte hidrata el cemento, el resto no presenta ninguna alteración y con el tiempo se evapora; como ocupaba un espacio dentro de la mezcla, al evaporarse deja vacíos los cuales disminuyen la resistencia y la durabilidad del mortero o del hormigón.

La cantidad de agua que requiere el cemento para su hidratación se encuentra alrededor del 25% al 30% de la masa del cemento, pero con esta cantidad la mezcla no es manejable, para que la mezcla empiece a dejarse trabajar, se requiere como mínimo una cantidad de agua del orden del 40% de la masa del cemento, por lo tanto, de acuerdo con lo anterior como una regla práctica, se debe colocar la menor cantidad de agua en la mezcla, pero teniendo en cuenta que el mortero o el hormigón queden trabajables.

Como norma general se considera que el agua es adecuada para producir mortero u hormigón si su composición química indica que es apta para el consumo humano, sin importar si ha tenido un tratamiento preliminar o no; es decir, casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable sirve para mezclar el mortero o el concreto. Sin embargo, el agua que sirve para preparar estas mezclas, puede no servir para beberla.

El agua puede extraerse de fuentes naturales cuando no se tienen redes de acueducto y puede contener elementos orgánicos indeseables o un alto contenido inaceptable de sales inorgánicas. Las aguas superficiales en particular, a menudo contienen materia en suspensión tales como: aceite, arcilla, sedimentos, hojas y otros desechos vegetales; lo cual puede hacerla inadecuada para emplearla sin tratamiento físico preliminar, como filtración o sedimentación para permitir que dicha materia en suspensión se elimine.



2.3.3.2. Impurezas orgánicas.

Las sustancias orgánicas contenidas en aguas naturales, afectan considerablemente el tiempo de fraguado inicial del cemento y la resistencia última del hormigón.

Las aguas que tengan un color oscuro, un olor pronunciado, o aquellas en las cuales sean visibles lamas de algas en formación de color verde o café, deben ensayarse. Se debe tener especial cuidado con los altos contenidos de azúcar en el agua porque pueden ocasionar retardo en el fraguado.

2.3.3.3. Impurezas inorgánicas.

Los límites permisibles para contenidos inorgánicos son algo amplios, pero en algunas partes, éstos pueden presentarse en cantidades suficientes para causar un deterioro gradual del hormigón. La información disponible respecto al efecto de los sólidos disueltos en la resistencia y durabilidad del hormigón es insuficiente para poder establecer unos límites numéricos con base en un sistema comprensible, pero se puede proporcionar una guía sobre niveles permisibles de ciertas impurezas.

Los mayores iones que se presentan usualmente en aguas naturales son calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato, cloruro, nitrato, y menos frecuente carbonato. Las aguas que contengan un total combinado de estos iones comunes que no sea mayor de 2 g/l (2000ppm), son generalmente adecuadas como agua de mezcla.

La presencia de cloruros en el hormigón, ya sea que provengan del agua de mezcla, o de otras fuentes, puede presentar problemas potenciales con algunos cementos (generalmente con cantidades apreciables de aluminato tricálcico - C3A) o cuando se tienen metales embebidos en el hormigón. La cantidad de cloruros que pueden permitirse en el agua de mezcla, depende de la cantidad total de cloruros en el hormigón considerando las demás fuentes. Como una guía, el contenido total de cloruros del agua no debe exceder generalmente de 0,5 g/l. Algunas veces es necesario aceptar concentraciones más altas, como en ciertas regiones áridas donde las aguas naturales son bastantes salinas.



El agua de mar se ha empleado para producir hormigón de cemento Portland, pero existe una tendencia para que esta cause humedad superficial y eflorescencia (formación de depósitos salinos en la superficie del mortero o del concreto). Su uso puede causar también una moderada reducción de la resistencia. El agua de mar no debe emplearse en hormigón reforzado o preesforzado.

Una guía general a la aceptabilidad de los sulfatos en el agua de mezcla, es que el contenido de sulfatos no exceda 1 g de SO_3 /l. Sin embargo se ha empleado satisfactoriamente agua con un contenido de sulfatos más alto. La cantidad de sulfatos, permitida en agua de mezcla, depende del contenido de sulfatos de los agregados y el cemento, ya que el factor crítico es la cantidad total de sulfatos en el hormigón.

El agua que contiene carbonatos y bicarbonatos de álcalis puede afectar el tiempo de fraguado del cemento y la resistencia del hormigón. Su presencia puede ser perjudicial si existe un riesgo de reacción álcalis-agregado. En general, su total combinado no debe exceder 1 g/l de agua.

2.3.3.4. Contaminación por desechos industriales.

Se debe tener cuidado cuando se empleen aguas que pueden estar contaminadas por afluentes industriales o por drenaje de minas y depósitos de minerales entre otros; estas aguas deben ensayarse tal como se indica más adelante.

2.3.3.5. Requisitos.

Como una guía, de ser posible realizar un análisis químico, se recomienda que el agua utilizada en la preparación de mezclas de mortero o concreto, cumpla los requisitos de la tabla No. 3.1. Sin embargo, es preferible ensayar el agua que se va a emplear en la preparación de la mezcla y comparar los resultados con los de un agua testigo (de comportamiento conocido como por ejemplo agua destilada).



Tipo de impurezas	Valor máximo recomendado (ppm)
Ácidos orgánicos (ácido sulfúrico)	10.000
Aceite mineral (por masa de cemento)	2%
Agua con algas	No recomendable
Agua de mar:	
Para concreto no reforzado	35.000
Para concreto reforzado	No recomendable
Aguas sanitarias	20
Azúcar	500
Carbonato de calcio y magnesio	400
Carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio	1000
Cloruro de calcio	30.000
Cloruro de magnesio	40.000
Cloruros:	
Estructuras con bajo potencial de corrosión	20.000
Concreto pretensado	500
Estructuras con elementos galvanizados y de aluminio	1000
Hidróxido de potasio (por masa de cemento)	1.2%
Hidróxido de sodio (por masa de cemento)	0.5%
Partículas en suspensión	2000
PH	6-8
Sales de hierro	40.000
Sales de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo	500
Sulfato de magnesio	25.000
Sulfato de sodio	1000
Sulfito de sodio	100
El contenido máximo de iones combinados de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato, cloruro, nitrato y carbonato es 20.000ppm	

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

Fuente: Libro concreto simple.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



Se considera que el agua no tendrá efecto significativo en las características de fraguado y de resistencia del mortero u hormigón, si cuando se ensaya como se especifica en las normas NTC 118 y 220 respectivamente, presenta lo siguiente:

Tiempo de fraguado: Los tiempos de fraguado inicial del cemento, determinados a partir del agua de ensayo y del agua testigo, no deben diferir en más de 30 min.

Resistencia a la compresión: El promedio de la resistencia a la compresión de los cubos de mortero hechos con agua de ensayo, evaluada a 7 días y 28 días, deberá ser mayor o igual al 90% de la resistencia promedio de los cubos de mortero hechos con el agua testigo. (RIVERA, 2006)

2.3.4. Agregados

Los agregados se definen como materiales granulares que constituyen entre el 60 y el 80 % del volumen total del concreto. Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta del cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

Debido a lo anterior, influyen mucho en el costo económico y en las propiedades del concreto fresco, como en el endurecido. Las propiedades físicas que podrían ser afectadas incluyen: el peso unitario, la manejabilidad, el módulo de elasticidad, resistencia, contracción, flujo plástico, comportamiento térmico y durabilidad.

Dentro de los agregados encontramos dos clasificaciones, los agregados gruesos o gravas y los agregados finos o arenas.

2.3.4.1. Clasificación de los Agregados

Los agregados se clasifican según su tamaño, modo de fragmentación, peso específico y clasificación por tamaño de partícula. Es necesario realizar esta división de los



materiales debido a la condición mínima del concreto normal de dividir a los agregados en dos grupos, cuya frontera nominal es 4.75 mm (malla No. 4 ASTM). Agregados finos son aquellos cuya partícula tiene un diámetro inferior a 4.76 mm y no menor de 0.074 mm y se conoce como arena. Aquellas partículas con diámetro superior a 4.76 mm es la que normalmente se denomina agregado grueso.

En la siguiente tabla se muestra una clasificación donde se indican los nombres más usuales de las fracciones y su aptitud como agregado para concreto según su tamaño.

Tamaño de las partículas en mm (pulg)	Denominación más corriente	Clasificación	Clasificación como agregado para concreto
Inferior a 0.002 Entre 0.002 - 0.074 (No.200)	Arcilla Limo	Fracción muy fina	No recomendable
Entre 0.074 - 4.76 (No.200)-(No.4)	Arena	Agregado fino	Material apto para producir concreto
Entre 4.76 - 19.1 (No.4)-(3/4") Entre 19.1- 50.8 (3/4")-(2") Entre 50.8 - 152.4 (2")-(6") Superior a 152.4 (6")	Gravilla Grava Piedra Rajón, piedra bola	Agregado grueso	Material apto para producir concreto

Tabla 2. Clasificación de los agregados según su tamaño.

Fuente: Libro Tecnología del Motero y del Concreto.

- **Clasificación por Modo de Fragmentación**

Por la forma en que ocurre el proceso de fragmentación de la grava y la arena, ya sea a base de trituración, por la explotación de una mina, o bien por el dragado y cribado del lecho de un río, los materiales se clasifican en:



- Natural: el proceso de fragmentación ocurre en procesos naturales como la erosión.
- Manufacturado: es cuando en la fragmentación del material intervienen procesos artificiales como la trituración o por medio de quebradoras.
- Mixto: Cuando intervienen ambos procesos, el natural y el manufactura.

• **Clasificación por Peso Específico**

El peso específico de un agregado, es la relación de su peso al peso de un volumen igual de agua. Esto sirve porque se usa en algunos cálculos para el control de la mezcla, sin ser una medida de la calidad del agregado. La clasificación que resulta de esto la mostramos a continuación:

Tipo de concreto	Peso unitario aprox. Del concreto Kg/m ³	Peso unitario del agregado kg/m ³	Ejemplo de utilización	Ejemplo de agregado
Ligero	400-800	60-480	Concreto para aislamiento	Piedra pómez perlita
	950-1350	480-1040	Concreto para relleno y mampostería no estructural	
	1450-2000		Concreto estructural	
Normal	2000-2500	1300-1600	Concreto estructural y no estructural	Canto rodado agregado de río
Pesado	2500-5600	3400-7500	Concreto para protección contra radiación gamma o x, y contrapesas	Piedra barita y magnetita

Tabla 3. Clasificación de los agregados según su densidad.

Fuente: Libro Tecnología del Motero y del Concreto



2.3.4.2. Propiedades Químicas

Las exigencias químicas que se deben hacer a los agregados para evitar su reacción en la masa del concreto, son las de evitar sustancias presentes agresivas y componentes geológicos o mineralógicas agresivos, entre los cuales el más frecuente parece ser la sílice activa.

- **La Epitaxia**

La única reacción química favorable de los agregados, conocida hasta el momento da mejor adherencia entre ciertos agregados calizos y la pasta de cemento, a medida que transcurre el tiempo.

- **Reacción Álcali- Agregado**

La sílice activa, presente en algunos agregados, reacciona con los álcalis del cemento produciendo expansiones, destrucción de la masa y pérdida de características resistentes, las rocas que por lo general la contienen son las silíceas.

2.3.4.3. Propiedades Físicas

Las propiedades físicas que tienen mayor importancia en el comportamiento mecánico de las mezclas de concreto son:

- **Granulometría**

Es la composición en porcentaje de los diversos tamaños de agregado en una muestra, esta proporción se suele indicar, de mayor a menor tamaño, por una cifra que representa, en peso el porcentaje parcial de cada tamaño que pasó o quedó retenido en los diferentes tamices que se usan obligatoriamente para tal medición.

Para obtener un buen concreto, es necesario que la mezcla de la arena y de la piedra logre una granulometría que proporcione masa unitaria máxima, puesto que con esta condición el volumen de los espacios entre partículas es mínimo, lo cual dará lugar a una mezcla de mejores condiciones técnicas y además económicas.

Para el agregado grueso el tamaño máximo, se define como la abertura del menor tamiz de la serie que permite el paso del 100% de la muestra ensayada. Este valor indica el



tamaño de la partícula más grande que hay dentro de la masa de agregado y es de interés conocerla, ya que el tamaño del agregado debe ser compatible con las divisiones de la estructura y el tamaño máximo nominal, definido como la abertura del matiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado sea mayor o igual al 15%. El tamaño máximo nominal muestra con mayor claridad el tamaño de las partículas más grandes de la masa de agregados en su fracción gruesa.

Para el agregado fino el módulo de finura, describe que tan fino o grueso es el material que se está empleando. El módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados desde el tamiz 3/8" hasta el #100 dividido entre el 100%. El módulo de finura no es un indicador de la granulometría, ya que un número infinito de tamizados dará el mismo valor, pero da una idea del grosor o la finura del material. Los valores para el módulo de finura deben estar entre 2.3 y 3.1.

- **Forma de las Partículas**

La forma del agregado depende mucho del tipo de roca que lo originó; la forma del agregado influye directa o indirectamente en el comportamiento del concreto, ya que se relaciona con la trabajabilidad, la resistencia y otras propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

Las partículas planas y alargadas aumentan la cantidad de agua necesaria para la mezcla, la forma más adecuada son las redondeadas (para piedras de ríos) y cúbicas (para triturados) ya que permiten obtener un concreto más manejable y por lo tanto requieren menos agua.

- **Textura**

Influye en la adherencia entre los agregados y las pastas de cemento fraguado, así como también, por su efecto sobre las propiedades del concreto endurecido, tales como: densidad, resistencia a la compresión y a la flexión, cantidad requerida de agua, etc.

Es deseable que las partículas tengan superficie áspera para que haya buena adherencia con la pasta de cemento, especialmente en los concretos de resistencia superior a los 280 kg/cm².



- **Densidad**

Propiedad del agregado que depende directamente de la roca original y está definida como la relación entre el peso del agregado y el volumen que este ocupa dentro de la mezcla de concreto. La importancia de medir esta propiedad radica en que los agregados se dosifican por peso (en kilogramos).

Debido a las cavidades que poseen los agregados la densidad puede clasificarse así:

- **Densidad Absoluta:** definida como la relación entre el peso de la masa sólida y el volumen ocupado exclusivamente por sí misma.

$$\text{Densidad absoluta} = \frac{P_s}{V_m - V_p}$$

Dónde:

P_s = Peso del seco de la masa m ,

V_m = Volumen ocupado por la masa m ,

V_p = Volumen de los poros (saturables y no saturables).

- **Densidad Nominal:** es la relación entre el peso de la masa sólida y el volumen ocupado por éste, sin incluir los poros saturables.

$$\text{Densidad nominal} = \frac{P_s}{V_m - V_{ps}}$$

Dónde:

P_s = Peso del seco de la masa m .

V_m = Volumen ocupado por la masa m , y

V_{ps} = Volumen de los poros saturables.

- **Densidad Aparente:** es la relación entre el peso del sólido y el volumen total, incluyendo los poros saturables y no saturables.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{P_s}{V_m}$$



Dónde:

P_s = Peso seco de la masa m , y

V_m = Volumen ocupado por la masa m

En el campo de la tecnología del concreto, la más utilizada es la densidad aparente, debido a que con ella se determina la cantidad de agregado en peso que se resista para fabricar un metro cúbico de concreto.

- **Porosidad y Absorción**

La absorción es una propiedad asociada a la porosidad del agregado y corresponde a la capacidad de absorber agua que éste tiene. Esta propiedad es usada en el control de calidad del concreto para corregir por humedad los diseños de mezcla. Cuanto más poroso es el agregado, menos resistencia mecánica tiene, por lo tanto, cuanto menor sea la absorción, es más compacto y de mejor calidad.

La capacidad de absorción del agregado se puede cuantificar por diferencias de pesos, entre saturado y superficialmente, expresándose de la siguiente forma:

$$\% \text{absorción} = \frac{P_{ss} - P_s}{P_s} \times 100$$

Dónde:

P_{ss} = Peso de la muestra saturada y superficialmente seca y

P_s = Peso seco de la muestra

- **Masa Unitaria**

Esto no es más que la relación entre el peso de un grupo de granos de agregado y el volumen que ocupan en estado suelto o compacto. El agregado puesto en un recipiente, por simple efecto de la gravedad se le denomina masa unitaria. Si la colocación se ha compactado se le nombra masa unitaria compacta.

2.3.4.4. Propiedades Mecánicas

Dentro de las propiedades mecánicas de los agregados se encuentran la resistencia de las partículas del agregado, la tenacidad, adherencia y la dureza.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



- **Dureza**

La dureza del agregado es una propiedad decisiva para la selección de los materiales. Frecuentemente se usa como un índice de la calidad del agregado, pues muestra la resistencia a la erosión, abrasión o en general al desgaste del mismo.

- **Resistencia**

El agregado grueso está mayormente relacionado con la resistencia del concreto, por su aporte en tamaños de grano dentro de la masa de la mezcla. Los ensayos de resistencia a la trituración sobre las muestras de roca y valores de trituración de los agregados dan una idea acerca del comportamiento de los agregados en el concreto.

- **Tenacidad**

La tenacidad o resistencia a la falla por impacto, es una propiedad que depende de la roca de origen y se debe tener en cuenta ya que tiene mucho que ver con el manejo de los agregados, porque si estos son débiles se puede disminuir la calidad del concreto que se elabore con ellos.

- **Adherencia**

Es la interacción que existe entre la zona de contacto agregado-pasta, la cual es producida por fuerzas de origen físico-químico. Entre mayor sea la adherencia, mayor será la resistencia del concreto (GUZMAN, 2001).

2.3.5. Propiedades del concreto

El concreto se puede encontrar en estado fresco o en estado endurecido y en cada uno de estos presenta diferentes propiedades que determinan su rendimiento o desempeño.

2.3.5.1. Concreto en estado fresco: las propiedades del concreto en estado fresco deben permitir que se llenen adecuadamente las formaletas y los espacios alrededor del acero de refuerzo, así como también obtener una masa homogénea sin grandes burbujas de aire y agua atrapada.

Las propiedades del concreto en estado fresco que pueden ser determinadas mediante métodos de ensayo son:



- **Trabajabilidad o Manejabilidad:** es la capacidad que tiene el concreto de ser colocado y compactado apropiadamente sin que se produzca segregación. La trabajabilidad está representada por el grado de compacidad, cohesividad, plasticidad y la consistencia. La manejabilidad se puede ver afectada por el contenido de agua de mezclado, contenido de aire, las propiedades de los agregados, relación pasta/agregados y las condiciones climáticas.
- **Segregación:** es la tendencia de la separación de las partículas gruesas de la fase mortero del concreto. Las principales causas de segregación que se presentan son: la diferencia de densidades entre sus componentes, el tamaño y la forma de las partículas y la distribución granulométrica. La segregación se produce en dos formas: las partículas gruesas tienden a separarse de las otras por acción de la gravedad, esto ocurre generalmente con mezclas secas y poco plásticas, la otra forma es la separación de la pasta (cemento y agua) lo que ocurre con mezclas muy fluidas.
- **Exudación:** la exudación sucede cuando parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie de una mezcla de concreto recién colocado. Un poco de exudación es útil para el control de la fisuración por contracción plástica, pero si ésta es excesiva aumenta la relación agua- cemento en la superficie de la estructura, haciendo que esta zona sea más débil que el resto.

3.3.5.2. Concreto en Estado Endurecido: Para el caso del concreto endurecido son solo, a consideración, dos los aspectos o propiedades importantes. Las que tienen que ver con el proceso de curado de la mezcla y las que tienen que ver con la resistencia obtenida después de fraguado.

- **Resistencia:** la resistencia física es la propiedad más importante del concreto, porque en forma directa influye en las demás características de significado práctico. En general, los concretos más resistentes son más densos, menos permeables, y más resistentes al interperismo 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 de tracción, razón por la cual la resistencia a la compresión simple es la propiedad más importante y a partir de ella se estudian las demás.

- **Resistencia Mecánica:** la resistencia mecánica como principal propiedad del concreto hidráulico, se dividen en tres tipos de resistencia: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia a la tracción.
- **Resistencia a la Compresión (f'_c):** la resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm^2) a una edad de 28 días se le designe con el símbolo f'_c . Con esta se mide o cuantifica la calidad del cemento y varía según las especificaciones de la obra, se equilibra en conjunto con la economía para el control de calidad del concreto, es decir, armonía seguridad – economía. Se mide a través de cilindros normalizados diámetro = 6", altura = 12", 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 ha curado referenciando cada una con fecha y elemento.

Según la resistencia a la compresión el concreto se clasifica en:

- | | |
|--------------------|--------------|
| ➤ Normal | 14 – 42 MPa |
| ➤ Resistente | 42 – 100 MPa |
| ➤ Ultra resistente | > 100 MPa |

- **Resistencia a la Tensión:** el valor de la resistencia a la tensión del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



- **Resistencia a la Flexión:** se realiza a través de viguetas normalizadas. El ensayo es igual al de la compresión por medio de los cilindros. Las propiedades del concreto endurecido parten del concreto fresco y de la fabricación, colocación y curado.

2.3.5.3. Factores que Inciden en la Resistencia: La resistencia del concreto en estado endurecido, independientemente de la calidad y tipo de materiales que lo constituyen, para unas propiedades dadas de sus componentes en una mezcla trabajable y bien colocada se destacan las siguientes:

- **Contenido de Cemento:** es importante el contenido del cemento dentro de una mezcla, porque para determinado tipo de cemento, a medida que aumenta el contenido del cemento aumenta la resistencia del concreto.
- **Relación Agua – Cemento y Contenido de Aire:** este factor es el más importante en la resistencia del concreto, es necesario establecer si el concreto va llevar aire incluido, porque a mayor cantidad de aire, la relación de agua – cemento es menor.

2.3.5.4. Influencia de los Agregados: las propiedades de los agregados que influyen en la resistencia del concreto son: la granulometría que al ser continua permite la máxima compactación del concreto en estado fresco y por lo tanto la máxima densidad en estado endurecido con la consecuente máxima resistencia. La forma y textura de los agregados influyen, dependiendo de la forma y superficie que tenga la adherencia de la pasta con los mismos, será mejor y por lo tanto aumentará la resistencia. La resistencia y la rigidez de los agregados inciden en la resistencia del concreto, dependiendo si es un agregado de baja densidad y poroso o, si es un agregado de baja porosidad y muy denso.

2.3.5.5. Tamaño Máximo del Agregado Grueso: incide en la resistencia del concreto, ya que la cantidad de cemento requerida para producir una resistencia a la compresión máxima a una edad dada, varía según el tamaño máximo del agregado grueso de la mezcla.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



2.3.5.6. 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 de este con el fin de regular los tiempos de mezclado y transporte.

2.3.5.7. Edad del Concreto: este factor externo está ligado a la relación que hay entre la relación agua- cemento y la resistencia del concreto, debido a que la misma se da únicamente con un tipo de cemento y a una sola edad.

2.3.5.8. 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.

2.3.5.9. Temperatura: la temperatura de curado del concreto afecta su resistencia, porque si se aumenta la temperatura durante este proceso, acelerará las reacciones químicas de la hidratación y esto aumentará la resistencia temprana del concreto, sin efectos contrarios en la resistencia posterior.

2.3.6. Demanda química de oxígeno (DQO): La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. (AMBIENTAL, 2010)

2.3.7. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Se define como D.B.O. de un líquido a la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Aerobacter*, *Bacillus*), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se expresa en mg / l.

Es un parámetro indispensable cuando se necesita determinar el estado o la calidad del agua de ríos, lagos, lagunas o efluentes. Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla).



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



Como el proceso de descomposición varía según la temperatura, este análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20 °C; esto se indica como D.B.O₅.

Según las reglamentaciones, se fijan valores de D.B.O. máximo que pueden tener las aguas residuales, para poder verterlas a los ríos y otros cursos de agua. De acuerdo a estos valores se establece, si es posible arrojarlas directamente o si deben sufrir un tratamiento previo. (Andreo, 2015)



3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Tratar de encontrar la proporción óptima entre Agua Potable y agua del Río Magdalena a la altura del municipio de Calamar, mediante combinaciones de estas a distintas proporciones, para conocer los límites tolerables de algunos parámetros presentes en el agua del río Magdalena en mezclas de concreto, optimizar el uso del agua potable y mejorar la calidad de las obras de ingeniería y así mismo la calidad de vida de los habitantes.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar caracterizaciones iniciales de agua de río y agua potable, para conocer las cantidades de DBO5, DQO, PH, Temperatura, Salinidad, Oxígeno Disuelto, Sólidos suspendidos totales, Turbidez, Coliformes fecales, Conductividad, Cloruros, Dureza, grasas y aceites y Alcalinidad presentes en el agua de río.
- Combinar a distintas proporciones agua potable y agua de río para realizar los cilindros de concreto de 3000 psi y caracterizar las distintas combinaciones.
- Determinar por medio de ensayos de resistencia a la compresión realizados sobre cilindros de concreto de 3000 psi (NTC 673), el efecto de las distintas combinaciones de agua de río y agua potable en las mezclas de concreto.
- Establecer la combinación óptima entre agua de río y agua potable conociendo las cantidades de DBO5, DQO, PH, Temperatura, Salinidad, Oxígeno Disuelto, Sólidos suspendidos totales, Turbidez, Coliformes fecales, Conductividad, Cloruros, Dureza, grasas y aceites y Alcalinidad presentes en el agua de río.
- Analizar los resultados del ensayo a la compresión para conocer la incidencia de los factores presentes en las combinaciones agua de río y agua potable y definir la combinación óptima de estas, además, realizar recomendaciones acerca del tratamiento del agua de río.



4. ALCANCE

Con este estudio se pretende determinar la combinación óptima de agua de río y agua potable para que al fabricar la mezcla con dicha combinación afecte en menos proporción la resistencia del concreto para así poder usarlo en todo tipo de construcciones en lugares que estén aledaños a ríos y en donde sea escasa el agua potable.

La investigación se centra más específicamente en hacer ensayos y pruebas de laboratorio para definir si la mezcla de concreto realizada con la combinación de agua de río y agua potable en diferentes proporciones alcanza una resistencia óptima para poder utilizarla en obras de construcción.

4.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.

Las muestras de agua de río para hacer el estudio se tomarán en el canal del dique, a la altura del municipio de Calamar y los diferentes estudios y ensayos de laboratorio como lo son el de compresión y el de caracterizar las diferentes combinaciones de agua se realizarán en la universidad de Cartagena en los laboratorios de geotecnia y resistencia de materiales ubicados en el campus Piedra de Bolívar y en los laboratorios de sanitaria respectivamente.



Figura 4. Ubicación geográfica del epicentro en donde se harán los estudios.

Fuente: [Google Earth](https://www.google.com/earth/).



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río magdalena y de agua potable a distintas proporciones.

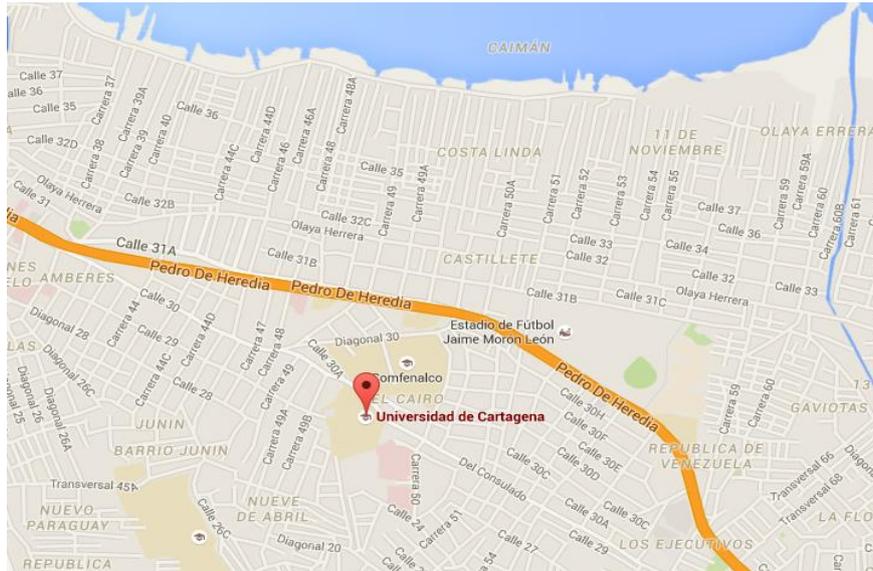


Figura 5. Ubicación geográfica de la Universidad de Cartagena, campus Piedra de Bolívar.

Fuente: [Google Maps.](#)

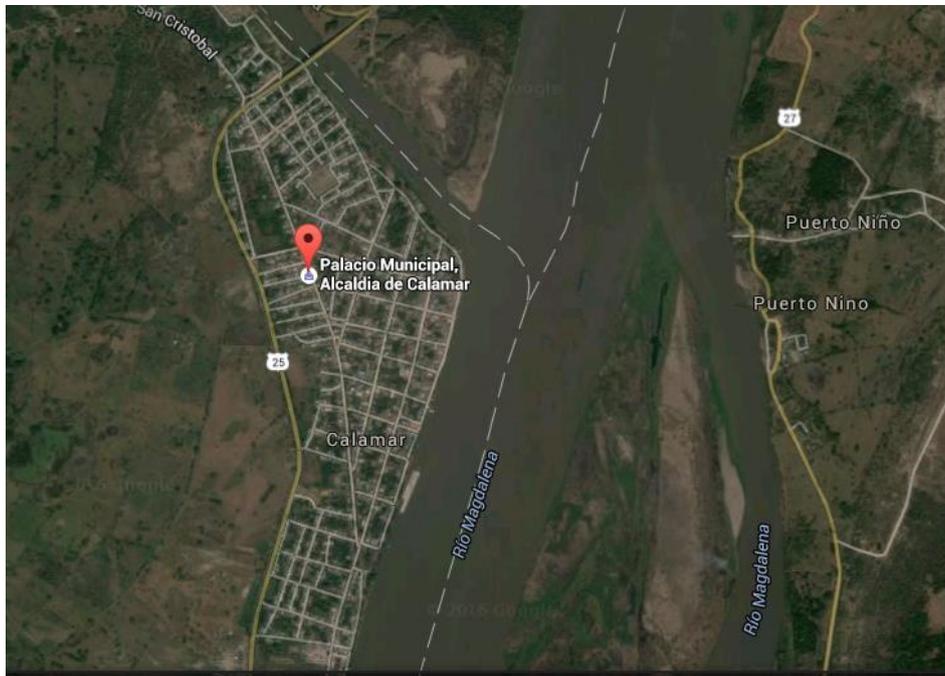


Figura 6. Imagen satelital del municipio de Calamar, Bolívar.

Fuente: [Google Earth.](#)



Figura 7. Imagen satelital de los laboratorios de la Universidad de Cartagena, campus Piedra de Bolívar.

Fuente: [Google Earth](https://www.google.com/earth/).

4.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL.

Se prevé realizar la ejecución de este proyecto en el primer período académico de 2016. Con un lapso de tiempo de 16 semanas comprendidas en los meses de febrero a julio.

4.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.

Esta investigación tiene un nivel de complejidad media, ya que se desconocen las cantidades de agua de río que se deben combinar con el agua potable para que al fabricar la mezcla con esta combinación el concreto no pierda su resistencia y pueda ser usado para cualquier tipo de construcciones, además la caracterización de las diferentes combinaciones de agua es costosa, pero el agua de río es de fácil consecución. La duración y complejidad de la investigación son factores que argumentan la obtención de resultados lo suficientemente confiables.

En esta ocasión con esta tesis se investiga si existe una combinación óptima entre agua de río y agua potable para usar esta en la mezcla de concreto de manera que no afecte la resistencia a la compresión del mismo, haciendo así que las poblaciones aledañas a los ríos en donde el agua potable es escasa se beneficien de esta investigación para fabricar la mezcla de concreto y hacer cualquier tipo de construcciones, ahorrando así agua potable y de no ser esta combinación óptima, cuál es la variación de la resistencia del



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



concreto cuando se le aplica el agua de río en diferentes proporciones al agua potable a los 7, 14 y 28 días, utilizando para ello equipos de laboratorio para realizar los diferentes ensayos tales como caracterizar el agua de río y medir la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de los cilindros con la combinación de agua de río y agua potable a diferentes proporciones y con el agua potable. Todos estos ensayos son para hacer comparaciones de estos resultados, que permitan establecer parámetros tentativos que contribuyan a establecer conclusiones y recomendaciones en un futuro cercano.

4.4. PRODUCTO FINAL A ENTREGAR Y PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS.

Luego de realizar este proyecto de investigación, se presentará un informe en donde se analizarán los datos obtenidos en cada ensayo, se harán gráficas para comparar los resultados de los ensayos con las distintas combinaciones de agua y se hará un estudio detallado con base en ellos para que las conclusiones obtenidas sean las más acertadas.

Con esta investigación se conocerá si existe una combinación óptima entre agua de río y agua potable para usarla en las mezclas de concreto de manera que no afecte la resistencia a la compresión del mismo haciendo así que las poblaciones aledañas a los ríos en donde el agua potable es escasa puedan usar esa combinación de agua para fabricar la mezcla de concreto y hacer cualquier tipo de construcciones, esto servirá como referencia para otras investigaciones que se realicen de este tipo y que pretendan incluir el uso de otras aguas de río para realizar la mezcla de concreto y usar este en las construcciones en donde no llega el servicio de agua potable o es escaso.

4.5. ASPECTOS QUE NO INCLUYE LA INVESTIGACIÓN.

No se harán afirmaciones acerca de otras propiedades del concreto como la manejabilidad, la permeabilidad y el slump, sino que solo se medirá la resistencia que tiene al hacer la mezcla con la combinación de agua de río del canal del dique a la altura del municipio de Calamar y agua potable en diferentes proporciones. Además solo se analizará la resistencia en concretos de 3000 psi. Este proyecto busca obtener conclusiones verídicas que aporten datos y contribuyan a la toma de decisiones en cuanto al uso del agua de río para realizar las mezclas de concreto.



5. METODOLOGIA

5.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Esta investigación es de tipo mixta, ya que representa un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación que implican la recolección y el análisis de datos cualitativos y cuantitativos, para realizar inferencias producto de toda la información recolectada y poder así lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo el cual se está realizando el estudio (Hernández, 2008).

Para llevar a cabo los principales estudios se realizaron diferentes ensayos de tipo físico-químico en las muestras de agua y de tipo mecánico en los cilindros de hormigón, estos ensayos se hicieron de acuerdo a las NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS, con el fin de ver el efecto en la disminución de la resistencia del concreto preparado con diferentes marcas de cemento y agua del Río Magdalena.

El estudio se realizó en el Municipio de Calamar, localizado al noreste del Departamento de Bolívar, el cual hace parte de la subregión geográfica denominada Canal del Dique. Ya que se hicieron toma de muestras, mediciones y diferentes tipos de ensayos el diseño utilizado es de tipo experimental.

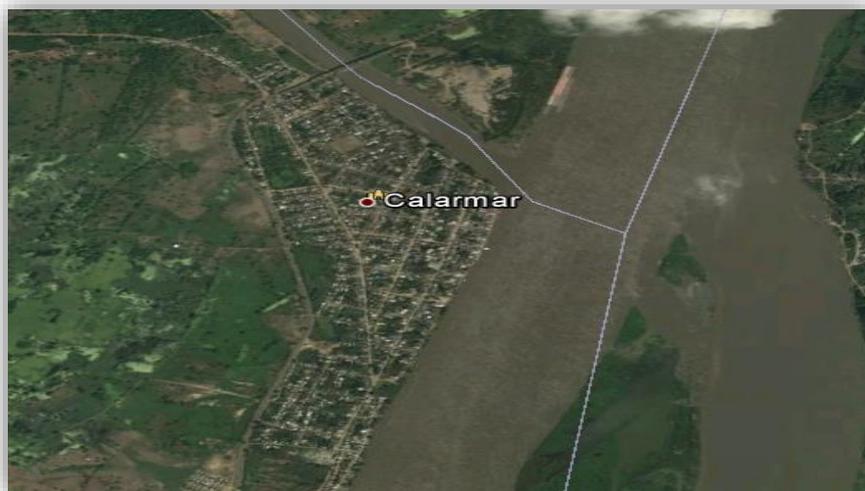


Figura 8: Vista del municipio de Calamar- Bolívar.

Fuente: Google Earth.



Los ensayos requeridos a lo largo de la investigación se efectuaron en los laboratorios de la Universidad de Cartagena, en cambio las muestras de agua algunas fueron analizadas en los laboratorios de la facultad de Ciencias Farmacéuticas en la sede de Zaragocilla.

5.2. VARIABLES

VARIABLES INDEPENDIENTES	DEFINICIÓN	UNIDAD
CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS PRESENTES EN EL AGUA	Gramos de extracto utilizado a la mezcla de concreto.	Depende del parámetro
RESISTENCIA MECÁNICA	Máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial.	Psi

Tabla 4. Variables independientes para el diseño experimental.

Fuente: Autores.

VARIABLES INTERVINIENTES	DEFINICIÓN	UNIDAD
TEMPERATURA	Temperatura a la que se realizarán los ensayos	°C

Tabla 5. Variables intervinientes para el diseño experimental.

Fuente: Autores.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



5.3. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA

En esta parte se hizo una selección de toda la información relacionada con el tema de investigación, apoyándonos en los antecedentes, principalmente en los estudios que ha venido desarrollando el grupo ESCONPAT de la Universidad de Cartagena en algunas zonas ribereñas al Río Magdalena, además de otras fuentes bibliográficas.

5.4. RECOLECCION DE LOS MATERIALES

Las muestras de agua que se utilizaron para la elaboración de las mezclas y los ensayos de laboratorio se tomaron del Río Magdalena el cual pasa a un costado del municipio de Calamar y se recolectaron en visitas realizadas a dicho municipio y para el caso del agua potable se tomó directamente del grifo en la ciudad de Cartagena. Los agregados fueron comprados en lugares de confianza y de buena calidad de materiales siendo el agregado grueso (triturado calizo) procedente de canteras cercanas al municipio y el agregado fino (arena) proveniente del gradado que se realiza a lo largo del Río Magdalena. Se utilizó cemento tipo I para la elaboración de la mezcla con que se realizaron los cilindros de concreto y los ensayos de laboratorio.

El recolectar las muestras fue un proceso sencillo que consistió, en seleccionar un lugar de fácil acceso en la zona de estudio, para luego proseguir a la recolección con la ayuda de herramientas comunes y recipientes aptos para el almacenamiento de las muestras. Después del proceso de obtención de las muestras, fueron transportadas al laboratorio de Suelo de la Universidad de Cartagena, para continuar con los ensayos correspondientes.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



Figura 9. Recolección y almacenamiento de las muestras.

Fuente: Suarez, Anaya 2016

5.5. ENSAYOS DE LABORATORIO AL AGUA

Las muestras de agua, algunas fueron analizadas en los laboratorios de la facultad de Ciencias Farmacéuticas en la sede de Zaragoza (conductividad, alcalinidad, dureza, oxígeno disuelto, cloruros, Sólidos Suspendidos Totales, DBO, grasas y aceites y coliformes fecales) y algunos más con el departamento de saneamiento de ingeniería civil (pH, DQO, turbidez y temperatura).



Figura 10. Agua utilizada.

Fuente: Suarez, Anaya 2016

5.5.1. Ph

MATERIALES:

- Peachimetro Shott o Metrohm
- Muestra de agua (Río Magdalena)

PROCEDIMIENTO:

Para el pH se hizo necesario estandarizar el equipo con una sustancia llamada Buffer que se puede adquirir con diferentes pH, se calibró el equipo con dos de ellas cuidando de limpiar con agua destilada y secar el electrodo, para evitar errores en las lecturas. Una vez estuvo listo se colocó la muestra en un vaso y se procedió a su determinación introduciendo el electrodo. Al final se leyó la escala determinando el pH.

5.5.2. Turbidez

MATERIALES Y EQUIPOS:

- Turbidímetro TURBIQUANT
- Muestra de agua (Río Magdalena)



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



PROCEDIMIENTO:

Para la turbidez, se llenó la celda del equipo TURBIQUANT con la muestra después de haberla mezclado bien, se colocó en el equipo que funciona bajo el efecto Tyndall, se puso en funcionamiento el equipo hasta que la lectura era estable. Cuando la lectura comenzó a bajar se empezó a sedimentar el sólido en la muestra y se tomó la lectura más alta registrando la cantidad en unidades nefelométricas de turbidez.

5.5.3 Sólidos Suspendidos Totales

MATERIALES:

- Horno con temperatura de 103 y 105 °C
- Desecador
- Balanza analítica
- Unidad de filtración al vacío
- Crisole Gooch de 25 ml o 50 ml
- Muestra de agua (Río Magdalena)

PROCEDIMIENTO:

Con la muestra de agua se procedió a insertar los filtros en el aparato de filtración con el lado rugoso hacia arriba, aplicando vacío y lavando el filtro con tres porciones sucesivas de 20 ml de agua destilada, se continuó la succión hasta remover todas las trazas y descartar el filtrado. Luego se removió el filtro y se transfirió a un disco para tomar su peso con el cuidado necesario para prevenir que el filtro seco se adhiera al disco, el material que se adhiera al disco se agregó al filtro para evitar errores.

5.5.4 Temperatura

MATERIALES:

- Termómetro

PROCEDIMIENTO:

Se introduce el termómetro en la muestra de agua y al cabo de un tiempo se toma la medición dada por el termómetro.



5.5.5 DQO

MATERIALES Y REACTIVOS

- Solución estándar de dicromato de potasio $2K_2Cr_2O_7$
- Sulfato mercúrico (cristales o polvo)
- Ácido sulfúrico concentrado H_2SO_4
- Sulfato de plata cristales o polvo (Ag_2SO_4)
- Sulfato ferroso amónico (FAS) 0,1N
- Solución indicadora de ferroína
- Bureta de 25 ml y vaso de precipitaciones de 100 ml
- Erlenmeyer de 50 ml
- Soporte y llave para bureta
- 2 pipetas aforadas de 2 ml y 1 graduada de 10 ml
- Tubos para reflujo cerrado

PROCEDIMIENTO

Se colocaron 2 mL de muestra en un recipiente para reflujo cerrado. Se añadieron 3 mL de ácido sulfúrico mezclado con sulfato de plata. Se enfrió mientras se mezclaba para evitar pérdida de materiales volátiles. Se añadieron enseguida 2 mL de dicromato de potasio 0,10N. Se llevó a REFLUJO CERRADO de 1 a 2 horas a una temperatura de 160 grados centígrados. Al terminar se diluyó la mezcla con agua destilada. Se enfrió a temperatura ambiente (paso muy importante). Se tituló el exceso de dicromato con FAS 0,25N usando 2 o 3 gotas de ferroína como indicador, hasta el primer cambio de azul verdoso a café rojizo (Nota: el azul verdoso puede reaparecer) Se tomó la lectura. Se hizo un blanco con reflujo y titulación de igual modo conteniendo los mismos reactivos pero sin la muestra (agua destilada).

Se calculó la DQO según la siguiente fórmula:

$$DQO = \frac{(A - B) \cdot N \left(FAS \frac{eq}{L} \right) \cdot 8 \frac{g}{eq} \cdot 1000 mg/g}{ml \text{ muestra}}$$

A = Volumen de FAS con el blanco



B = Volumen de FAS con la muestra

5.5.6 DBO

MATERIALES Y REACTIVOS

- Frasco winkler 300 ml.
- Agua destilada.
- Solución tampón pH 7 (a base de fosfato de sodio y potasio).
- Solución de sulfato de magnesio.
- Solución de cloruro de calcio.
- Solución de cloruro férrico.
- Inoculo: 2 mL de agua de alcantarilla por cada L de agua de dilución (para asegurar las bacterias necesarias).
- Oxímetro
- Incubadora calibrada a 20 +/- 1 °C (tiempo de 5 días)
- Agitador magnético.

PROCEDIMIENTO

El método es electrométrico con el frasco winkler (300 mL de capacidad). Se adicionan 25, 50, 100 y 200 mL de muestra (si son aguas normales) en frascos de winkler.

Aguas residuales muy contaminadas requieren pocos mL y hasta diluciones por un factor. Se completa cada botella con agua de dilución hasta que rebose. Se hace el blanco solo con agua de dilución.

Luego se rellenan nuevamente con agua de dilución (sin botar el agua del borde), se cierran y se incuban por 5 días a una temperatura de 20 +/- 1°C. Al cabo de 5 días se hace una nueva lectura de OD en todos los frascos con el oxímetro; estas lecturas corresponden al oxígeno final. Valores de OD entre 1,5 y 2 mg/L son los aceptables y se utilizan para cálculos. Menores de 1 se desechan. Si algún frasco da más OD de la inicial, había algas que producen oxígeno en el frasco.



Se calcula la DBO₅ según la siguiente fórmula:

$$DBO_5 = \frac{[(A - B) - (C - D)] \cdot 300 \text{ ml (frasco winkler)}}{\text{ml muestra}}$$

A= OD inicial en la muestra.

B= OD final en la muestra.

C= OD inicial en el blanco.

D= OD final en el blanco.

5.5.7. Cloruros

REACTIVOS Y MATERIALES:

- Titulante: Nitrato Mercúrico 0,0141N
- Indicador: Solución de Difetil Carbazona
- Solución de Ácido Nítrico 1:1000 (Para mantener un pH ácido en las muestras)
- Bureta de 25 ml y vaso de precipitados de 100 ml
- Erlenmeyer de 250 ml
- Soporte y llave para bureta
- Pipeta aforada de 25 ml
- Pipeta graduada de 10 ml
- Muestra de agua cruda (Río Magdalena)

PROCEDIMIENTO:

Se tomaron 25 ml de muestra en un Erlenmeyer, luego se agregaron 5 gotas de Difetil Carbazona a la muestra (tomando color violeta). Se adicionó Ácido Nítrico 1:1000 hasta que tomara color amarillo y se tituló con Nitrato Mercúrico 0,0141N hasta un punto final cogiendo un color violeta. Se anotó los ml de Nitrato Mercúrico gastados en la titulación y por último se calcularon los CLORUROS con la siguiente fórmula:

$$\text{Mg/L (Cl}^-) = \frac{\text{ml Hg (NO}_3)_2 \times \text{N Hg (NO}_3)_2 \text{ eq/L} \times 35,45 \text{ g /eq} \times 1000 \text{ mg/g}}{\text{ml MUESTRA}}$$



5.5.8. Alcalinidad

MATERIALES Y REACTIVOS:

- Erlenmeyer de 125 ml
- Pipetas graduadas de 25 y 50 ml
- Bureta
- Pinzas para bureta
- Soporte universal
- Potenciómetro
- Ácido Sulfúrico (H₂SO₄)
- Muestra de agua (Río Magdalena)

PROCEDIMIENTO:

Se tomaron 50 ml de la muestra con una pipeta graduada teniendo cuidado de no agitar la muestra, transfiriendo este volumen a un Erlenmeyer, se empezó la titulación adicionando el ácido sulfúrico a intervalos de 0.5 ml, asegurándonos de mezclar muy bien entre cada aplicación del ácido y midiendo el pH, se continuo la titulación con el ácido hasta alcanzar un pH de 8,3 y registrando el volumen consumido de ácido (F), se continuo la titulación hasta alcanzar un pH de 3,7 y se registró el volumen (M). Por último se calculó las diferentes formas de alcalinidad contenidas en la muestra en mg/L de carbonato de calcio (CaCO₃).

$$\text{Alcalinidad mg/L CaCO}_3 = (\text{Vb} \times \text{N} \times 50000) / (\text{Vm})$$

Dónde:

Va = Volumen del ácido gastado en ml

N= Normalidad del ácido sulfúrico en eq/L

Vm= Volumen de la muestra

50000= Factor de conversión cuya unidad es mg CaCO₃/eq



5.5.9 Oxígeno disuelto

REACTIVOS Y MATERIALES:

- Muestra de agua natural
- Sulfato de Manganeso
- Solución Alcalina de Yoduro de Azida
- Ácido Sulfúrico Concentrado
- Titulante: Tiosulfato de Sodio 0,01 N
- Indicador: Solución de Almidón
- Frasco WINKLER de 300 mL
- Bureta de 25 mL y vaso de precipitados de 100 mL.
- Erlenmeyer de 250 mL
- Soporte y llave para bureta
- Pipeta aforada de 50 mL.
- Pipeta graduada de 10 mL.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento utilizado para determinar el oxígeno disuelto se describe a continuación:

- El frasco de Winkler se llena con la muestra de agua natural, tomada del grifo, dejando que rebose, para evitar burbujas de aire que alteren la prueba, se utiliza una pequeña manguera para mejor control de las burbujas. Se cierra el frasco y se agita por inversión.
- Luego se añaden 2 mL de Sulfato de Manganeso y 2 mL de Yoduro de Azida. Lo que le da un color de amarillo a naranja.
- Se tapa la muestra y se agita fuertemente unas 15 veces por inversión y luego se deja reposar por 5 min.
- Se agregan 2 mL de Ácido Sulfúrico para disolver el precipitado y que quede libre el yoduro agregado anteriormente.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



- Se toman 50 mL de esta solución contenida en el frasco Winkler y se titula con Tiosulfato de sodio hasta color amarillo claro.
- Se agrega 1 mL del indicador, dándole una tonalidad azul oscuro, y se sigue titulando hasta punto final incoloro. Se toma la lectura.

5.5.10 Dureza

MATERIALES:

- Titulante: EDTA (Etilen Diamino Tetra Acético) 0.01 M.
- Buffers: Amonio (Hidroxido +Cloruro) 5% p/v y Hidroxido de Sodio 5% pH 11.
- Indicadores: Negro de Eríocromo y Murexida.
- Bureta de 25 mL y vaso de precipitados de 100 mL.
- Erlenmeyer de 250 mL.
- Soporte y lave para bureta.
- Pipeta aforada de 2 mL y graduada de 10 mL.

PROCEDIMIENTO:

Tomar 25 mL de muestra en un Erlenmeyer. Se agregan 2 mL de buffer de amonio a la muestra y unos 20-30 mg de negro de eriocromo (color vino tinto). Se titula con EDTA 0.01M hasta un punto final azul. Se anota los mL gastados de EDTA en la titulación

5.5.11 Conductividad

MATERIALES

- Conductímetro Metrohm.
- Vasos de precipitados de 100 mL.
- Papel higiénico suave (evita deterioro del electrodo).

PROCEDIMIENTO

Se coloca la muestra en un vaso de precipitados y se lleva al equipo, cuidando que el orificio del electrodo quede sumergido en el líquido. El equipo, que debe estar en



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



STAND BY, se lleva a lectura de conductancia específica o conductividad y se toma en micro Siemens (µS) / cm o mili Siemens (mS) /cm dependiendo de la muestra y se comparan los resultados entre las diferentes muestras y con el límite del parámetro en los decretos.

5.5.12. Coliformes fecales

MATERIALES:

- Frascos para la preparación de medios de cultivo.
- Pipetas mecánicas para diferentes volúmenes y puntas estériles acorde a la pipeta seleccionada.
- Autoclave.
- Cabina de flujo laminar.
- Tubos de borosilicato tapa-rosca esterilizables de dimensiones (en mm): 13 x 100, 16 x 150, 20 x 150 y 25 x 150.
- Incubadora con temperatura de $35 \pm 1^\circ\text{C}$.
- Baño María a temperatura de $44.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$.
- Microscopio.
- Caldo lauril triptosa.
- Caldo bilis verde brillante.
- Caldo EC.
- Agua estéril para dilución o lavado: destilada o peptonada al 0.1%.
- Reactivos para realizar coloración de Gram.
- Agar Nutritivo.
- Aceite de inmersión.
- Agar McConkey o agar tipo Endo LES.



PROCEDIMIENTO:

Selección del volumen de la muestra a inocular

Según la naturaleza de la muestra, seleccione las diluciones a emplear en la fase presuntiva, teniendo presente que cada una está compuesta por una serie de cinco tubos.

Elija la cantidad de muestra a sembrar con base en la densidad probable de coliformes presentes en la muestra y siembre en cada una de las series las cantidades de muestra o la dilución correspondiente.

Para decidir el número de series a emplear y la cantidad de su inóculo, tenga en cuenta las experiencias anteriores, la procedencia de la muestra y el hecho de que en época de lluvia, el número de coliformes puede aumentar en 1 o más diluciones en las aguas superficiales incluidas las de ciénagas y mar mientras que su número puede disminuir en las aguas residuales domésticas.

En la medida que se sospeche un alto número de coliformes, la cantidad de muestra a inocular será menor. Por ejemplo, para un agua con una probable densidad escasa de coliformes, siembre 5 tubos por cada una de las siguientes concentraciones de muestra: 10, 1, 0.1, 0.01 mL. Por lo general, se utilizan de 3 a 5 series de tubos.

Diluciones

La muestra y sus respectivas diluciones deberán ser agitadas antes de proceder a sembrarlas o a realizar otras diluciones. Cuando sea necesario, haga las diluciones decimales pertinentes; para esto, emplee tubos o frascos de dilución con un volumen fijo de 9 o 99 mL de agua de dilución estéril. Tenga presente que una vez esterilizados los frascos, el volumen de diluyente puede disminuir, por lo que se requerirá restablecer su cantidad antes de utilizarlos.

Considere el volumen de 1 mL de muestra como la concentración de 100. Para realizar una dilución 10-1, adicione 11 mL de muestra a 99 mL de diluyente o 1 mL de muestra a 9 mL de diluyente. Para realizar una dilución 10-2, agregue 1 mL de muestra a 99 mL de diluyente o 0.1 mL de muestra a 9.9 mL de diluyente. Si desea obtener una dilución decimal mayor haga las diluciones correspondientes a partir de la dilución inmediatamente anterior y sume los decimales para conocer la dilución final. Cuando la



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



muestra sea turbia, nunca siembre directamente 0.1 mL o menos; en estos casos, emplee 1 u 11 mL de muestra para realizar la dilución correspondiente.

Siembra e incubación de la muestra

Fase Presuntiva:

El medio de cultivo utilizado es el caldo Lauril Triptosa. Una vez realizada las diluciones necesarias, siembre el mismo volumen en cada uno de los 5 tubos de la serie, agítelos o mézclelos por inversión e incúbelos a $35 \pm 1^\circ\text{C}$. A las 24 ± 2 horas, observe turbiedad en el medio y/o producción de gas en el tubo Durham e incube nuevamente aquellos tubos negativos hasta 48 ± 3 horas para detectar los coliformes que son fermentadores lentos de la lactosa. La prueba será positiva si hay crecimiento con producción de gas dentro de las 48 horas.

5.5.13 Grasas y aceites

REACTIVOS Y MATERIALES

- Extractor Soxhlet BÜCHI B-810.
- Bomba de vacío.
- Cabina extractora de vapores orgánicos
- Balanza analítica de cuatro cifras decimales
- Horno de secado
- Rotavapor (para la recuperación del solvente)
- Desecador grande
- Ácido clorhídrico, HCl concentrado o Ácido sulfúrico, H₂SO₄ concentrado
- Hexano, C₆H₁₂, punto de ebullición 69°C, libre de residuos.
- Suspensión para ayuda de filtración, tierra de diatomeas, 10g/L. Suspender 10 g de la tierra de diatomea en 1 L de agua destilada.
- Aceite de origen vegetal o mineral.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



- Embudo Buchner, de 12 cm de diámetro.
- Dedal de extracción de vidrio.
- Papel de filtro, de 11 cm de diámetro cuantitativo (Whatman N° 40 o equivalente)
- Discos de muselina.
- Pinzas, metálicas.
- Frasco lavador.
- Vaso de precipitado de 50 mL
- Varilla de vidrio

PROCEDIMIENTO:

Blanco

Tome 1 litro de agua destilada y acidifíquela con H₂SO₄ o HCl a pH < 2 (aproximadamente 2 gotas). Verificar con papel indicador.

Estándares de control

Pese 5,0 g de aceite mineral en un vaso de precipitados y disuelva con hexano. Transfiera cuantitativamente a un balón de 50 mL y lleve a volumen con hexano, para obtener una concentración de 100.000 mg/L. Almacene inmediatamente en un frasco tapa rosca y refrigere en la nevera de cromatografía (- 18°C).

Estándar de 50 mg/L: Dispense de este stock 500 µL en un frasco de un litro boca ancha utilizado para el muestreo de grasas. Lleve a la campana de orgánicos y permita que se evapore el solvente. Adicione agua destilada hasta el cuello y preserve con H₂SO₄ a pH < 2.

Estándar de 500 mg/L: Dispense de este stock 5 mL en un frasco de un litro boca ancha utilizado para el muestreo de grasas. Lleve a la campana de orgánicos y permita que se evapore el solvente. Adicione agua destilada hasta el cuello y preserve con H₂SO₄ a pH < 2.



5.6. DISEÑO DE MEZCLA

Se realizó el diseño de mezcla para concreto de 3000 PSI por medio de Método de la A.C.I.211 teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Resistencia de Diseño
 - Peso específico cemento Portland Tipo I
 - Asentamiento de Diseño
 - Relación Agua Cemento
 - Contenido de Aire Atrapado
 - Cantidad de Agua por m³ de Concreto
- ✓ La resistencia de diseño de la mezcla f'_c en Kg/cm² se determinó de acuerdo con la tabla 4, sabiendo que la resistencia es de 3000 psi que equivale a 210,9209 Kg/cm².

RESISTENCIA ESPECIFICADA f'_c (KG/CM ²)	RESISTENCIA DE DISEÑO DE LA MEZCLA f'_{CR} (KG/CM ²)
Menos de 210 (Kg/cm ²)	$f_c + 70$ (Kg/cm ²)
de 210(Kg/cm ²) a 350 (Kg/cm ²)	$f_c + 85$ (Kg/cm ²)
Más de 350 (Kg/cm ²)	$f_c + 100$ (Kg/cm ²)

Tabla 6. Resistencia requerida de diseño

Fuente: tecnología del concreto y del mortero pag 237

- ✓ Se conoce que “Cuando el tipo de obra no justifica la determinación exacta del peso específico relativo del cemento, se puede usar el valor de 3.15.” (UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA “JOSE SIMEON CAÑAS” UCA, 2014). Por consiguiente el peso específico del cemento se tomó de 3.15 g/cm³.
- ✓ Ensayo de manejabilidad (asentamiento ntc 396- astmc125)

MATERIALES:

- Balanza
- Moldes (cono de Abrams)



- Varilla Compacta
- Agregado fino
- Agregado grueso
- Cemento (ARGOS, HOLCIM. CEMEX)
- Agua

PROCEDIMIENTO:

Se colocó el cono sobre un área que era mayor a la base de este, se humedeció el interior del cono, se hecho el concreto y se mantuvo fijamente la posición mediante las aletas inferiores. Se llenó el cono hasta 1/3 de su capacidad y compactó con la varilla dando 25 golpes repartidos uniformemente por toda la superficie y se repitió este procedimiento en el segundo tercio y en el tercio final. Luego se retiró el exceso con el palustre de forma que el cono quede perfectamente lleno y enrasado.

Luego se sacó el molde levantándolo con cuidado en dirección vertical lo más rápidamente posible, sin mover el concreto por ninguna razón. Inmediatamente se midió el asentamiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro original de la base superior de la muestra.

- ✓ Relación Agua Cemento

Para la determinación de este parámetro se utilizó la tabla 5, de donde se obtiene la relación Agua Cemento.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (KG/CM ²)	RELACIÓN AGUA-CEMENTO EN PESO		
	Límite superior	Límite medio	Límite inferior
140	-	0.72	0.65
175	-	0.65	0.58
210	0.7	0.58	0.53
245	0.64	0.53	0.49
280	0.59	0.48	0.45
315	0.54	0.44	0.42
350	0.49	0.40	0.38

Tabla 7. Relación Agua Cemento

Fuente: tecnología del concreto y del mortero, pág. 238



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



- ✓ Contenido de aire atrapado

Como se trabajó bajo condiciones de aire parcialmente controladas, dado que se realizó la mezcla de concreto en un lugar casi cerrado donde no hubo exposición severa de la mezcla al aire, se laboró para un concreto con cantidades de aire pequeñas. Para efectos prácticos se asumió el valor como del porcentaje en volumen del contenido de aire naturalmente atrapado 2.33%.

- ✓ Cantidad de agua por m³ de concreto

Dadas las condiciones de los agregados y el porcentaje de aire incluido se obtiene la relación cantidad de agua necesaria para adquirir la resistencia deseada.

5.7. ELABORACIÓN DE LOS CILINDROS

Los cilindros de concreto fueron realizados de acuerdo a la NTC 550 en donde se indica el procedimiento a seguir para la elaboración de los cilindros que posteriormente fueron utilizados para los ensayos de compresión.

EQUIPOS Y MATERIALES:

- Balanza
- Moldes
- Varilla Compacta
- Recipiente de mezclado
- Agregado fino
- Agregado grueso
- Cemento
- Agua (Río Magdalena a la altura del municipio de Calamar)

PROCEDIMIENTO:

Luego de fabricar la mezcla se llenaron los moldes en tres capas, durante el vaciado la mezcla se colocó de tal manera que se garantizara la correcta distribución de ésta y se redujera al mínimo la separación del material dentro del molde. Los moldes se



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



compactaron mediante apisonado y estos se llenaron en tres capas apisonando cada capa con la varilla dando 25 golpes.

Todos los moldes se llenaron igualmente, es decir, llenado del molde, compactación de la primera capa, después la segunda y por último la tercera capa con la cual se llena el molde en su totalidad. Después de la compactación se procedió a retirar el concreto sobrante alisándose su superficie y manipulándose lo menos posible para dejar la cara lisa de tal forma que tuviera un buen acabado, los moldes se dejaron quietos, sin tocarlos hasta que estos estuvieran endurecidos lo suficiente para resistir el manejo, después de 24 horas de su elaboración se quitaron los moldes y se colocaron en ambiente de saturación (sumergidas en agua).



Figura 11. Elaboración y curado de los cilindros.

Fuente: Suarez, Anaya 2016

5.8. ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO (ASTM C 31-ASTM C 39)

Los ensayos de compresión a los cilindros de concreto de 3000 psi se realizaron a las edades de 7, 14 y 28 días por medio de una máquina de compresión en las instalaciones del laboratorio del Ing. Modesto Barrios, apoyándonos en la NTC 673.

EQUIPO Y MATERIALES:

- Máquina de ensayos
- Especímenes cilíndricos de concreto



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



PROCEDIMIENTO:

Se empezó el ensayo tan pronto como el cilindro de concreto ha sido sacado de la cámara o pozo de curado conservando sus condiciones de humedad, se limpiaron las superficies de los soportes (bandas de neopreno) de la máquina, tanto el inferior como el superior asegurando de que no haya ningún tipo de sucio que impida el pleno contacto entre las bandas y el cilindro. Se colocó el espécimen en la maquina alineándolo y verificando que esté estuviera centrado, se verifico que el indicador de carga estuviera en cero, seguido de esto se puso la maquina en movimiento de una manera lenta hasta que el bloque tenga contacto con el plato de compresión de la prensa, aplicando una carga de manera continua (sin choque) manteniendo una velocidad constante durante el ensayo, la carga sobre el bloque se aplicó hasta que este falló por completo, luego se registró la máxima carga soportada por el cilindro. Por último la resistencia a la compresión del espécimen se calculó dividiendo la máxima carga alcanzada durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen.

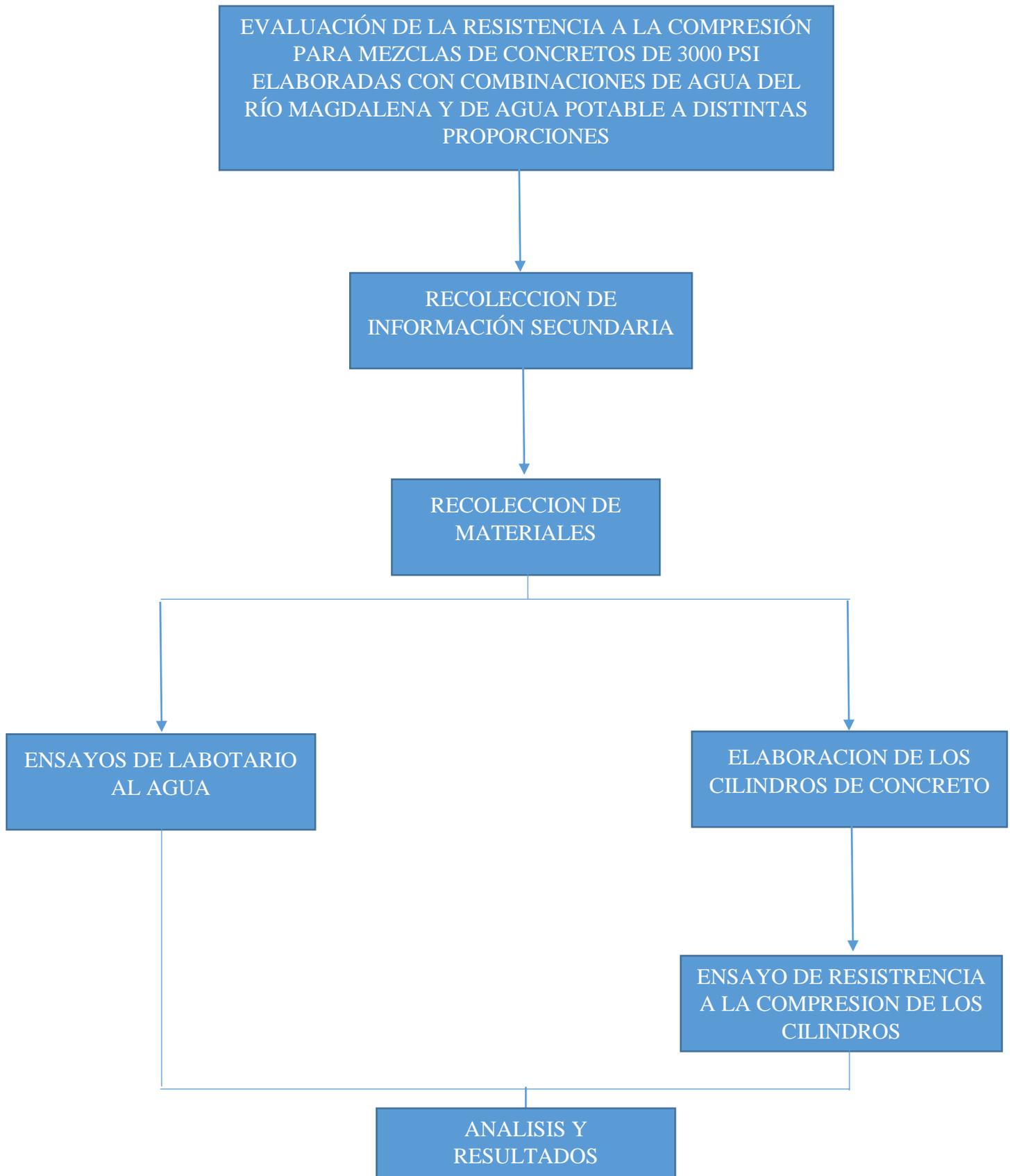


Figura 12. Ensayo de compresión a los cilindros.

Fuente: Suarez, Anaya, 2016.



5.9. REPRESENTACION ESQUEMATICA





Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



5.10. ANALISIS DE CONFIABILIDAD, VALIDEZ Y OBJETIVIDAD

Teniendo en cuenta los resultados se puede apreciar que no existe una gran diferencia en los valores, como se ve en la tabla 11, se hicieron 3 cilindros de concreto para cada combinación de agua y así ensayarlos a los 7, 14 y 28 días, esto se hizo para tener un menor margen de error. Por lo cual se puede concluir que la máquina utilizada se encontraba calibrada y en buenas condiciones, haciendo estos datos muy confiables, válidos y objetivos.



6. RESULTADOS

6.1. DISEÑO DE MEZCLA 3000 psi

- ✓ Resistencia de Diseño

$$f'c = 210 \frac{kg}{cm^2} + 85 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f'c = 295 \frac{kg}{cm^2}$$

- ✓ Peso específico cemento Portland Tipo I: 3,15 kg/cm
- ✓ Asentamiento de Diseño: 100 mm
- ✓ Relación Agua Cemento: 0.46
- ✓ Contenido de Aire Atrapado: 2,33%
- ✓ Cantidad de Agua utilizada: 35 lt.

Cálculos:

Peso del Cemento = Peso del Agua / (R A/C) = 35 / 0,46 = 76.08kg. 2 bolsas

Cantidad de Cemento: 76.08 kg.

Volumen del Cemento: 76.08 kg / 3,150 kg/cm³ = 0,024 m³

Volumen de Agua = 0,035 m³

Volumen de la pasta = 0,059 m³

Volumen de Agregados grueso = 0,1999 m³

Volumen de agregado fino: 0.1333 m³

Volumen de concreto: 0.283m³

Proporciones: 1:2:3



6.2. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL AGUA

Durante las caracterizaciones o ensayos realizados a cada una de las muestras de agua de río y potable y distintas combinaciones entre éstas, se obtuvieron resultados que serán mostrados a continuación en la tabla 1, los cuales serán comparados con tesis anteriores con motivo de obtener una buena perspectiva de las características del agua del Río Magdalena. El agua de río utilizada para realizar dichas caracterizaciones fue sustraída del Río Magdalena a la altura del municipio de Calamar.

PARÁMETROS	MUESTRAS DE AGUA			
	75% AP- 25% AR	65% AP- 35% AR	50% AP- 50% AR	100% AR
pH	6.08	6.25	5.98	5.9
Alcalinidad(ml)	1.5	1.7	1.3	1.5
Conductividad	109.15	111	114.4	118.45
DQO(Mg O ₂ /L)	25	30.5	52.5	62.23
Turbidez (UNT)	4.25	40.5	55	59.9
Temperatura(°C)	29.5	29.5	29.5	29.5
Oxígeno disuelto (mg/L)	8.845	9.12	8.825	9.355
Cloruros(mg/l) (CL ⁻)	23.9925	21.9931	17.9944	9.9969
Dureza (ml EDTA)	1.8	1.9	1.8	2.0
SST(mg/L)	20.8	29.2	43.4	82
Coliformes fecales (nmp/100mL)	23.9	31.9	47.6	94
Grasas y aceites	0.062	0.087	0.15	0.24

Tabla 8. Propiedades fisico-químicas de las muestras de agua.

Fuente: autores.



6.2.1. Comparación de los resultados con los límites permitidos por la norma NTC 3459 según Resolución 2115 de 2007 para Agua Potable

A continuación en la tabla 2, se mostraran los límites permitidos por la norma NTC 3459 según Resolución 2115 de 2007 para Agua Potable, como soporte para determinar la posible utilización en mezclas de concreto de las muestras estudiadas en esta investigación.

PARÁMETROS	MUESTRAS DE AGUA				Norma según Resolución 2115 de 2007 para Agua Potable
	75% AP-25% AR	65% AP-35% AR	50% AP-50% AR	100% AR	
pH	6.08	6.25	5.98	5.9	7
Alcalinidad(ml)	1.5	1.7	1.3	1.5	2
Conductividad	109.15	111	114.4	118.45	---
DQO(Mg O ₂ /L)	25	30.5	52.5	62.23	---
Turbidez (UNT)	4.25	40.5	55	59.9	2
Temperatura(°C)	29.5	29.5	29.5	29.5	---
Oxígeno disuelto (mg/L)	8.845	9.12	8.825	9.355	---
Cloruros(mg/l) (CL ⁻)	23.9925	21.9931	17.9944	9.9969	250
Dureza (ml EDTA)	1.8	1.9	1.8	2.0	3
SST(mg/L)	20.8	29.2	43.4	82	No tiene
Coliformes fecales (nmp/100mL)	23.9	31.9	47.6	94	---
Grasas y aceites	0.062	0.087	0.15	0.24	---

Tabla 9. Propiedades fisico-químicas del agua permitidas por la NTC.

Fuente: autores.



6.2.2. Comparación Con Los Estudios Previos

A continuación en la tabla 2, se comparan los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las muestra de agua del Río Magdalena a la altura del municipio de Calamar, agua potable y combinaciones entre éstas realizadas en ésta investigación, con las muestras de agua del mismo Río analizadas en investigaciones anteriores .

Parámetros	Calamar (2016)*				Calamar (2013)	Calamar (2012)	Zambrano (2012)	Mompox (2011)	Mompox (2010)	Talaigua (2010)	Cicuco (2010)	Magangué (2010)
	75%ap-25%ar	65%ap-35%ar	50%ap-50%ar	100%ar								
pH	6.08	6.25	5.98	5.9	7,9	7,70	7,70	7,29	6,60	6,65	6,56	6,48
Turbidez, UNT	4.25	40.5	55	59.9	20,65	14,46	14,46	12,56	----	----	----	----
Alcalinidad (ml)	1.5	1.7	1.3	1.5	160	144	144,00	----	----	----	----	----
Cloruros, mg/L (CL)	23.992	21.993	17.994	9.996	10	10	10,00	----	37,94	39,41	39,37	40.06
Conductividad	109.15	111	114.4	118.45	----	----	----	----	----	----	----	----
DQO(Mg O ₂ /L)	25	30.5	52.5	62.23	----	----	----	----	----	----	----	----
Oxígeno disuelto (mg/L)	8.845	9.12	8.825	9.355	----	----	----	----	----	----	----	----
Dureza	1.8	1.9	1.8	2.0	----	----	----	----	----	----	----	----
Temperatura (°C)	29.5	29.5	29.5	29.5	----	----	----	----	----	----	----	----
SST(mg/L)	20.8	29.2	43.4	82	----	----	----	----	----	----	----	----
Coliformes fecales (nmp/100mL)	23.9	31.9	47.6	94	----	----	----	----	----	----	----	----
Grasas y aceites	0.062	0.087	0.15	0.24	----	----	----	----	----	----	----	----

Tabla 10. Comparación de resultados del agua del Río Magdalena con anteriores trabajos de grado.

Fuente: autores.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



En la tabla anterior podemos notar que no hubo una gran variabilidad en los cloruros de investigaciones anteriores con respecto a los valores obtenidos en 100% AR de esta investigación (Calamar 2016), en el resto de proporciones estudiadas si se puede notar una diferencia, la cual pudo ser producto de la incidencia del agua potable en el agua de río.

Teniendo en cuenta todos los parámetros exceptuando los cloruros se puede notar una diferencia entre los resultados de esta investigación con los de investigaciones anteriores, lo anterior pudo ser consecuencia de que las muestras se tomaron en una época de sequía de la región, donde no llovía hacia aproximadamente 1 año y además que fueron combinadas con agua potable.

Cabe destacar que en la presente tesis se investigaron algunos parámetros que los anteriores investigadores no, dentro de los cuales encontramos conductividad, DQO, oxígeno disuelto, dureza, temperatura, SST, coliformes fecales y grasas y aceites, por esto no se reflejan datos de estos parámetros en la tabla anterior.



6.3. RESULTADOS DEL ENSAYO A LOS CILINDROS

Los ensayos de resistencia a la compresión del concreto fueron realizados a las edades de 7, 14 y 28 días, después de esto pudimos obtener los resultados que se muestran en la siguiente tabla.

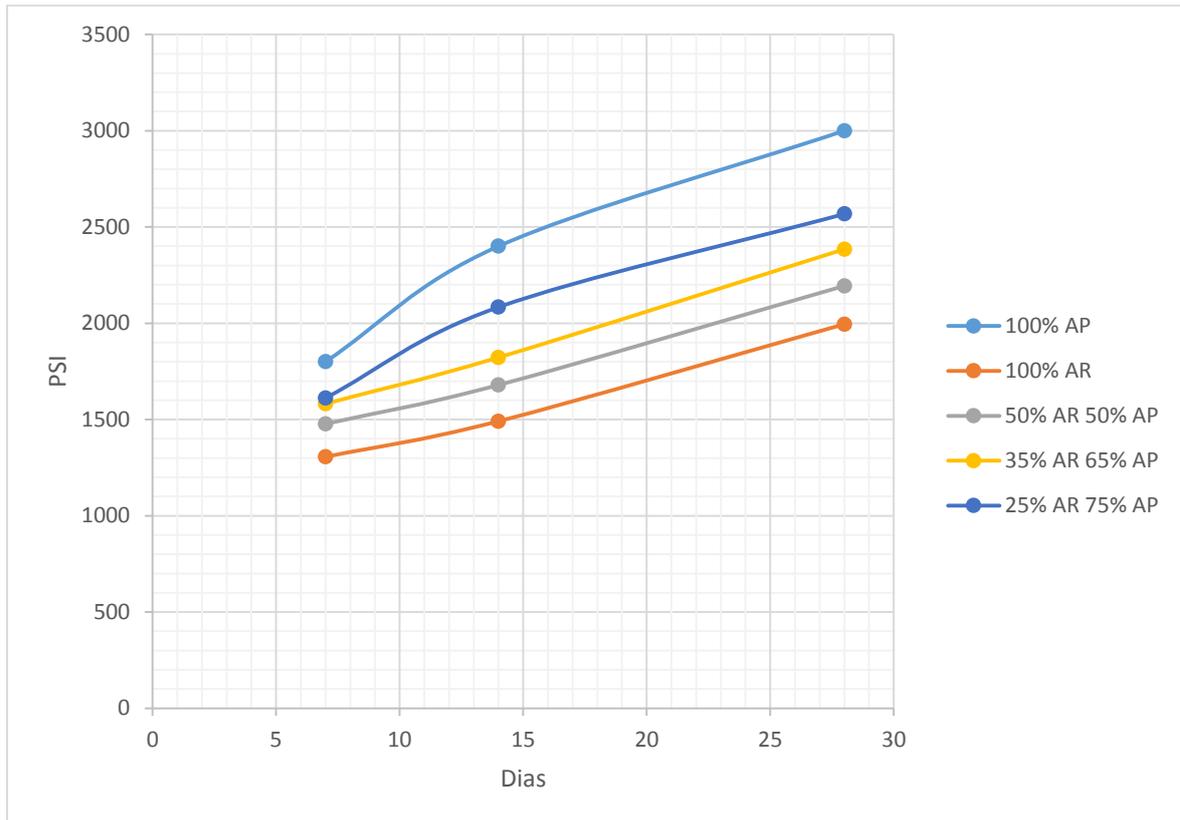
Edad(días)	Muestra	Resistencia Requerida	Resistencia Obtenida (PSI)			Promedio
		(PSI)	Cilindro # 1	Cilindro # 2	Cilindro # 3	(PSI)
7	100% AR	1800	1213,35	1350,93	1353,37	1305,88
7	50% AR-50% AP	1800	1445,09	1511,99	1474,07	1477,05
7	35% AR-65% AP	1800	1569,89	1590,60	1585,82	1582,10
7	25% AR-75% AP	1800	1614,22	1612,86	1607,69	1611,59
7	100% AP	1800	1800,56	1795,67	1804,48	1800,27
14	100% AR	2400	1489,62	1504,84	1478,56	1491,01
14	50% AR-50% AP	2400	1647,25	1711,94	1678,48	1679,22
14	35% AR-65% AP	2400	1795,24	1826,74	1845,29	1822,42
14	25% AR-75% AP	2400	1994,25	2071,84	2184,57	2083,55
14	100% AP	2400	2493,23	2378,56	2345,89	2405,89
28	100% AR	3000	1972,56	2056,82	1956,23	1995,20
28	50% AR-50% AP	3000	2200,48	2194,65	2186,78	2193,97
28	35% AR-65% AP	3000	2384,15	2427,83	2341,71	2384,56
28	25% AR-75% AP	3000	2514,16	2578,94	2609,73	2567,61
28	100% AP	3000	2982,70	2995,89	2996,43	2991,67

Tabla 11. Resistencia a la compresión para concretos de 3000 PSI.

Fuente: autores.



A continuación se muestra la gráfica 1 donde se presentan las curvas de las resistencias obtenidas de los cilindros de concreto de 3000 PSI elaborados con el agua de Río, y las diferentes combinaciones de agua potable y agua de río del municipio de Calamar, contra la resistencia requerida.

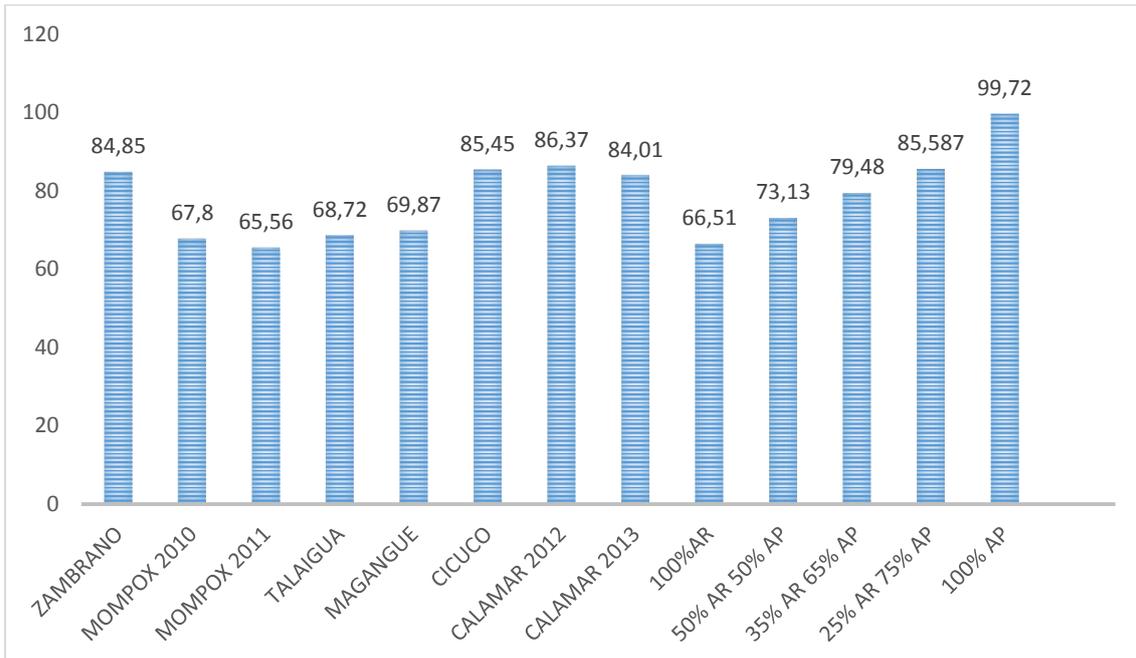


Grafica 1. Curvas de resistencia obtenidas de los cilindros de concreto de 3000 PSI.

Fuente: autores.

6.3.1. Comparación Con Estudios Previos

Para tener una mejor perspectiva del efecto que tiene el agua del Río Magdalena en la mezcla de concreto como agua de mezclado, en la reducción de la resistencia del concreto. Los resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días de los concretos preparados con solo agua de río y con cada combinación obtenidos en esta investigación son comparados con los obtenidos en anteriores trabajos de grado. Los resultados de esta comparación se muestran en la gráfica 2.



Grafica 2. Comparación de resultados para concretos de 3000 PSI.

Fuente: autores.

En comparación con el resultado de las dos resistencias de calamar en los años anteriores con el resultado de ahora se puede concluir que la disminución tan abrupta de la resistencia es debido a que en el período en el que se realizó esta investigación estaba el fenómeno del niño, por lo tanto el nivel del agua en el río estaba muy bajo y al hacer la recolección de dicha agua, esta tenía muchos sedimentos y solidos suspendidos, por lo que la resistencia se debió haber visto afectada por esto.



6.4. ANALISIS DE RESULTADOS

6.4.1. Caracterización del agua

Según la NTC 3459, el agua utilizada para la preparación de la mezcla de concreto debe ser agua potable, ya que aquellas aguas con olores desagradables y colores café o verde deben ser inspeccionadas para ver si cumplen los parámetros mínimos necesarios para su utilización. Comparando los resultados de los ensayos realizados a cada una de las muestras de agua con lo anteriormente dicho, se puede deducir que el agua de río Magdalena a la altura del municipio de Calamar no se encontró en condiciones óptimas para su utilización en obras de ingeniería, ya que algunos de los resultados arrojados por las caracterizaciones realizadas se encuentran por fuera de los límites permitidos por las normas para la realización de mezclas de concreto. Además, de los resultados plasmados en la tabla 9, se puede inferir que el agua del río Magdalena a la altura del municipio de Calamar, es un agua con una gran turbidez.

Cabe destacar que el estado natural en que fue encontrada el agua de río Magdalena a la altura del municipio de Calamar no fue el mejor, ya que se notaba un agua muy turbia y de color no agradable a la vista ni conveniente para las mezclas de concreto, lo cual fue corroborado en los análisis realizados a dicha agua.

Por otro lado, esto no solo se da en el agua tomada del río a la altura del municipio de Calamar, ya que al compararlo con resultados de anteriores trabajos de investigación como se puede notar en la tabla 10, donde se estudiaron también las propiedades del agua del río Magdalena, extraída en diferentes municipios se obtuvieron condiciones muy similares. Esto nos permite inferir que esta agua desde ningún punto de vista debería ser utilizada para la construcción, sin un tratamiento previo.

Los parámetros que se podrían descartar como influyentes negativos en las mezclas de concreto son pH, alcalinidad, cloruros y dureza ya que se encuentran dentro de los límites permitidos en la norma tal como se puede apreciar en la tabla 9, en cuanto al resto se podría considerar que afectan a las mezclas de concreto porque se encuentran fuera de los límites o no se han definido límites para estos.



El agua de río se ve afectada por la presencia del agua potable, ya que, como se puede notar en la tabla 9, la mayoría de los parámetros reduce su concentración a medida que aumenta la proporción de agua potable, por consiguiente se puede deducir que si podría existir una proporción óptima entre el agua potable y el agua de río para la realización de mezclas de concreto, dicha proporción debería ser menor a las dadas en esta investigación.

6.4.2. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión

De los ensayos a compresión de los cilindros de concreto, se pudo observar que ninguna de las mezclas de concreto alcanzó la resistencia requerida; analizando los resultados mostrados en la gráfica 1 podemos deducir que la resistencia tuvo un comportamiento inversamente proporcional con respecto al agua de río, es decir que entre más agua de río tenía la mezcla, la resistencia a la compresión disminuía, siendo la mezcla con la combinación de 75% de agua potable y 25% de agua de río la que tuvo mejor resistencia y la mezcla con 100% agua de río la que obtuvo menor resistencia.

Se puede observar que la diferencia de resistencia entre la mezcla de concreto preparada con 100% agua de río y la preparada con 25% agua de río y 75% agua potable es altamente significativa, lo que significa que efectivamente no se puede hacer un concreto con solo agua de río, pero de todos modos la resistencia alcanzada por la mezcla preparada con 25% agua de río y 75% agua potable no es suficiente, ya que esta da solo un 85.587% como se muestra en la gráfica 2 y según la norma los concretos realizados con otro tipo de agua que no sea potable deben llegar al menos al 90% de la resistencia requerida.

También de la gráfica 2 se puede notar que en los estudios previos de Cicuco y Calamar 2012 a pesar de hacer los ensayos con solo agua de río, los valores de la resistencia del concreto fueron iguales e incluso mayores a los realizados en esta investigación con la mezcla preparada con la combinación de 75% agua potable y 25% agua de río. Esto pudo ser debido a que este estudio se realizó en la época en que hubo una gran sequía en Colombia de aproximadamente un año, haciendo que los ríos bajaran drásticamente su caudal y causando por consiguiente que algunos parámetros subieran sus valores



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



drásticamente, afectando así de manera negativa la resistencia a la compresión del concreto.

Al comparar estos resultados con los obtenidos en diferentes trabajos de investigación realizados por la universidad de Cartagena en pueblos ribereños al río magdalena confirma que no es recomendable preparar concretos con agua del río magdalena sin un tratamiento previo.



7. CONCLUSIONES

Después de realizar los ensayos propuestos en nuestro trabajo de investigación, como lo fueron los estudios físico-química del agua y los ensayos de resistencia a la compresión de nuestras muestras de concreto, podemos concluir:

Para la actualización de las características físico-químicas del agua del río magdalena extraída en el municipio de calamar, se compararon los resultados obtenidos, con resultados de investigaciones anteriores. De esta comparación podemos concluir que las características físico-químicas del agua, en la mayoría de los parámetros han variado considerablemente, siendo la turbidez, pH y la alcalinidad quienes han sufrido un incremento en comparación con los anteriores trabajos.

Además, que el agua del río magdalena extraída en el municipio de calamar no es óptima para su utilización en la mezcla de concreto, ya que tiene características que sobrepasan los límites permitidos por la norma (NTC 3459), siendo los SST los que más afectarían la resistencia del concreto ya que según la norma el agua para fabricar concretos no debe tener presencia de SST.

Por otro lado, hablando de las distintas combinaciones, que el agua del río magdalena aun en pocas concentraciones y combinada con agua potable en mayor proporción, no es beneficiosa para alcanzar la resistencia deseada en la mezcla de concreto como se mostró en las pruebas de resistencia a la compresión realizadas a los cilindros realizados con cada una de las combinaciones entre agua de río y agua potable, por lo que se descarta la utilización de agua de río combinada con agua potable en obras de ingeniería.



Parámetros	Calamar (2016)*				Calamar (2013)	Calamar (2012)	Zambrano (2012)	Mompox (2011)	Mompox (2010)	Talaigua (2010)	Cicuco (2010)	Magangué (2010)
	75%ap- 25%ar	65%ap- 35%ar	50%ap- 50%ar	100%ar								
pH	6.08	6.25	5.98	5.9	7,9	7,70	7,70	7,29	6,60	6,65	6,56	6,48
Turbidez, UNT	4.25	40.5	55	59.9	20,65	14,46	14,46	12,56	----	----	----	----
Alcalinidad (ml)	1.5	1.7	1.3	1.5	160	144	144,00	----	----	----	----	----
Cloruros, mg/L (CL ⁻)	23.992	21.993	17.994	9.996	10	10	10,00	----	37,94	39,41	39,37	40.06
Conductividad	109.15	111	114.4	118.45	----	----	----	----	----	----	----	----
DQO(Mg O ₂ /L)	25	30.5	52.5	62.23	----	----	----	----	----	----	----	----
Oxígeno disuelto (mg/L)	8.845	9.12	8.825	9.355	----	----	----	----	----	----	----	----
Dureza	1.8	1.9	1.8	2.0	----	----	----	----	----	----	----	----
Temperatura (°C)	29.5	29.5	29.5	29.5	----	----	----	----	----	----	----	----
SST(mg/L)	20.8	29.2	43.4	82	----	----	----	----	----	----	----	----
Coliformes fecales (nmp/100mL)	23.9	31.9	47.6	94	----	----	----	----	----	----	----	----
Grasas y aceites	0.062	0.087	0.15	0.24	----	----	----	----	----	----	----	----

Tabla 12. Comparación de resultados del agua del Río Magdalena con anteriores trabajos de grado.

Fuente: autores.



8. RECOMENDACIONES

- Ya que el municipio de Calamar no cuenta con un acueducto en óptimas condiciones, se hace prácticamente obligatorio utilizar el agua del Río Magdalena para preparar las mezclas de concreto, es recomendable tratar el agua con algún método para poder remover las impurezas que hacen que dicha agua no sea apta para hacer mezclas de concreto.
- Realizar la inclusión de algún tipo de aditivos (Plastificante o Acelerante) que mejore las condiciones mecánicas del concreto.
- Sería pertinente efectuar una recopilación de todas las conclusiones obtenidas en los diferentes trabajos de investigación realizados por el grupo de investigación ESCONPAT sobre la utilización del agua del río Magdalena en la mezcla de concreto.
- Realizar ensayos para validar los diseños estructurales y comprobar los estados actuales de las construcciones cuyos concretos han sido fabricados con agua del Río Magdalena.

Después de realizar este trabajo de investigación, se recomienda que trabajos como en esté, el cual se hizo en el municipio de Calamar se realicen en otros municipios, ya que proveen a la población de una información contundente dónde se demuestra con resultados de laboratorio, la carencia de calidad de las mezclas de concreto preparadas con agua del río Magdalena. Esto ayuda a concientizar a la ciudadanía e incitarlas a la implementación de recursos que ayuden al mejoramiento de las especificaciones de diseño de las mezclas de concreto, para tratar de solucionar o por lo menos disminuir en algo la problemática sobre las bajas resistencias de las mezclas de concreto.



9. BIBLIOGRAFIA

- ABAD, O., & TOUS, J. (2013). *ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO EN LA DISMINUCIÓN DE LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 3.000 Y 4.000 PSI CON DIFERENTES MARCAS DE CEMENTO DE LA REGIÓN, PREPARADOS CON AGUA DEL RIO MAGDALENA EN EL MUNICIPIO DE CALAMAR DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR.* . CARTAGENA.
- AMBIENTAL, I. -S.-G. (2010). DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRIA.
- ANDREO, M. (2015). *DEMANDA BIOLÓGICO DE OXÍGENO (DBO)*. OBTENIDO DE DEMANDA BIOLÓGICO DE OXÍGENO (DBO):
[HTTP://WWW.CRICYT.EDU.AR/ENCICLOPEDIA/TERMINOS/DBO.HTM](http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/dbo.htm)
- ARRAEZ, L. (2013). *CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS FISICOQUÍMICOS Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO ELABORADO CON AGUA DEL RIO MAGDALENA.* CARTAGENA: UNIVERSIDAD DE CARTAGENA.
- ASOCRETO. (2010). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO*. BOGOTÁ.
- BBC MUNDO. (14 DE OCTUBRE DE 2013). *EL CALENTAMIENTO GLOBAL INCREMENTARÁ LA INTENSIDAD DE EL NIÑO*. RECUPERADO EL 09 DE FEBRERO DE 2016, DE EL CALENTAMIENTO GLOBAL INCREMENTARÁ LA INTENSIDAD DE EL NIÑO:
[HTTP://WWW.BBC.COM/MUNDO/NOTICIAS/2013/10/131014_CIENCIA_COMO_EL_CALENTAMIENTO_GLOBAL_AFECTA_EL_NINO_CH](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/10/131014_ciencia_como_el_calentamiento_global_afecta_el_nino_ch)
- CABALLERO MATUTE, J. F., & URDA MARTINEZ, J. (2010). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL AGUA DEL RIO MAGDALENA COMO AGUA DE MEZCLADO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE 3000 Y 4000 PSI*. CARTAGENA.
- CARDIQUE. (2015). *REPORTE DE RESULTADOS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE MUESTRAS DE AGUAS*.
- CARLOS ANDRES CARMONA, A. E. (2011). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA DISMINUCIÓN DE PARTICULAS EN SUSPENSIÓN DEL AGUA DEL RIO MAGDALENA, SOBRE LA RESISTENCIA DE MEZCLAS DE CONCRETO DE 3000 Y 4000 PSI, EN EL MUNICIPIO DE MOMPOX*. MOMPOX.
- CARMONA SANJUAN, C. A., & PUERTA VERGARA, A. E. (2011). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA DISMINUCIÓN DE LAS PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN DEL AGUA DEL RIO MAGDALENA*. CARTAGENA.
- CONG MA, B. C. (2016). PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ESPUMADO QUE CONTIENE REPELENTE DE AGUA. *CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS*.
- CORRAL, J. T. (2009). LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN, CONDICIÓN NECESARIA PERO NO SUFICIENTE PARA EL LOGRO DE LA DURABILIDAD DE LAS OBRAS. *CIENCIA Y SOCIEDAD*.
- DIAZ RODRIGUES, B., RIOS ALVINCO, N., MURGA ALAYO, K., & ROBLES GONZALES, L. (ABRIL DE 2014). *INFLUENCIA DEL AGUA POTABLE, RÍO Y MAR EN LA RESISTENCIA A*



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



COMPRESION DEL CONCRETO... OBTENIDO DE INFLUENCIA DEL AGUA POTABLE, RÍO Y MAR EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO...:

[HTTP://REPOSITORIO.UPN.EDU.PE/XMLUI/BITSTREAM/HANDLE/11537/2995/INFLUENCIA%20DEL%20AGUA%20POTABLE.PDF?SEQUENCE=1](http://repositorio.upn.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/11537/2995/influencia%20del%20agua%20potable.pdf?sequence=1)

DURAN, J. D., & GIRALDO, W. F. (2012). *EVALUACION Y COMPARACION DE LA RESISTENCIA EN CONCRETOS PARA MEZCLAS DE 3000 Y 4000 PSI ELABORADAS CON AGUA DEL RIO MAGDALENA Y DEL ACUEDUCTO DE ZAMBRANO.*

EL UNIVERSAL. (13 DE 11 DE 2015). SERVICIO DE AGUA POTABLE EN BOLIVAR. *EL UNIVERSAL.*

GARCIA, H. L. (2007). *PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO DE CONCRETO PREPARADO CON AGUA CONTAMINADA CON CLORUROS.* CARTAGENA.

GIL MARTIN, L. M., & HERNANDEZ MONTES, E. (2007). *CONCRETO REFORZADO Y PREESFORZADO.* GRANADA.

GOBIERNO DE COLOMBIA. (24 DE JULIO DE 2014). *CAMPAÑA: USA RACIONALMENTE EL AGUA, ANTE LA SEQUÍA EN SECTORES DE COLOMBIA.* RECUPERADO EL 09 DE FEBRERO DE 2016, DE *CAMPAÑA: USA RACIONALMENTE EL AGUA, ANTE LA SEQUÍA EN SECTORES DE COLOMBIA:* [HTTP://WWW.URNADECRIITAL.GOV.CO/GESTION-GOBIERNO/USA-RACIONAL-AGUA-ANTE-SEQUIA-EN-COLOMBIA](http://www.urnaDecristal.gov.co/gestion-gobierno/usa-racional-agua-ante-sequia-en-colombia)

GUZMAN, D. S. (2001). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO.* BOGOTA: BHANDAR EDITORES LTDA.

HERNÁNDEZ, S. Y. (2008). [HTTP://METODOLOGIA2012.BLIGOO.CL/MEDIA/USERS/23/1179686/FILES/332545/12CAP_MI5ACD.PDF.](http://metodologia2012.bligoo.cl/media/users/23/1179686/files/332545/12c_ap_mi5acd.pdf)

HOLCIM MEXICO. (2015). [HTTP://WWW.HOLCIM.COM.MX/PRODUCTOS-Y-SERVICIOS/CONCRETO.HTML.](http://www.holcim.com.mx/productos-y-servicios/concreto.html) RECUPERADO EL AGOSTO DE 2015, DE [HTTP://WWW.HOLCIM.COM.MX/PRODUCTOS-Y-SERVICIOS/CONCRETO.HTML:](http://www.holcim.com.mx/productos-y-servicios/concreto.html) [HTTP://WWW.HOLCIM.COM.MX/PRODUCTOS-Y-SERVICIOS/CONCRETO.HTML](http://www.holcim.com.mx/productos-y-servicios/concreto.html)

[HTTPS://WWW.INSPIRATION.ORG/CAMBIO-CLIMATICO/EFECTO-INVERNADERO.](https://www.inspiration.org/cambio-climatico/efecto-invernadero) (2009). *CAMBIO CLIMATICO.* RECUPERADO EL 13 DE 11 DE 15, DE *CAMBIO CLIMATICO:* [HTTPS://WWW.INSPIRATION.ORG/CAMBIO-CLIMATICO/EFECTO-INVERNADERO](https://www.inspiration.org/cambio-climatico/efecto-invernadero)

JOSE FELIX CABALLERO, J. U. (2010). *ANALISIS DE LA INFLUENCIA DEL AGUA DEL RIO MAGDALENA COMO AGUA DE MEZCLADO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE 3000 Y 4000 PSI.*

MENDEZ DURAN, J. D., & ORTIZ GIRALDO, W. (2012). *EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA EN CONCRETOS PARA MEZCLAS DE 3000 Y 4000 PSI ELABORADAS CON AGUA DEL RIO MAGDALENA Y EL ACUDUCTO DEL MUNICIPIO DE ZAMBRANO.* CARTAGENA.

PANARESE, K. (1994). *DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO.*

RIVERA, G. A. (2006). *CONCRETO SIMPLE.* POPAYAN.



Evaluación de la resistencia a la compresión para mezclas de concretos de 3000 psi elaboradas con combinaciones de agua del río Magdalena y de agua potable a distintas proporciones.



- RODOLFO JOFRE MELENDEZ, J. C. (2015). *CALIDAD DEL AGUA DE LA NIEBLA CAPTADA ARTIFICIALMENTE EN LA MICROCUENCA DEL RIO PIXQUIAC, VERACRUZ MEXICO. VERACRUZ.*
- ROJAS, A. V., GONZALES DIAZ, F., ROCHA CHIU, L., & FLOREZ BUSTAMANTE, J. (ABRIL DE 2001). *ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON AGUA TRATADAS. RECUPERADO EL 13 DE 11 DE 2015, DE ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON AGUA TRATADAS: [HTTP://WWW.IMCYC.COM/REVISTA/2001/ABRIL2001/CONCRETOS.HTM](http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/concretos.htm)*
- SANCHEZ, L. J. (2013). *CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y LA. CARTAGENA.*
- SHINGO, S. (1981). *STUDY OF TOYOTA MANUFACTURING SYSTEM.*
- UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA "JOSE SIMEON CAÑAS" UCA. (2014). *DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO. SAN SALVADOR - EL SALVADOR.*
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (UNI). (2003). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO PARA RESIDENTES SUPERVISORES Y PROYECTISTAS.*
- VAGN C. JOHANSEN, W. A. (2002). *PORQUÉ LA QUÍMICA INTERESA EN EL HORMIGÓN? ACI CONCRETE INTERNATIONAL.*