



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**

**TRABAJO DE GRADO**  
**INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A LA**  
**COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO**

**ELABORADO**

**POR:**

**ANDRES FELIPE LEÓN RIVERA**  
**CRISTIAN ENRIQUE REYES LOZANO**

**COD. 505053**  
**COD. 505188**

**DOCENTE ASESOR:**  
**ING. INGRID MARILYN SILVA ROJAS**

**BOGOTÁ, D. C. 31 DE OCTUBRE DE 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO

GUÍA DE TRABAJO

INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE  
MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A  
LA COMPRESIÓN DE CONCRETO  
HIDRÁULICO

FECHA: 31 de Octubre de 2018

VERSIÓN 1

Página 2 de 87



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

**Bajo las condiciones siguientes:**



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar queremos agradecer a Dios quien es el principal gestor de este logro tan importante para nuestras vidas, quien nos fortaleció e iluminó no solo en este trabajo si no durante toda nuestra etapa universitaria.

A nuestros padres y familiares, quienes nos apoyaron durante todo momento y a pesar de tantos obstáculos y adversidades.

A la ingeniería Ingrid Marilyn Silva quien fue nuestra guía durante todo este proceso de la tesis.

A la ingeniería Marisol Nemocon Ruiz, quien fue nuestra más grande guía desde el primer día de nuestras carreras hasta la fecha. Docente, consejera y amiga.



## INDICE

DESCRIPCION.....	PAG
1.TÍTULO.....	12
2.ALTERNATIVA.....	13
3.LÍNEA DE INVESTIGACION.....	14
4.INTRODUCCIÓN.....	15
5.ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	17
6.PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	24
7.MARCO DE REFERENCIA.....	26
7.1. MARCO TEÓRICO.....	26
7.2.ESTADO DEL ARTE.....	30
7.3.MARCO CONCEPTUAL.....	33
7.3.MARCO CONCEPTUAL.....	33
7.4.MARCO LEGAL.....	35
8.OBJETIVOS.....	37
8.1.OBJETIVO GENERAL.....	37



8.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	37
9.ALCANCES Y LIMITACIONES.....	38
9.1.ALCANCES.....	38
9.2.LIMITACIONES.....	38
10.METODOLOGIA .....	40
10.1.DISEÑO METODOLÓGICO.....	41
10.1.1. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO.....	41
10.1.1.1.NTC 77 MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.....	43
FIGURA 6. GRAFICA GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO.....	47
10.1.1.2.NTC 92 MASA UNITARIA AGREGADOS.....	49
10.1.1.3.NTC 176 DENSIDAD Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO.....	52
10.1.1.4. NTC 237 DENSIDAD Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO.....	54
10.1.1.5.DETERMINACIÓN PH AGUA PARA LA MEZCLA DE CONCRETO CON PH ACIDO, PH BÁSICO Y PH NEUTRO.....	56
10.2.DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO.....	58



10.2.1.CONTENIDO DE AIRE DE ACUERDO AL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO Y DETERMINACIÓN DE AGUA.....	59
10.2.1.DETERMINACIÓN DE RELACIÓN AGUA CEMENTO DE ACUERDO A LA RESISTENCIA LA COMPRESIÓN DEL DISEÑO.....	60
10.2.1.DETERMINACIÓN DE AGREGADOS POR UNIDAD DE VOLUMEN.....	61
10.2.2.PROPORCIONES DE MATERIAL PARA MEZCLA DE CONCRETO. ....	63
10.3.ELABORACIÓN MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO. ....	64
10.4.DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LA MUESTRA DE CONCRETO HIDRÁULICO. ....	64
11.ANALISIS DE RESULTADOS.....	66
12. CONCLUSIONES .....	81
13. BIBLIOGRAFÍA.....	82



## LISTA DE FIGURAS

DESCRIPCION .....	<u>PAG</u>
FIGURA 1. CORROSIÓN DEL REFUERZO (ECHEVERRY, 2014) .....	31
FIGURA 2. CORROSIÓN POR CARBONATACIÓN .....	32
FIGURA 3. MAPA CONCEPTUAL CONCRETO .....	33
FIGURA 4. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO. ....	45
FIGURA 5. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO. ....	45
FIGURA 6. GRAFICA GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO. ....	47
FIGURA 7. GRAFICA GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO .....	49
FIGURA 8. ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO. ....	53
10.1.1.4. NTC 237 DENSIDAD Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO .....	54
FIGURA 9. ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO. ....	55
FIGURA 10. P.H. TOMADO.....	58
FIGURA 11. FALLO A COMPRESIÓN PH ACIDO A 7 DÍAS .....	68
FIGURA 12. FALLO A COMPRESIÓN PH ACIDO A 14 DÍAS .....	68
FIGURA 13. FALLO A COMPRESIÓN PH ACIDO A 28 DÍAS .....	69
FIGURA 14. FALLO A COMPRESIÓN PH NEUTRO A 7 DÍAS.....	71



FIGURA 15. FALLO A COMPRESIÓN PH NEUTRO A 14 DÍAS.....	71
FIGURA 16. FALLO A COMPRESIÓN PH NEUTRO A 28 DÍAS.....	72
FIGURA 17. FALLO A COMPRESIÓN PH BÁSICO A 7 DÍAS .....	74
FIGURA 18. FALLO A COMPRESIÓN PH BÁSICO A 14 DÍAS .....	74
FIGURA 19. FALLO A COMPRESIÓN PH BÁSICO A 28 DÍAS .....	75
FIGURA 20. GRAFICA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN P.H. ACIDO VS P.H. NEUTRO.....	76
FIGURA 21. GRAFICA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN P.H. BASICO VS P.H. NEUTRO.....	78
FIGURA 22. GRAFICA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN P.H. BÁSICO VS P.H. ACIDO.....	78



## LISTA DE TABLAS

DESCRIPCION.....	PAG12
TABLA 1. REQUISITOS DE GRADACIÓN.....	44
TABLA 2. CARACTERÍSTICA DE AGREGADO FINO DATOS Y CÁLCULO DE GRANULOMETRÍA CON PARÁMETROS LÍMITE INFERIOR Y SUPERIOR.....	46
TABLA 3. CARACTERÍSTICA DE AGREGADO GRUESO DATOS Y CÁLCULO DE GRANULOMETRÍA CON PARÁMETROS LÍMITE INFERIOR Y SUPERIOR.....	48
TABLA 4. REGISTRO MASA Y VOLUMEN PARA CÁLCULO DE PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO FINO.....	50
TABLA 5. REGISTRO MASA Y VOLUMEN PARA CÁLCULO DE PESO UNITARIO COMPACTO AGREGADO FINO.....	51
TABLA 6. REGISTRO MASA Y VOLUMEN PARA CÁLCULO DE PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO GRUESO.....	51
TABLA 7. REGISTRO MASA Y VOLUMEN PARA CÁLCULO DE PESO UNITARIO COMPACTO AGREGADO GRUESO.....	52
TABLA 8. CONSOLIDACIÓN PESO UNITARIO.....	52
TABLA 9. REGISTRO DATOS Y CÁLCULOS DE DENSIDAD Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESA.....	54
TABLA 10. REGISTRO DATOS Y CÁLCULOS DE DENSIDAD Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO.....	55



TABLA 11. REGISTRO VALOR QUÍMICO Y VOLUMEN PARA AGREGAR.....	57
TABLA 12. DETERMINACIÓN DE AGUA Y CONTENIDO DE AIRE .....	59
TABLA 13. ESTIMACIÓN AIRE Y AGUA DISEÑO DE MEZCLA. ....	60
TABLA 14. RELACIÓN AGUA CEMENTO DISEÑO DE MEZCLA .....	61
TABLA 15. COEFICIENTE DE AGREGADO POR UNIDAD DE VOLUMEN. ....	62
TABLA 16. CANTIDAD MATERIAL PARA MEZCLA DE CONCRETO PARA 1 M3.	62
TABLA 17. PROPORCIÓN DE CANTIDAD PARA MEZCLA DE DISEÑO. ....	63
TABLA 18. CARACTERIZACIÓN DE CILINDRO DE CONCRETO. ....	65
TABLA 19. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PH ACIDO .....	67
TABLA 20. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PH NEUTRO.....	70
TABLA 21. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PH NEUTRO.....	70
TABLA 22. CUMPLIMIENTO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PH NEUTRO	72
TABLA 21. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PH BÁSICO. ....	73
TABLA 23. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PH BÁSICO. ....	73
TABLA 23. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PH BÁSICO. ....	73



TABLA 24. CUMPLIMIENTO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PH BÁSICO  
75

TABLA 25. RELACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN P.H. ACIDO VS  
P.H. NEUTRO..... 79

TABLA 26. RELACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN P.H. BÁSICO VS  
P.H. NEUTRO..... 79

TABLA 27. RELACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN P.H. BÁSICO VS  
P.H. ACIDO..... 79



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO

GUÍA DE TRABAJO

INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE  
MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A  
LA COMPRESIÓN DE CONCRETO  
HIDRÁULICO

FECHA: 31 de Octubre de 2018

**VERSIÓN 1**

**Página 12 de 87**

## **1.TÍTULO.**

INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A LA  
COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO.



## 2.ALTERNATIVA

Teniendo en cuenta el acuerdo 213 del año 2015 de la Universidad Católica de Colombia, donde se establece las alternativas de trabajo de grado en los programas de pregrado en el área de ingeniería; se ha optado por la alternativa de trabajo de investigación, donde se analizará el comportamiento que presentara un concreto al diseñarse con aguas cuyo pH variará en función de la resistencia que esté presente.



### **3.LÍNEA DE INVESTIGACION**

El trabajo de grado está enmarcado dentro de la línea de investigación aprobada por la Universidad Católica de Colombia, denominada comportamiento de materiales, permitiendo analizar si en efecto el agua de mezclado altera o no la resistencia a la compresión de un concreto.

#### **EJE TEMÁTICO.**

El eje central de investigación será en la línea de los materiales donde se realizará una comparación entre las características iniciales y características finales de un concreto, donde el único parámetro que variará será el pH del agua de mezclado.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>GUÍA DE TRABAJO</p> <p>INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 31 de Octubre de 2018</p> <p>VERSIÓN 1</p> <p>Página 15 de 87</p>
--	---	---

#### 4.INTRODUCCIÓN.

El concreto es un material resultante de la mezcla de agua, cemento, agregados y aditivos (en ocasiones), que se emplea generalmente para la elaboración de estructuras diseñadas para soportar peso o grandes esfuerzos de carga. Esto se consigue gracias a que cuando este está fresco, se le puede dar casi cualquier forma posible y a medida que empieza a endurecerse, presenta características muy notables como que es duradero a lo largo del tiempo y la más importante, resiste esfuerzos mecánicos como los producidos por la compresión.

En Colombia, el concreto es un material que lleva más de un siglo, presente en las diferentes obras de construcción sin importar su magnitud. Se puede decir, que forma parte fundamental de la cultura constructiva del país, ya los materiales que lo conforman (arena, grava, cemento y agua) se pueden encontrar y/o producir (el cemento es el producto de la calcinación de la cal y la arcilla)<sup>1</sup> en diferentes partes del territorio nacional y el método de consecución es conocido por casi cualquier persona, por ende es uno de los materiales de mayor uso.

No todos los concretos sirven para lo mismo, con forme avanza el tiempo, se han venido desarrollando diferentes métodos de consecución del concreto, donde mediante la modificación de los parámetros de algunos de los componentes del

---

<sup>1</sup> Sanjuan Barbudo, M (2004), INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN Y NORMALIZACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND. San Vicente del Raspeig: UNED.



concreto, da como resultado, concretos más óptimos para las diferentes necesidades que se desean suplir mediante el uso de este material. Desde el suministro de aditivos a la mezcla, pasando por la variación del tipo y cantidad de agregados, hasta el tipo de cemento, se realizan modificaciones en el diseño de la mezcla a fin de que el concreto conseguido cumpla con unas características especiales para las cuales se va a emplear.

Ahora bien, el agua juega un papel fundamental en esta mezcla, ya que se cree, que la resistencia del concreto estar determinada en gran parte por la relación agua-cemento, con que cuente la mezcla, es decir, la característica más importante del concreto, por la cual casi siempre se emplea en la construcción, depende directamente del agua de mezclado, posesionando así al agua de mezclado como un elemento fundamental y de mucha importancia a la hora de la elaboración de un concreto.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Orozco, E (2014), Variables que afectan la resistencia del concreto, ¿cómo controlarlas?. [online] Blog 360 grados en concreto.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>GUÍA DE TRABAJO</p> <p>INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 31 de Octubre de 2018</p> <p>VERSIÓN 1</p> <p>Página 17 de 87</p>
--	---	---

## 5.ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

El concreto es un material de construcción que se ha empleado por décadas en Colombia y puede ser considerado un elemento esencial en cuanto al crecimiento constructivo en la cultura colombiana. Y aunque la evolución tecnológica está más relacionada con el cemento, con el transcurso del tiempo, y las diferentes situaciones en las cuales se ve enfrentado constantemente el desarrollo constructivo, el agua se ha convertido en un factor que se debe considerar y evaluar en la mezcla para la elaboración de concreto hidráulico. (Variables que afectan la resistencia del concreto, ¿Cómo controlarlas?)<sup>3</sup>. Como muestra de esto se han realizado variedad de estudios, donde se evidencia una serie de resultados, donde el principal actor es el agua, ya sea por su cantidad, calidad o composición.

Uno de los estudios y análisis más representativos, referente al tema, es un estudio realizado en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, llamado “aplicaciones del agua en la ingeniería civil”<sup>4</sup>, realiza un análisis de una magnitud considerable acerca del agua que se debe emplear para la construcción, tocando parámetros como lo son las fuentes de consecución, algunas características físico-

---

<sup>3</sup> Orozco, E. (2017), Variables que afectan la resistencia del concreto, ¿cómo controlarlas?. [online] Blog 360 grados en concreto.

<sup>4</sup> Valdez, V. (2017), EL AGUA PARA CONSTRUCCION. [online] Academia.edu.



químicas, entre otros. Donde únicamente arroja datos y características con las que debe contar el líquido para emplearse, pero sin ningún tipo de justificación.

En cuanto al pH (potencial de hidrógeno), se debe decir, que es coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una sustancia que puede ser modificada mediante la adición de sustancias que generen mayor o menor grado de acidez (Ej. para aumentar el pH del agua se le puede adicionar Cal, o por el contrario, para disminuirlo se le puede agregar vinagre o bebida de cola)<sup>5</sup>, es entonces como el pH al ser un factor determinante, su modificación aunque puede ser sencilla, puede generar resultados muy relevantes en el uso que se le dé, en este caso en la consecución de concreto. A pesar de esto, el agua de mezclado no tiene una normatividad clara y definida, solo se sabe que si se emplean aguas con altos niveles de sal o pH alto (por ej. Mar) los altos niveles de cloruros que tiene, afectan a la reacción química de hidratación del cemento, generando moléculas diferentes y que no dan la resistencia necesaria, o incluso hacen que se desunen los componentes; o si se emplean aguas “impuras” o, contaminadas, estas tendrán un efecto negativo sobre el concreto, que aunque puede que no se evidencien a corto plazo, fenómenos como la carbonatación del concreto, se pueden ver ligados directamente con el empleo de este tipo de aguas de mezclado para la elaboración de concreto.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Henry, J & Heinke, G (1999), INGENIERIA AMBIENTAL. Pearson Educación : México

<sup>6</sup> Göran Hedenblad. (1997). Drying of Construction Water in Concrete: Drying Times and Moisture Measurement. Statens råd för byggnadsforskning (Sweden): Swedish Council for Building Research.



El mayor análisis que se le realiza a este parámetro en el concreto, se ve presente como un agente externo que puede atacar a la estructura ya conformada. Es decir, el pH característico de una sustancia, como afecta (generalmente de forma negativa) a los componentes del concreto y posterior a esto, se ve reflejado en pérdidas de resistencia o incluso fallas. Este tema fue tratado en una tesis doctoral presentada en la universidad Politécnica de Madrid, llamada “corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: zona de carrera de mareas y zona sumergida”<sup>7</sup>, donde se hace un especial énfasis en las repercusiones que tiene no solo la salinidad del agua de mar, sino que además el pH tan alcalino que maneja (8,0), afecta por carbonatación al concreto y por corrosión a su respectiva armadura en acero.

El empleo del agua para la elaboración (mezclado) de concreto se basa en que esta responde de forma química con el cemento desatando a su vez una serie de reacciones en cadena (resaltando características como que se eleva la temperatura, cambia la textura, entre otras) que tienen como fin el endurecimiento de la pasta a medida que transcurre el tiempo. Se puede afirmar que la relación agua-cemento es uno de los principales factores para el óptimo desarrollo de la característica fundamental del concreto, la resistencia, por esto, cuando se tiene más agua de la necesaria en la mezcla y se satura, pierde la resistencia o se disminuye, si por el contrario se tiene menos agua, no se logra que el cemento reaccione de forma homogénea y si no se aplica un aditivo que facilite la manejabilidad, se puede estar,

---

<sup>7</sup> Bermúdez Odriozola, (2007). Corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: zona de carrera de mareas y zona sumergida. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM).



también, afectando la resistencia. Es decir, la cantidad óptima de agua que se debe emplear se puede graficar como una campana de Gauss, donde sí se pasa del punto óptimo o por el contrario no se alcanza a llegar, la resistencia no será la más adecuada.<sup>8</sup>

Todas las características de los elementos que se van a emplear, generalmente se encuentran normalizadas y científicamente comprobadas, aunque este concepto varía de acuerdo a la región en la cual se esté ubicado. La NTC (Norma Técnica Colombiana) 3459, habla únicamente las características cualitativas con las cuales debe contar el agua que se va a emplear para la mezcla en la elaboración de concreto, que sea de apariencia limpia, la no presencia de sustancias como aceites, sales, ácidos u otros; son algunas de las características que la NTC propone como lineamiento para la caracterización del agua que se va a emplear, pero ninguna de las anteriores tiene un rango cuantitativo de aceptación o rechazo para evaluar este recurso. La NTP (Norma Técnica Peruana) 339.088, habla a gran detalle sobre las características físico-químicas que debe manifestar el agua, que se va a emplear para la elaboración de concreto o mortero, según sea el caso. Entre los diferentes parámetros se puede evidenciar el rango del pH en el cual se debe encontrar el agua que se va a utilizar.

Conforme ha transcurrido el tiempo, y tanto la tecnología, como la consciencia ambiental ha venido en aumento, se han implementado un sin número de proyectos en los cuales se busca relacionar los dos conceptos ya nombrados, sin alejarse de

---

<sup>8</sup> Osorio, J (2010). Hidratación del concreto: agua de curado y agua de mezclado - Blog 360 grados en concreto. [online] Blog 360 grados en concreto.



uno de los principales objetivos de la ingeniería (reducir costos optimizando recursos), en pro del desarrollo de diferentes proyectos de ingeniería.

- “La elaboración de concreto con aguas lluvias”<sup>9</sup>, es un proyecto desarrollado en la ciudad de Ibagué, donde su principal objetivo es evaluar el agua lluvia y posteriormente emplearla para la elaboración de concreto, tomando datos fisicoquímicos del tipo de agua que se está utilizando frente a un patrón (agua potable).
- “Avances en el desarrollo de concretos translucidos”, donde con el fin de disminuir el uso de luz eléctrica permitiendo la entrada de luz natural a las estructuras, se modifique como tal las características o los mismos materiales para lograr dicho propósito.
- “Evaluación de Jugo de Fique como aditivo oclisor de aire”, donde se quería verificar el efecto aire ante presente en la mezcla y posteriormente su resistencia en su fase compacta y sólida, al introducir un nuevo agente en la composición del concreto y así modificando su “normal funcionamiento”.

---

<sup>9</sup> Ramírez Arcila, H. and Ospina Zúñiga, O. (2017), “Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia”. Ingeniería Solidaria, vol. 10, n.º 17, pp. 125-138, en.-dic., 2014.



Entre muchos otros más, son proyectos que como se evidencia, buscan a partir de lo que se tiene en la actualidad, re direccionarlo con un nuevo enfoque de las metodologías que se emplean para la consecución de resultados estimados, donde se relaciona el medio ambiente y la tecnología en el avance de la elaboración de mezclas de concreto hidráulico aun cuando la elaboración del mismo no sea la más óptima y sea necesaria una resistencia específica.

Ahora bien, Colombia es un país que por su extensa y abundante riqueza hídrica, cuenta con el agua en muchas formas, y sumándole a esto que en un mayor porcentaje, el territorio nacional está caracterizado por ser rural y en muchos de los lugares, de difícil acceso, se tiende a emplear los recursos con los que se cuente en el sitio, siendo todas las fuentes hídricas los principales puntos de abastecimiento de los elementos que se necesiten (agua y en ocasiones agregados) para el desarrollo de las obras que se vayan a construir, basándose netamente en conceptos teóricos y aplicándolos de la forma más idónea posible. Desde luego, el impacto que este generaría, sería sumamente importante no solo para la ingeniería civil y la construcción, si no para el desarrollo en general de la sociedad, cuidado del medio ambiente, aprovechamiento óptimo y eficiente de los recursos con los que se cuente en el momento. Dando así un paso gigantesco y posesionando a la rama de la ingeniería como una fuerza que, aunque busca el crecimiento en pro del ser humano, reconoce al medio ambiente y busca cuidarlo la reducir el impacto que su actividad genera en este.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>GUÍA DE TRABAJO</p> <p>INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 31 de Octubre de 2018</p> <p><b>VERSIÓN 1</b></p> <p>Página 23 de 87</p>
--	---	--

Manipular el pH del agua de mezclado no solo puede ser fundamental en la consecución del tipo de concreto que se quiera generar. Reconocer este parámetro como un ítem de prioridad y el saber que SE PUEDE MODIFICAR, facilita la obtención del agua de mezclado como material de construcción, al considerar fuentes presentes en el sitio de la obra, cuyo resultado no solo se verá reflejado en presupuesto de la obra, sino que también generaría un impacto ambiental al reciclar aguas que por diferentes motivos no sean aptas para el consumo humano.



## 6. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿La alteración del pH del agua de mezclado influye en la resistencia a compresión del concreto hidráulico?

El concreto es conocido porque cuenta con la característica de soportar grandes esfuerzos a compresión, que su resistencia también depende directamente de su composición, que se puede alterar su resistencia mediante la modificación de parámetros de los componentes que lo constituyen y que el uso equivocado de algún material que lo componga, puede afectar directa o indirectamente en la función para la cual se vaya a emplear.

El cemento ha tenido una evolución notable y que conforme transcurre el tiempo ha crecido en cuanto la tecnología que lo compone para obtener mejores resultados. Los agregados, se han evaluado y se encuentra debidamente clasificados en la NTC 174 y se emplean de acuerdo al uso que se le quiera dar al concreto, un sin número de aditivos para modificar características antes, durante y después del proceso de elaboración del concreto se ven presentes en el mercado cada uno con su respectiva ficha técnica y aprobación para su uso. Pero el agua, a pesar de estar



descrita en la norma NTC 3459, presenta características netamente cualitativas, donde se analizan parámetro como que el agua debe estar libre de aceites, ser clara, limpia, entre otras; y aunque dice que no debe tener presencia de sales o ácidos, (porque pueden ser dañinos para el concreto o para el refuerzo), no da un rango en el cual la presencia de sales o ácidos este o no permitida en el agua de mezclado, ya que la presencia de dichos elementos en el agua, siempre va a estar, aunque no en las mismas cantidades. Que el agua este clara y de apariencia limpia, se puede lograr fácilmente mediante la aplicación de químicos como el cloruro férrico, la eliminación de aceites presentes se puede lograr por densidad (ya que el aceite es menos denso que el agua) se puede recoger, la presencia de materiales orgánicos y otros elementos (solidos) se pueden retener mediante filtros, pero la presencia de sales y/o ácidos (que es el mismo pH) es una se presenta claramente como un parámetro que actúa desde una parte química en la alteración del concreto, se debe evaluar si al igual que los anteriores parámetros, mediante su alteración se puede o no lograr el uso de esta agua en el mezclado del concreto y que si su modificación afecta o no la resistencia del mismo para su posterior empleo.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>GUÍA DE TRABAJO</p> <p>INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 31 de Octubre de 2018</p> <p><b>VERSIÓN 1</b></p> <p>Página 26 de 87</p>
--	---	--

## 7.MARCO DE REFERENCIA

### 7.1. MARCO TEÓRICO.

El concreto es uno de los materiales que, por lo general, es de los más utilizados en cuanto a la industria constructiva colombiana se refiere. Este se puede definir como un material compuesto formado por una sustancia o polvo pegante, agregados, agua y en ocasiones aditivos. Esta mezcla siempre es diseñada en función de la utilidad o el esfuerzo al cual va a ser sometido el material, cuando esté funcionando en estado sólido. El parámetro que tiende a caracterizar al concreto está determinado por la resistencia que este puede ofrecer en su estado final de consecución. La durabilidad se debe considerar para incrementar la vida útil de la obra, evitar costosas reparaciones, brindar mayor seguridad en las estructuras y generar confianza en la construcción de obras sometidas a ambientes agresivos; sin descuidar factores de primer orden como salvaguardar la vida, económica y proteger el patrimonio de la sociedad.

La sustancia o el polvo pegante que se emplea en esta mezcla, por lo general es el cemento Portland. El cemento está conformado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas a esto se le llama también Clinker y si a esta mezcla le suma yeso molido se logra finalmente lo que se conoce como cemento, que tiene la peculiar característica de que al tener contacto con el agua, genera una serie de reacciones en cadena de orden físico-químico, donde los



cambios más notorios inmediatamente inicia el contacto, se pueden definir como el cambio de textura, color y un aumento en la temperatura.

El agua para la mezcla de concreto cumple dos funciones, la primera es hidratar el cemento y desencadenar la reacción química y la segunda es darle manejabilidad a la mezcla. No toda el agua que se emplea en la mezcla reacciona de forma inmediata con el cemento, gran parte de esta se evapora por las altas temperaturas que se generan en la reacción, al evaporarse esta agua, deja unos vacíos que posteriormente disminuye la resistencia de concreto

El pH o potencia de hidrógeno se define como la concentración de iones de hidrógeno presentes en una sustancia, busca medir el nivel de acidez o alcalinidad con la cual cuenta la solución. A la mayoría de las sustancias que se encuentran presentes en la tierra, se les puede determinar su nivel de pH si cuenta con una temperatura adecuada para esto. Para la clasificación de la sustancia de acuerdo a su pH, existe una tabla de valores la cual va de 0 hasta 14, dividido de la siguiente manera: una sustancia se considera acida si su pH está entre el rango de 0 a 7, si la sustancia esta entre 7 a 14 se le considera una sustancia básica o alcalina y si una sustancia marca 7 con alguna incertidumbre se le puede determinar cómo neutra. Para hacer la transición de pH de una sustancia, se pueden utilizar sus opuestos, es decir, si tengo una solución acida y le aplico base, esta disminuirá su acidez en función de la cantidad de ácido que se le aplique y viceversa pasando por un valor neutro de pH.



El empleo de aguas con altos niveles de cloruros con pH mayores a 12, genera corrosión de la estructura (el acero del concreto armado) y aunque es un proceso lento, se presenta de forma uniforme lo que acelera a su vez la presencia de grietas y reduce la vida útil de la estructura.<sup>10</sup>

Si existe carbonatación en el concreto, se puede asumir directamente que el pH del concreto esta elevado, y en términos de durabilidad, este parámetro se debe mantener pasivo evitando contacto alguno con el acero que compone el concreto armado, una vez este reaccione con el acero, este empezará a presentar corrosión lo que disminuye significativamente la resistencia de la estructura<sup>11</sup>

Re alcalinizar el concreto que presenta carbonatación, se convierte en una solución muy práctica que si se realiza de una manera adecuada, puede revertir los efectos de la carbonatación y se evita la posterior corrosión del acero, pero se debe tener en cuenta también que una re alcalinización en exceso puede desunir las partículas

---

<sup>10</sup> Moreno, 2004, Efecto de la relación agua/cemento en la velocidad de carbonatación del concreto utilizando una cámara de aceleración. Ingeniería [en línea] 2004

<sup>11</sup> Moreno, 2006, Determinación del pH de la solución de los poros de concreto después de un proceso acelerado de carbonatación. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 10-3, pp.5-12, ISSN: 1665-529X



y surgiría un efecto similar al perder resistencia el concreto por alteración de su conformación.<sup>12</sup>

El medio es como se le determina al lugar en el cual se encuentra el material o sustancia, este influye directamente en las características con las que cuenta su producto ya que, por lo general, las condiciones climáticas y otros factores alteran lo que se encuentre presente en este punto. La mayoría de las estructuras, generalmente, está expuesta a los diferentes agentes ambientales que puede o no atacar de forma directa a las estructuras. Determinar el pH de una superficie de concreto que previamente fue atacada por ácidos, arroja un primer diagnóstico sobre las condiciones de la estructura y mediante un óptimo análisis de este parámetro se pueden tomar correctivos, de ser necesarios, para el cuidado y bienestar de la estructura. NTC 3689

Los sulfatos son agentes que atacan de forma directa las estructuras de concreto, mediante una influencia corrosiva en la misma. Reconocer la presencia de dicho agente, detenerlo y prevenir el contacto de esta con la estructura, no solo previene la carbonatación y posterior corrosión de la estructura, sino que además garantiza el

---

<sup>12</sup> González, (2010), Realcalinización electroquímica del concreto reforzado carbonatado: una opción de prevención contra la corrosión. Doctorado thesis, Universidad Autónoma de Nuevo León.



óptimo desempeño de la estructura y pueda así cumplir las funciones para las cuales fue diseñado y construido.<sup>13</sup>

## 7.2.ESTADO DEL ARTE

Esta investigación surge a partir del análisis que se realizó comparando la norma técnica peruana (NTP), frente a la norma técnica colombiana (NTC), donde a pesar de que las dos normas dedican un numeral únicamente para el agua de mezclado, la NTP describe valores cuantitativos y mucho más exactos que la NTC, que solo describe valores cualitativos, con los que el agua de mezclado debe contar, para ser utilizada en la mezcla para la consecución de concreto. Partiendo de que la resistencia del concreto está ligada directamente en su relación con el agua de mezclado<sup>14</sup>, se puede determinar la importancia de las características con las que el agua de mezclado debe tener, a fin de que no altere de forma negativa la resistencia del concreto.

Los carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio tienen diferentes efectos sobre el tiempo de fraguado de diferentes cementos. El efecto adverso de los iones cloruro sobre la corrosión de la armadura (refuerzo) es la principal razón de preocupación a respecto del contenido de cloruros en el agua usada para la preparación del concreto. Los altos niveles de sulfatos en el agua de mezclado generan reacciones expansivas potenciales y al deterioro por ataque de sulfatos en la estructura. Las

---

<sup>13</sup> Martínez, (2015), Evaluación de la Influencia del SO<sub>2</sub> como agente corrosivo en estructuras de concreto. [online] Ptolomeo.unam.mx.

<sup>14</sup> Orozco, 2014, Variables que afectan la resistencia del concreto, ¿cómo controlarlas?. [online] Blog 360 grados en concreto.



sales de hierro presentes en el agua de mezclado, aunque no afectan la resistencia del concreto, si su aspecto. Las impurezas orgánicas en el agua de mezclado, genera efectos negativos en la resistencia última del hormigón, mientras que las inorgánicas puede disminuir la resistencia inicial y continua del concreto. Las aguas de mezclado acidas generan problemas de manejabilidad.

Las siguientes imágenes (figura 1 y figura 2) son el reflejo de la alteración del concreto por agua de mezclado, y se evidencia la importancia de analizar dicho parámetro.

Figura 1. Corrosión del refuerzo (Echeverry, 2014)



Fuente. Sagüés, A. A., and Powers, R. (1997)



Figura 2. Corrosión por carbonatación

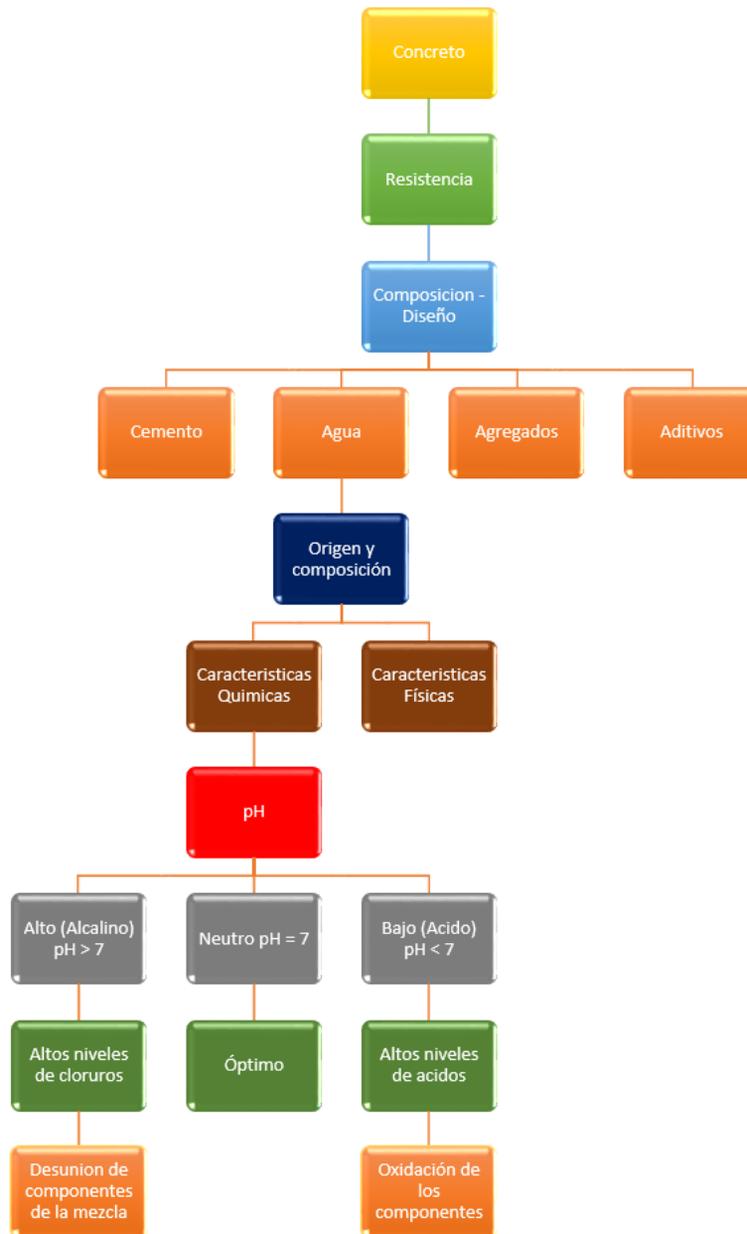


Fuente. (Jaramillo, 2016) González, J. (2007)



### 7.3.MARCO CONCEPTUAL.

Figura 3. Mapa Conceptual Concreto



Fuente. Los autores



El concreto es un material compuesto cuya característica más notable es su resistencia a la compresión que está ligada a su composición.

**Cemento:** Material conglomerante, producto de la mezcla de caliza y arcilla, calcinadas y molidas tiene la propiedad de endurecerse al entrar en contacto con agua, mediante una serie de reacciones químicas en cadena

**Agregados:** Partículas o fragmentos de rocas con diferentes diámetros nominales que, por lo general, entre mas homogénea sea la presencia de todos los tamaños de las rocas, reduciendo costos mediante el relleno adecuado y aportando resistencia final del material

**Aditivos:** Son ingredientes cuyo objeto es modificar las propiedades del concreto o del mortero, en cualquiera de sus estados (fresco, fraguado o endurecido) para hacerlo más adecuado, de acuerdo al trabajo para el cual se piense emplear.

**Agua:** Sirve para hidratar el cemento y desencadenar la reacción química que hace que el cemento cumpla su función como material conglomerante, darle manejabilidad y facilidad de trabajo a la mezcla. A esta se le deben analizar los parámetros fisicoquímicos que determinan si el agua es apta o no para la mezcla de concreto



Características Físicas: Estado, Composición, Color, Olor, Etc.

Características Químicas: Presencia de sales, cloruros, sulfatos alcalinidad y acidez (pH), Etc.

pH: coeficiente que indica el grado de acidez o alcalinidad que posee una sustancia.

#### **7.4.MARCO LEGAL**

Incal. NORMA TECNICA PERUANA 339.088. CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos [DOCUMENTO TECNICO]. Peru 2014.

Icontec. Norma Técnica Colombiana NTC 3689. CONCRETOS. Ingeniería Civil Y Arquitectura. Método De Ensayo Para Determinar El Ph De Una Superficie De Concreto O De Mampostería De Concreto, Previamente Limpiada O Atacada Con Ácido 1997. [DOCUMENTO TECNICO]. Colombia 1997.

Icontec. Norma Técnica Colombiana NTC 174. CONCRETOS. Especificaciones De Los Agregados Para Concreto 2000. [DOCUMENTO TECNICO]. Colombia 2000.

Min. Ambiente. Norma Sismo Resistente Colombiana 2010. [DOCUMENTO TECNICO]. Colombia 2010.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>GUÍA DE TRABAJO</p> <p>INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO</p>	<p><b>FECHA: 31 de Octubre de 2018</b></p> <p><b>VERSIÓN 1</b></p> <p><b>Página 36 de 87</b></p>
--	---	--

Icontec. Norma Técnica Colombiana NTC 3459. CONCRETOS. Agua para la elaboración de concreto 2001. [DOCUMENTO TECNICO]. Colombia 2001.



## **8.OBJETIVOS**

### **8.1.OBJETIVO GENERAL**

Determinar si el cambio del pH (únicamente) del agua de mezclado influye en la resistencia a la compresión del concreto hidráulico. Primera fase.

### **8.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

Elaborar 24 muestras de concreto en cilindros, para ser sometidas a un ensayo de compresión, donde todas las muestras estén diseñadas bajo los mismos parámetros (cantidad de materiales, origen de los materiales, proceso de elaboración), variando únicamente en el pH del agua de mezclado

Determinar si un pH alto en el agua de mezclado, influye o no en la resistencia a la compresión (ensayo de compresión NTC 673) del concreto hidráulico.

Determinar si un pH bajo en el agua de mezclado, influye o no en la resistencia a la compresión (ensayo de compresión NTC 673) del concreto hidráulico.

Determinar si un pH neutro en el agua de mezclado, influye o no en la resistencia a la compresión (ensayo de compresión NTC 673) del concreto hidráulico.

Analizar los resultados obtenidos por las muestras con diferentes pH y compararlos con una muestra elaborada con un agua de mezclado de pH neutro

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>GUÍA DE TRABAJO</p> <p>INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 31 de Octubre de 2018</p> <p>VERSIÓN 1</p> <p>Página 38 de 87</p>
--	---	---

## 9.ALCANCES Y LIMITACIONES.

### 9.1.ALCANCES

Partiendo de que la única variable que se va a alterar será el pH del agua de mezclado, las demás características de los componentes del concreto se asumirán como constantes, se analizará si la alteración de dicho parámetro químico del agua de mezclado afecta o no en la resistencia a la compresión que tiene el concreto, cumpliendo con el ensayo NTC 673 para evaluarla y midiendo o controlando el nivel de pH (con Cal o bebida de cola)<sup>15</sup> y midiéndola con cintas de pH o pH-metro. El tiempo en el cual se estima realizar el proyecto se está ligado directamente la resistencia máxima que obtiene un concreto que según la norma se consigue a los 28 días de su elaboración, y como es un proceso de recolección continua de datos y los análisis de los mismos, se prevé que la duración de total será de 1 (un) mes calendario, se presentaran todos los documentos y evidencias que soporten el desarrollo del proyecto, así como las conclusiones que el mismo haya arrojado.

### 9.2.LIMITACIONES

El ÚNICO parámetro que se va a variar en el desarrollo de este proyecto será el pH del agua de mezclado, los demás elementos y sus características serán similares para un mejor análisis y obtención de resultados.

---

<sup>15</sup> Henry, J & Heinke,G (1999), INGENIERIA AMBIENTAL. Pearson Educación : México



Únicamente se van a simular 3 valores de pH (Básico, Acido y Neutro), se obvian valores intermedios en esta escala para evidenciar de forma más clara si este parámetro del agua de mezcla, infiere o no en la resistencia del concreto.

Para el desarrollo de este proyecto, en la parte de los ensayos, se acudirá a las instalaciones de la universidad, así como de los equipos necesarios para los ensayos (maquina universal) y de su disponibilidad en los momentos que se requiera realizar los procedimientos.

Por facilidad económica, no se contempla realizar ensayos y/o montajes de las muestras en otros laboratorios, a menos de ser estrictamente necesario (la no disponibilidad de la máquina universal o la ausencia de moldes para la elaboración de cilindros).



## 10.METODOLOGIA

Se desarrolló una investigación experimental, empleando determinaciones físicas, principios químicos y físicos evidenciándose alteraciones a la resistencia a la compresión.

Para esto se realizó una determinación del PH del agua de mezclado basada en las zonas del país donde presenta altas variaciones del P.H. del agua, lo cual hace difícil la obtención del agua con un P.H. neutro es por ello que se decidió la utilización de químicos los cuales son utilizados en algunos casos como fertilizantes en zonas de agricultura como lo son eje cafetero donde presenta una variación de P.H. ácido y las zonas donde son sembrados algunos tipos de verduras como lo son espinacas, brócoli, lechuga, entre otras que presentan una alteración del P.H. volviendo las agua Básicas, es por ello que se decidió utilizar Hidróxido de potasio y Ácido nítrico, ya que se utilizan como fertilizante y que a su vez las zonas de agricultura en las cuales se cosechan alimentos como los anteriormente mencionados se presentan variaciones del P.H. por los alimentos y los desechos de los mismos; Una vez se determinó un PH básico, ácido y neutro, se inició con la elaboración de la mezcla de concreto hidráulico de acuerdo al diseño de mezcla teniendo en cuenta la metodología ACI para obtener las proporciones necesarias de agregado fino, agregado grueso, cemento y agua; Teniendo en cuenta una resistencia de 28 MPa equivalente a 4000 psi la cual fue escogida por ser una resistencia a la compresión convencional para cargas de diseño estáticas altas como almacenes, tiendas y cimientos de construcción.



## 10.1.DISEÑO METODOLÓGICO

Se elaboraron 24 muestras de concreto en cilindros, que fueron sometidas a un ensayo de compresión, donde las mezclas de concreto fueron diseñadas bajo los mismos parámetros para obtener una resistencia a la compresión de 28 MPa equivalente a 4000 Psi ( se mantuvo cantidad de materiales, origen de los materiales, proceso de elaboración), realizando una variación en el pH del agua de mezclado mediante la aplicación de sustancias como hidróxido de potación y ácido nítrico, aumentar y disminuyendo, respectivamente, el pH del agua, realizando una medición mediante el pH-metro donde se elaboraron :

- 8 muestras con el pH ácido.
- 8 muestras con el pH básico.
- 8 muestras con el pH neutro.

### 10.1.1. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO.

De acuerdo a la normativa colombiana se evidenció el cumplimiento de los parámetros relacionados a la obtención de los materiales para que fuesen posible realizar los ensayos de caracterización de los agregados.

La adquisición del material se realizó en el Rio Coello.

- Agregados finos
- Agregados gruesos



La obtención del agua con PH dentro de rango ácido y básico fue obtenido mediante la alteración con sustancias químicas como lo son:

- Hidróxido de potasio para un P.H. Básico
- Ácido nítrico para un P.H. Acido
- Suministro de agua potable para un P.H. Neutro

#### Cemento

Posterior a la adquisición del material se procede a realizar los ensayos específicos para la caracterización del agregado fino, agregado grueso y el agua de mezclado. Teniendo en la norma técnica colombiana; los ensayos que se realizaron dentro del proceso de elaboración de las muestras fueron los siguientes:

#### Ensayos

- NTC 77 Método De Ensayo Para El Análisis Por Tamizado De Los Agregados Finos Y Gruesos.
- NTC 176 Densidad y absorción agregado grueso.
- NTC 237 Densidad y absorción agregado fino.
- NTC 174 Especificaciones de los agregados para concreto.
- NTC 129 Toma de muestras de agregados.
- NTC 126 Método de ensayo para determinar la solidez de agregados para el uso de sulfato de sodio.



- NTC 92 Masa unitaria agregados.
- NTC 396. asentamiento de concreto.
- NTC 454 toma de muestras.

#### **10.1.1.1.NTC 77 MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.**

Con una muestra de material seco previamente pesado, el cual realiza una caracterización de acuerdo a la distribución obtenida por la separación de los agregados retenida en cada uno de los tamices relacionando el peso retenido con el peso total de la muestra sometido al ensayo, cuya resultante de partículas que pasan por cada tamiz debe encontrarse entre el límite mínimo y límite máximo posible observarse en la Tabla 1. Requisitos de gradación; el material es proveniente de rio Coello.



Tabla 1. Requisitos de gradación.

NUMERO DEL TAMAÑO DEL AGREGADO	TAMAÑO NOMINAL (TAMICES DE ABERTURA CUADRADA)	MATERIAL QUE PASA UNO DE LOS SIGUIENTES TAMICES (PORCENTAJE EN MASA)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No,8)	1,18 mm (No,16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37,5 mm a 19 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12,5 mm a 4,7 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (No,8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Fuente. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA, NTC-174. Concretos. Especificaciones De Los Agregados Para Concreto 2000. P. 8

De acuerdo al ensayo realizado de granulometría al agregado fino, realizado en las instalaciones de la universidad con los tamices se obtuvo la siguiente distribución de agregado fino, cumpliendo el límite inferior y superior de gradación encontrado en la Tabla 2. Característica de agregado fino datos y cálculo de granulometría con parámetros límite inferior y superior, Figura 6. Grafica granulometría agregado fino.

De acuerdo al material al cual se le realizo el ensayo como se muestra en la Figura 4. Ensayo de granulometría agregado grueso y Figura 5. Ensayo de granulometría agregado fino, es posible observar la gradación realizada al material.

Figura 4. Ensayo de granulometría agregado grueso.



Fuente: Los autores.

Figura 5. Ensayo de granulometría agregado fino.



Fuente: Los autores.



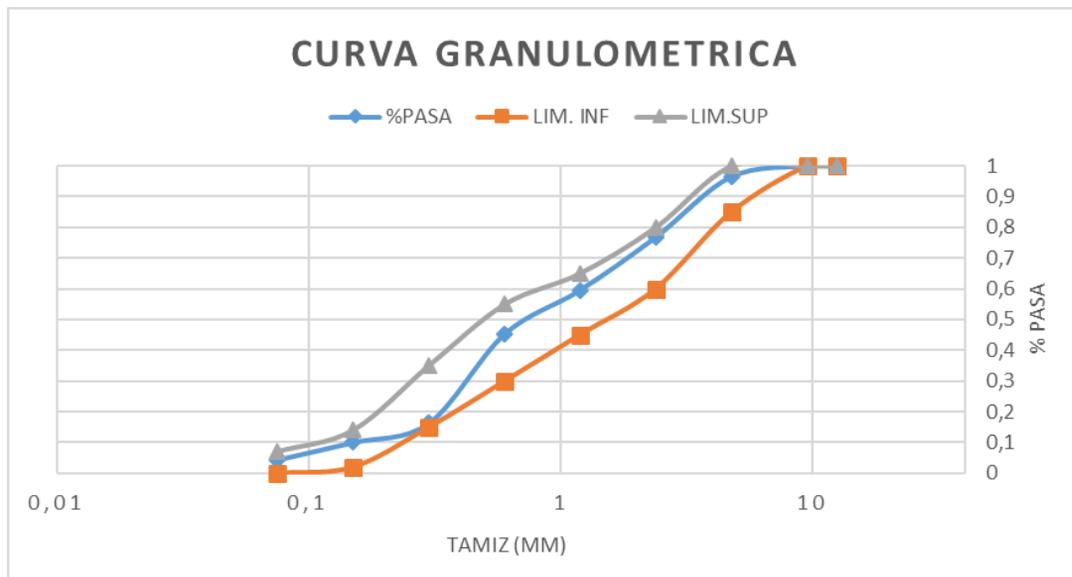
Tabla 2. Característica de agregado fino datos y cálculo de granulometría con parámetros límite inferior y superior

CARACTERISTICAS FISICAS AGREGADO FINO							
TAMIZ		RETENIDO	% RETENIDO	% ACUMULADO	%PASA	NORMA	
(mm)	(")					LIM. INF	LIM.SUP
12,5	1/2"	0	0,00%	0,0%	100%	100%	100%
9,5	3/8"	0	0,00%	0,0%	100%	100%	100%
4,76	N° 4	28,1	3,47%	3,5%	97%	85%	100%
2,38	N° 8	160	19,74%	23,2%	77%	60%	80%
1,19	N° 16	140	17,28%	40,5%	60%	45%	65%
0,6	N° 30	115	14,19%	54,7%	45%	30%	55%
0,3	N° 50	235,4	29,05%	83,7%	16%	15%	35%
0,15	N° 100	50,7	6,26%	90,0%	10%	2%	14%
0,075	N° 200	46,1	5,69%	95,7%	4%	0%	7%
Fondo	Fondo	35,1	4,33%	100,0%	0%	0%	0%
Masa inicial Seca (g)			810,4	Fondo (g)			46,1
Masa Inicial humeda (g)			827,9	Masa final sobre tamiz 0,075 (g)			797,6
Masa retenida (g)			810,4	Humedad (%)			2,16%
				Modulo de finura			2,96

Fuente. Los autores



Figura 6. Grafica granulometría agregado fino.



Fuente. Los autores

De acuerdo al ensayo realizado de granulometría al agregado grueso, realizado en las instalaciones de la universidad con los tamices se obtuvo la siguiente distribución de agregado fino, cumpliendo el límite inferior y superior de gradación encontrado en la Tabla 3. Característica de agregado grueso datos y cálculo de granulometría con parámetros límite inferior y superior, Figura 7. Grafica granulometría agregado grueso, a continuación, se relacionan los datos obtenidos en el ensayo.



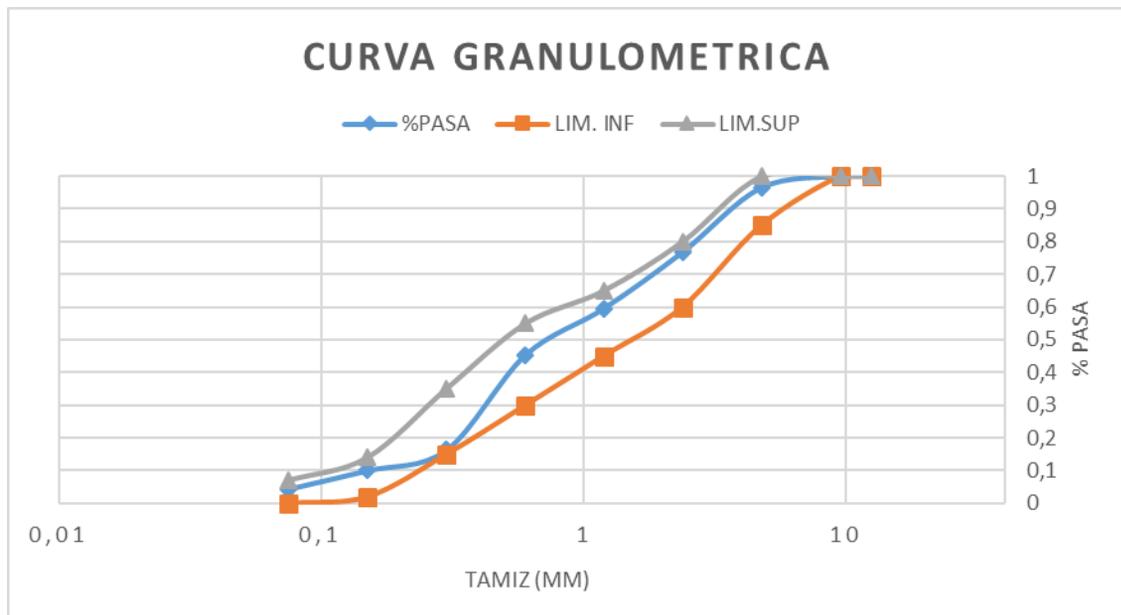
Tabla 3. Característica de agregado grueso datos y cálculo de granulometría con parámetros límite inferior y superior

CARACTERISTICAS FISICAS AGREGADO GRUESO							
TAMIZ		RETENIDO	% RETENIDO	% ACUMULADO	%PASA	NORMA	
(mm)	(")					LIM. INF	LIM.SUP
38	1 1/2"	0	0,0%	0,0%	100%	100%	100%
25,0	1"	22,3	1,3%	1,3%	99%	95%	100%
19	3/4"	384,5	21,7%	23,0%	77,0%	60%	80%
12,5	1/2"	498,6	28,2%	51,1%	48,9%	25%	60%
9,5	3/8"	522,9	29,5%	80,7%	19,3%	13%	35%
4,76	N° 4	237,7	13,4%	94,1%	5,9%	0%	10%
2,38	N° 8	80,9	4,6%	98,7%	1,3%	0%	5%
0,075	N° 200	0	0,0%	98,7%	1,3%	0%	2%
Fondo	Fondo	23,3	1,3%	100%	0,0%		
Masa inicial Seca (g)			1770,2	Masa final sobre tamiz 0,075 (g)			1746,9
Masa Inicial humeda (g)			1856	Humedad (%)			4,85%
Masa retenida (g)			1770,2	Tamaño maximo			1 1/2"
Fondo (g)			23,3	Tamaño maximo nominal			1"

Fuente. Los autores



Figura 7. Grafica granulometría agregado grueso



Fuente. Los autores

Como es posible evidenciar en la Figura 3. Grafica granulometría agregado fino y Figura 4. Grafica granulometría agregado grueso los datos obtenidos en la gradación del material el porcentaje (%) de material que pasa cada tamiz se encuentra dentro de los límites inferior y superior cumpliendo la especificación NTC-174, dando un material apto para la elaboración de mezcla de concreto.

#### 10.1.1.2.NTC 92 MASA UNITARIA AGREGADOS.

Se determinó la masa unitaria suelta de los agregados finos y gruesos donde se vertió el material en un recipiente con un volumen previamente tomando sin realizar ningún tipo de compactación y realizando una nivelación de las orillas del recipiente para tener una mayor exactitud del volumen que ocupa el material. Para determinar



la masa unitaria compacta del material se vertió el material seco y se compacto con una varilla apisonadora dando 25 golpes siguiendo una trayectoria circular repitiendo el procedimiento cada 1/3 de la altura del recipiente para obtener uniformidad de compactación y realizando una nivelación de las orillas del recipiente para tener una mayor exactitud del volumen que ocupa el material, a continuación se observan los datos mediante los cuales se realizaron los cálculos en la Tabla 4.Registro masa y volumen para cálculo de peso unitario suelto agregado fino, Tabla 5.Registro masa y volumen para cálculo de peso unitario compacto agregado fino, Tabla 6.Registro masa y volumen para cálculo de peso unitario suelto agregado grueso y Tabla 7.Registro masa y volumen para cálculo de peso unitario compacto agregado:

Tabla 4. Registro masa y volumen para cálculo de peso unitario suelto agregado fino

PESO UNITARIO SUELTO	
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	3000
ENSAYO No.	MASA (g)
1	4417
2	4422
3	4420
MASA PROMEDIO	4420
PESO UNITARIO	1,473

Fuente. Los autores



Tabla 5. Registro masa y volumen para cálculo de peso unitario compacto agregado fino

PESO UNITARIO COMPACTO	
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	3000
ENSAYO No.	MASA (g)
1	4623
2	4630
3	4674
MASA PROMEDIO	4642
PESO UNITARIO	1,547

Fuente. Los autores

Tabla 6. Registro masa y volumen para cálculo de peso unitario suelto agregado grueso

PESO UNITARIO SUELTO	
VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	7179
ENSAYO No.	MASA (g)
1	10290
2	10282
3	10268
MASA PROMEDIO	10280
PESO UNITARIO	1,432

Fuente. Los autores



Tabla 7. Registro masa y volumen para cálculo de peso unitario compacto agregado grueso

PESO UNITARIO COMPACTO	
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	7179
ENSAYO No.	MASA (g)
1	11485
2	11559
3	11501
MASA PROMEDIO	11515
PESO UNITARIO	1,604

Fuente. Los autores

De acuerdo con los resultados obtenidos del ensayo es posible determinar la cantidad de material a usar en el diseño de mezcla, relacionados a continuación en la Tabla 8. Consolidación peso unitario.

Tabla 8. Consolidación peso unitario

Consolidación Peso Unitario		
TIPO	Peso Unitario Suelto [gm/cm <sup>3</sup> ]	Peso Unitario Compacto [gm/cm <sup>3</sup> ]
Agregado Fino	1,473	1,547
Agregado Grueso	1,432	1,604

Fuente. Los autores

### 10.1.1.3.NTC 176 DENSIDAD Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO.

Se sumergen los agregados durante 24 h para saturar los poros, posterior a ello se seca la superficie de los agregados y se pesan, posteriormente se determina la masa de la muestra y se pesa sumergida en agua luego se seca al horno la muestra para determinar un 3er peso; de acuerdo a los valores obtenidos se determinan



densidad Bulk, densidad Bulk S.S.S., densidad aparente y la absorción del agregado. Relacionando los datos obtenidos en la Tabla 9. Registro datos y cálculos de densidad y absorción agregado gruesa, donde en la Figura 8. Ensayo absorción agregado grueso se muestra un procedimiento del ensayo.

Figura 8. Ensayo de absorción de agregado grueso.



Fuente. Los autores



Tabla 9. Registro datos y cálculos de densidad y absorción agregado gruesa.

PESO ESPECIFICO AGREGADO GRUESO			
ENSAYOS	Muestra 1,	Muestra 2,	Promedio
1, Peso material seco (g)	970	1010	N/A
2, Peso en aire S.S.S. (g)	980	1020	
3, Peso agua S.S.S. (g)	615	639	
2, - 3,	365	381	
1, - 3,	355	371	
2, - 1,	10	10	
G.S. Bulk = $1, / (2, - 3,)$	2,658	2,651	2,655
G.S. Buls S.S.S. = $2, / (2, - 3,)$	2,685	2,677	2,681
G.S. Aparente = $1, / (1, - 3,)$	2,732	2,722	2,727
Absorcion = $(2, - 1,)/1, * 100 (%)$	1,03	0,99	1,01

Fuente. Los autores

#### 10.1.1.4. NTC 237 DENSIDAD Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO.

Se sumergen los agregados durante 24 h para saturar los poros, posterior a ello se seca la superficie de los agregados y se pesan, posteriormente se determina la masa de la muestra y se pesa sumergida en agua luego se seca al horno la muestra para determinar un 3er peso; de acuerdo a los valores obtenidos se determinan densidad Bulk, densidad Bulk S.S.S., densidad aparente y la absorción del agregado. Relacionando los datos obtenidos en la Tabla 10. Registro datos y cálculos de densidad y absorción agregado fino, donde en la Figura 9. Ensayo absorción agregado fino se muestra un procedimiento del ensayo.



Figura 9. Ensayo de absorción de agregado fino.



Fuente. Los autores

Tabla 10. Registro datos y cálculos de densidad y absorción agregado fino.

PESO ESPECIFICO AGREGADO FINO			
ENSAYOS	Muestra 1,	Muestra 2,	Promedio
1, Peso material seco (g)	489	491	N/A
2, Peso material del picnometro lleno (g)	627,1	627,1	
3, Peso material del picnometro + muestra (g)	936,4	937,5	
4, Peso del material S.S.S.	500	500	
4, - 1,	11	9	
2, + 3, + 4,	2063,5	2064,6	
G.S. Bulk = $1, / (2, - 3, + 4,)$	2,564	2,59	2,577
G.S. Buls S.S.S. = $4, / (2, - 3, + 4,)$	2,622	2,637	2,63
G.S. Aparente = $1, / (2, + 1, - 3,)$	2,721	2,719	2,72
Absorcion = $(4, - 1,)/1, * 100 (%)$	2,25	1,83	2,04

Fuente. Los autores



### 10.1.1.5.DETERMINACIÓN PH AGUA PARA LA MEZCLA DE CONCRETO CON PH ACIDO, PH BÁSICO Y PH NEUTRO.

De acuerdo a los P.H. que proporcionan los alimentos, desperdicios de alimentos y cultivos de ellos se decidió usar un P.H. entre los valores 3 y 4 para obtener un P.H. ácido que es proporcionado por el café ya que Colombia tiene alta producción de café; para obtener un PH Básico se decide determinar un rango de PH entre 9 y 10 el cual es producido por alimentos como lo son espinaca lechuga y brócoli.

Así mismo para obtener un P.H: neutro se toma el uso de agua suministrado por sistema de agua potable ya que como se observa en la Figura 10. posee un P.H. de 6.81.

Para obtener un P.H. ácido se realizó una disolución de ácido nítrico al ser un químico de fácil obtención en el mercado, puesto que es utilizado para fertilizar los cultivos.

Para obtener un P.H. básico se realizó una disolución de hidróxido de potasio al ser un químico de fácil obtención en el mercado, puesto que es utilizado para fertilizar los cultivos.

Para determinar la cantidad de solución que se debía agregar para conseguir cada uno de los P.H.'s se emplearon las siguientes ecuaciones.

$$P.H. = \frac{1}{e^H}$$

*P.H. = Potencial de hidrogeno [ mol de la solucion]*

*H = Potencial de hidrogeno esperado en la adicion del reactivo.*



$$\text{Mol del Soluto} = [\text{Mol de la solución}] * \text{Volumen de el agua de mezclado}$$

$$\text{Solucion para agregar} = \frac{\text{Masa molar} * \text{Mol del soluto}}{1.84} \text{ [L]}$$

Empleadas las ecuaciones se determinó la cantidad que se debía agregar del químico, donde es posible observar el volumen que se debe agregar de cada disolución en la Tabla 11. Registro valor químico y volumen para agregar, para un volumen concerniente a 8 cilindros para cada muestra.

Tabla 11. Registro valor químico y volumen para agregar

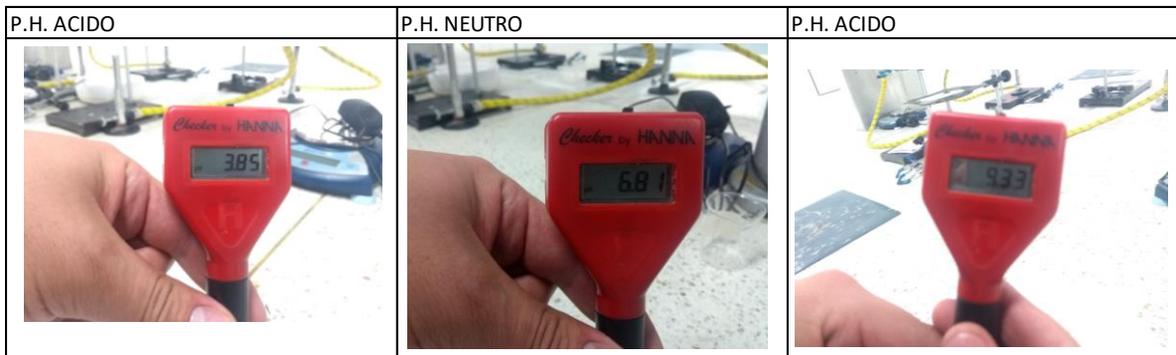
Registro valor quimico y volumen para agregar						
Quimico utilizado	Ph buscado	Mol Solucion	Mol Soluto	Masa molar [g/mol]	Masa para agregar [g]	Solucion para agregar [L]
hidroxido de potasio	9,35	0,000087	0,00139	56,11	0,078	0,0424
Acido nitrico	3,85	0,02128	0,34048	63,01	21,4536	11,6596

Fuente. Los autores

De acuerdo a la toma de P.H mediante P.H.-metro es posible evidenciar el uso de P.H. alterado mediante Hidróxido de potación y Ácido nítrico como se muestra en la Figura 10. P.H. Tomado.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>GUÍA DE TRABAJO</p> <p>INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 31 de Octubre de 2018</p> <p>VERSIÓN 1</p> <p>Página 58 de 87</p>
--	---	---

Figura 10. P.H. tomado.



Fuente. Los autores

## 10.2.DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO.

Con base en método ACI 211, basándose en cálculos de volumen absoluto ocupado por el agregado fino, agregado grueso, cemento y agua, se determinan las relaciones de agregados que se deben verter en la mezcla junto con la relación agua cemento para obtener la resistencia esperada a 28 días de 28 MPa equivalente a 4000 psi la cual fue escogida por ser una resistencia a la compresión convencional para cargas de diseño estáticas altas como almacenes, tiendas y cimientos de construcción.

Teniéndose como consideraciones principales lo siguiente:

Contenido de aire de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado.

Determinación del agua.

Determinación de relación agua cemento de acuerdo a la resistencia la compresión del diseño.

Determinación de agregados por unidad de volumen.



### 10.2.1. CONTENIDO DE AIRE DE ACUERDO AL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO Y DETERMINACIÓN DE AGUA.

De acuerdo al tamaño nominal máximo encontrado mediante el ensayo de granulometría de 1" se proporciona una estimación de agua requerida para la mezcla de concreto, con y sin inclusión de aire que depende de la textura de los agregados, ya que las instalaciones universitarias no cuentan con incluso de aire se estimó el contenido de aire de los agregados. Dichos valores encontrados en la Tabla 12. Determinación de agua y contenido de aire.

Tabla 12. Determinación de agua y contenido de aire

Water, lb/yd <sup>3</sup> of concrete for indicated nominal maximum sizes of aggregate								
Slump. In.	3/8 in.*	1/2 in.*	3/4 in.*	1 - 1/2 in.*	2 in.*	3 in.*	3/8 in.*	6 in.*
Non air entrained concrete								
1 to 2	350	335	315	300	275	260	220	190
3, to 4	385	365	340	325	300	285	245	210
6 to 7	410	385	360	340	315	300	270	-
More than 7*	-	-	-	-	-	-	-	-
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Air- entrained concrete								
1 to 2	305	295	280	270	250	240	205	180
3, to 4	340	325	305	295	275	265	225	200
6 to 7	365	345	325	310	290	280	260	
More than 7*	-	-	-	-	-	-	-	-
Recommended averages' total air content, percent for level of exposure:								
Mild exposure	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5**"	1,0**"
Moderate exposure	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5**"	3,0**"
Severe exposure"	9,5	7	6	6	5,5	5	4,5**"	4,0**"

Fuente. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI 211.1-91. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. 2002. P. 211.1-8



De acuerdo al tamaño nominal del agregado se determina cantidad de agua y cantidad de aire de acuerdo al tamaño encontrado de 1" observado en la Tabla 13. Estimación aire y agua diseño de mezcla. A continuación:

Tabla 13. Estimación aire y agua diseño de mezcla.

Tamaño Maximo Nominal	25mm
Contenido de Aire	2%
Asentamiento	100 mm
Agua de diseño	178 L

Fuente. Los autores

### **10.2.1.DETERMINACIÓN DE RELACIÓN AGUA CEMENTO DE ACUERDO A LA RESISTENCIA LA COMPRESIÓN DEL DISEÑO.**

Se encuentra relacionada la resistencia a la compresión escogida de 4000 psi en la Tabla 14. Relación agua cemento diseño de mezcla a continuación:



Tabla 14. Relación agua cemento diseño de mezcla

Compressive strength at 28 days, psi*	Water-cement ratio, by weight	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
6000	0,41	-
5000	0,48	0,4
4000	0,57	0,48
3000	0,68	0,59
2000	0,82	0,74

Fuente. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI 211.1-91. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. 2002. P. 211.1-9

De acuerdo a la resistencia a la compresión tomada para el diseño de 4000 psi se obtiene mediante la Tabla 14 una relación de agua/cemento de 0.57.

### 10.2.1.DETERMINACIÓN DE AGREGADOS POR UNIDAD DE VOLUMEN.

Se determina la masa del agregado grueso por la unidad de volumen [m<sup>3</sup>] mediante el módulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo nominal del agregado grueso para obtener un coeficiente para la determinación de la masa del agregado encontrado en la Tabla 15. Coeficiente agregado por unidad de volumen para concreto



Tabla 15. Coeficiente de agregado por unidad de volumen.

Nominal maximum size of aggregate. In	Volume of even-dry-rodded coarse aggregate* per unit volumen if concrete for different fineness moduli of fine agregate+			
	2,5	2,6	2,8	3
3/8	0,5	0,48	0,46	0,44
1/2	0,59	0,57	0,55	0,53
<b>3/4</b>	<b>0,66</b>	0,64	0,62	0,6
1	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	0,75	0,73	0,71	0,69
2	0,78	0,76	0,74	0,72
3	0,82	0,8	0,78	0,76
6	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI 211.1-91. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. 2002. P. 211.1-12

De acuerdo al tamaño nominal hallado mediante la granulometría de ¾" es posible hallar el coeficiente de 0.66 extraído de la Tabla 15. multiplicándose por el peso unitario compacto del agregado grueso dando como resultado la masa de 962 Kg del agregado para la unidad de volumen [m3]

Tabla 16. Cantidad material para mezcla de concreto para 1 m3.

Cantidades Material para mezcla			
Cemento	3 g/cm3	0,104 M3	312 KG
Agua	1000 kg/m3	0,178 M3	178 LTS
Aire		0,02 M3	2%
Agregado Grueso	2,727 g/cm3	0,353 M3	962 KG
Agregado Fino	2,72 g/cm3	0,345 M3	939 KG
TOTAL		1 M3	

Fuente. Los autores



### 10.2.2.PROPORCIONES DE MATERIAL PARA MEZCLA DE CONCRETO.

De acuerdo al numeral 11.2.3. Determinación de agregados por unidad de volumen, ya fueron determinados los volúmenes de cada agregado y los pesos que aporta cada material a la mezcla por unidad de volumen; De esta forma se realiza la proporción por cilindro tomando como volumen la mezcla de concreto para 8 cilindros de concreto, como se relaciona en la Tabla 17. Proporción de cantidad para mezcla de diseño.

$$\text{Volmen de 8 colindros} = Ht * A * 8$$

$$\text{Volmen de 8 colindros} = 0.2m * \pi * 0.05m^2 * 8 = 0.0126 m^3$$

Tabla 17. Proporción de cantidad para mezcla de diseño.

Material	Densidad	Volumen	Peso	Peso por unidad de muestra	Humedad	Absorcion	Humedad libre	Peso corregido de mezcla
	[g/cm3]	[L]	[Kg]	[Kg]	[%]	[%]	[%]	[Kg]
Cemento	3	104,08	312,25	4,06	-	-	-	4,06
Agua	1	177,98	177,98	2,31	-	-	-	2,68
Agregado Fino	2,720	345,07	938,58	12,2	0,02	2,04	-2,02	12,20
Agregado Grueso	2,727	352,86	962,39	12,51	0,05	1,01	-0,96	12,52
Aire contemplado	-----	20						

Fuente. Los autores



### **10.3.ELABORACIÓN MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO.**

De acuerdo a la norma NTC-550. Elaboración de especímenes de concreto y curado, Se requiere utilizar una formaleta cilíndrica por espécimen de concreto al cual se desea realizar la prueba con dimensiones de 0.1m de diámetro y 0.2m de altura, vertiendo la mezcla de concreto cada tercio de la altura realizando una compactación con varilla apisonadora realizando 25 golpes con una trayectoria circular para generar mayor uniformidad de compactación y realizando entre diez (10) a quince (15) golpes en la formaleta en su perímetro para generar una vibración, de esta forma eliminar el aire residual que haya quedado atrapado en la mezcla de concreto.

Después de retirar la formaleta a las 24 horas de un fraguado inicial se sumergen las muestras de concreto en tanques de agua con una temperatura que oscila de 16° C a 27° C, permaneciendo los cilindros de concreto el hasta el día al cual se va a realizar la prueba a la compresión. Ya que la elaboración de la mezcla de concreto se le realizo un cambio al PH del agua de mezclado, para que no tengan interferencia las muestras se tuvieron que realizar una separación de acuerdo al rango de PH utilizado para no generar una alteración de las muestras.

### **10.4.DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LA MUESTRA DE CONCRETO HIDRÁULICO.**

De acuerdo a la normal NTC 673. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes de cilindros de concreto. Se someten las muestras es decir los cilindros de concreto una carga axial a compresión con una velocidad constantes hasta el momento en el cual sucede la falla de los cilindros, dando como resultado

la carga máxima soportada por el cilindro, y mediante la misma carga se calcula la resistencia a la compresión dividiendo la carga máxima alcanzada entre el área de la sección transversal de cilindro; Se realiza una caracterización de cada cilindro de concreto mediante un promedio de altura, un promedio del diámetro del cilindro, el peso y la carga máxima alcanzada, como se muestra en la Tabla 18. Caracterización de cilindro de concreto.

Tabla 18. Caracterización de cilindro de concreto.

CARACTERIZACION CILINDROS												
Días de Falla	PH>7,5				PH neutro				PH <6,5			
	[kg]	H [mm]	Φ [mm]	Peso [Kg]	[kg]	H [mm]	Φ [mm]	Peso [Kg]	[kg]	H [mm]	Φ [mm]	Peso [Kg]
7 días	18000	203,58	101,76	3,72	16000	199,77	100,68	3,64	10000	199,2	100,07	3,54
		204,01	101,62			200,38	100,95			199,15	99,67	
		203,72	101,51			201,96	100,99			200,05	99,17	
	18000	203,41	101,9	3,78	15000	202,28	101,65	3,78	15000	205,04	101,86	3,76
		206,64	101,47			203,73	101,61			204,28	102,14	
		205,98	101,45			202,92	101,45			203,81	101,58	
14 días	21000	203,89	101,96	3,64	21000	200	101,49	3,72	19000	199,2	100,07	3,54
		203,58	101,77			200,02	101,78			199,15	99,67	
		204,05	101,82			200,45	101,94			200,05	99,17	
	21000	200,9	100,37	3,78	20000	202,95	101,07	3,67	20000	205,04	101,86	3,76
		200,15	100,23			203,45	102,09			204,28	102,14	
		201,78	100,15			201,57	101,63			203,81	101,58	
28 días	25000	201,49	101,09	3,68	19000	201,43	100,75	3,74	20000	205,43	101,52	3,82
		199,58	100,94			201,03	100,71			205,13	101,55	
		201,53	100,59			201,62	100,57			205,93	101,4	
	23000	200,32	101,88	3,72	22000	205,2	101,27	3,85	21000	205,52	101,58	3,78
		201,04	101,81			205,5	101,41			205,48	101,72	
		200,78	101,81			205,98	101,33			205,92	101,46	
	25000	206,85	101,59	3,73	22000	206,91	101,81	3,86	21000	205,84	101,84	3,76
		207,65	101,26			206,93	101,8			205,92	101,76	
		207,33	101,15			206,76	101,82			205,16	101,61	
	22500	206,84	100,75	3,85	21000	203,27	101,95	3,77	21500	205,27	101,64	3,78
		205,91	101,08			204,49	102,08			207,77	101,26	
		208,52	100,35			203,82	102,01			206,06	101,11	

Fuente. Los autores



## 11. ANALISIS DE RESULTADOS

### RESULTADO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Con relación al tiempo de evolución del concreto al cual se someten los cilindros al ensayo de resistencia la compresión se realiza el fallo de los cilindros a 7, 14 y 28 días el cual debe mostrar un porcentaje de evolución con la resistencia para la cual fue diseñado de aproximadamente 65%, 90% y 100% respectivamente, los resultados obtenidos se muestran en las tablas, Tabla 19. Resistencia a la compresión PH Acido, Tabla 20. Resistencia a la compresión PH Neutro y Tabla 21. Resistencia a la compresión PH Básico.

Al obtener variación de carga abruptas presentadas en la Tabla 18. se tomó la decisión de realizar los fallos de los cilindros el de muestra más el cilindro testigo para corroborar la información.

Como se muestra en la figura 11. Fallo a la compresión P.H. Acido a 7 días, figura 12. Fallo a la compresión P.H. Acido a 14 días y figura 13. Fallo a la compresión P.H. Acido a 28 días, es posible observar el comportamiento de los cilindros a la falla obteniendo fallas estándar ya establecidas por norma; En la Tabla 19, es posible observar la resistencia la compresión alcanzada por cada uno de los cilindros para el tiempo al cual se le realizo la falla.



Tabla 19. Resistencia a la compresión PH Acido

CARACTERIZACION CILINDROS				
Dias de Falla	PH <6,5			
	[kg]	Φ [mm]	Resistencia [Mpa]	Tipo de falla
7 dias	10000	100,07	12,57	Conica
		99,67		
		99,17		
	15000	101,86	18,04	Conica
		102,14		
		101,58		
14 dias	19000	100,07	23,88	Conica y transversal
		99,67		
		99,17		
	20000	101,86	24,05	Conica
		102,14		
		101,58		
28 dias	20000	101,52	24,23	Conica y transversal
		101,55		
		101,4		
	21000	101,58	25,39	Conica y transversal
		101,72		
		101,46		
	21000	101,84	25,32	Transversal
		101,76		
		101,61		
	21500	101,64	26,12	Conica
		101,26		
		101,11		

Fuente. Los autores



Figura 11. Fallo a compresión PH Acido a 7 Días



Fuente. Los Autores

Figura 12. Fallo a compresión PH Acido a 14 Días



Fuente. Los Autores



Figura 13. Fallo a compresión PH Acido a 28 Días



Fuente. Los Autores.

Así como se muestra en la Tabla 20. Cumplimiento de Resistencia la compresión P.H. Acido, se obtiene bajas resistencias a la compresión para los días a los cuales se le realizo la falla, donde es posible observar que no alcanza la resistencia para cual fue diseñada la mezcla de concreto.

Tabla 20. Cumplimiento de Resistencia a la compresión PH Acido

Dias a la Falla	PH <6,5
7 dias	55%
14 dias	86%
28 dias	90%

Fuente. Los autores

Como se muestra en la figura 14. Fallo a la compresión P.H. Neutro a 7 días, figura 15. Fallo a la compresión P.H. Neutro a 14 días y Figura 16. Fallo a la compresión P.H. Neutro a 28 días, es posible observar el comportamiento de los cilindros a la falla obteniendo fallas estándar ya establecidas por norma; En la Tabla 21, es



posible observar la resistencia la compresión alcanzada por cada uno de los cilindros para el tiempo al cual se le realizo la falla.

Tabla 21. Resistencia a la compresión PH Neutro

Dias de Falla	PH neutro			
	[kg]	$\Phi$ [mm]	Resistencia [Mpa]	Tipo de falla
7 dias	16000	100,68	19,62	Conica
		100,95		
		100,99		
	15000	101,65	18,14	Conica
		101,61		
		101,45		
14 dias	21000	101,49	25,32	Conica y dividida
		101,78		
		101,94		
	20000	101,07	24,18	Conica
		102,09		
		101,63		
28 dias	19000	100,75	23,39	Transversal
		100,71		
		100,57		
	22000	101,27	26,73	Conica y transversal
		101,41		
		101,33		
	22000	101,81	26,48	Transversal
		101,8		
		101,82		
	21000	101,95	25,18	Conica y transversal
		102,08		
		102,01		

Fuente. Los autores



Figura 14. Fallo a compresión PH Neutro a 7 Días



Fuente. Los Autores

Figura 15. Fallo a compresión PH Neutro a 14 Días



Fuente. Los Autores



Figura 16. Fallo a compresión PH Neutro a 28 Días



Fuente. Los Autores.

Así como se muestra en la Tabla 22. Cumplimiento de Resistencia la compresión P.H. Neutro, se obtiene bajas resistencias a la compresión para los días a los cuales se le realizo la falla, donde es posible observar que no alcanza la resistencia para cual fue diseñada la mezcla de concreto.

Tabla 22. Cumplimiento de Resistencia a la compresión PH Neutro

Dias a la Falla	PH neutro
7 dias	67%
14 dias	88%
28 dias	91%

Fuente. Los autores

Como se muestra en la figura 17. Fallo a la compresión P.H. Básico a 7 días, figura 18. Fallo a la compresión P.H. Básico a 14 días y Figura 19. Fallo a la compresión P.H. Básico a 28 días, es posible observar el comportamiento de los cilindros a la falla obteniendo fallas estándar ya establecidas por norma; En la Tabla 23, es



posible observar la resistencia la compresión alcanzada por cada uno de los cilindros para el tiempo al cual se le realizo la falla.

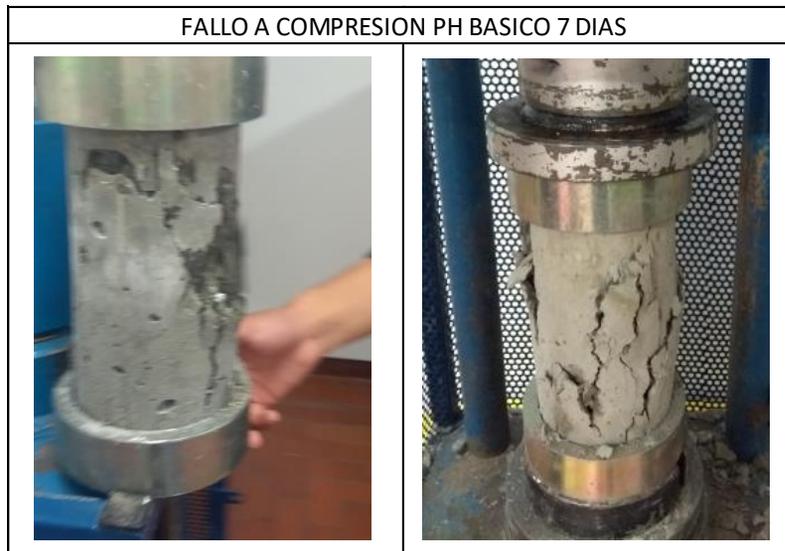
Tabla 23. Resistencia a la compresión PH Básico.

Dias de Falla	PH>7,5			
	[kg]	Φ [mm]	Resistencia [Mpa]	Tipo de falla
7 dias	18000	101,76	21,75	Conica transversal
		101,62		
		101,51		
	18000	101,9	21,76	Conica
		101,47		
		101,45		
14 dias	21000	101,96	25,26	Conica transversal
		101,77		
		101,82		
	21000	100,37	26,07	Conica transversal
		100,23		
		100,15		
28 dias	25000	101,09	30,66	Conica transversal
		100,94		
		100,59		
	23000	101,88	27,67	Conica transversal
		101,81		
		101,81		
	25000	101,59	30,38	Transversal
		101,26		
		101,15		
	22500	100,75	27,67	Conica y dividida
		101,08		
		100,35		

Fuente. Los autores



Figura 17. Fallo a compresión PH Básico a 7 Días



Fuente. Los Autores

Figura 18. Fallo a compresión PH Básico a 14 Días



Fuente. Los Autores

Figura 19. Fallo a compresión PH Básico a 28 Días



Fuente. Los Autores.

Así como se muestra en la Tabla 24. Cumplimiento de Resistencia la compresión P.H. Básico, se obtiene bajas resistencias a la compresión para los días a los cuales se le realizó la falla, donde es posible observar que supera la resistencia para cual fue diseñada la mezcla de concreto.

Tabla 24. Cumplimiento de Resistencia a la compresión PH Básico

Días a la Falla	PH > 7,5
7 días	78%
14 días	92%
28 días	104%

Fuente. Los Autores

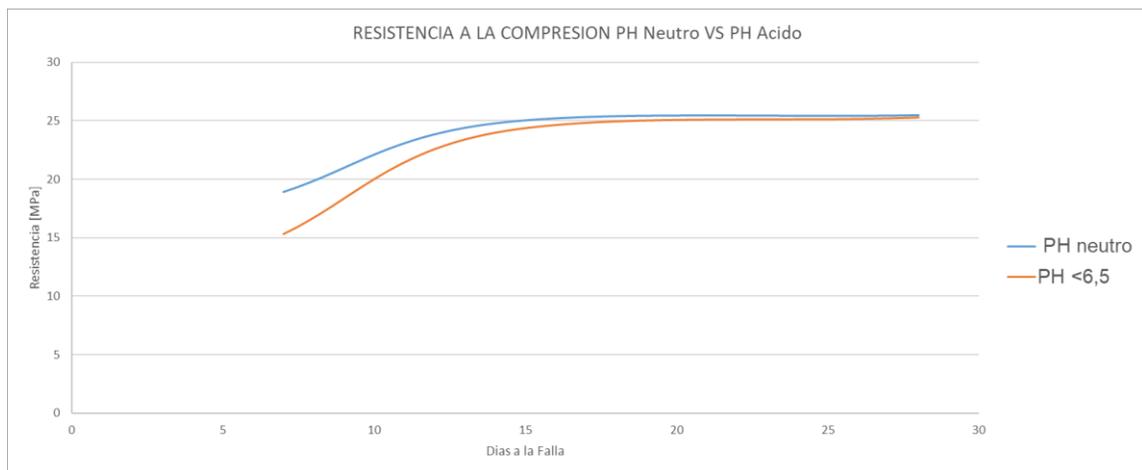
Como es posible observar en:

- Figura 20. Grafica Resistencia a la compresión P.H. Acido VS P.H. Neutro y Tabla 25. Relación de resistencia a la compresión P.H. Acido VS P.H. Neutro,



el P.H. ácido del agua de mezclado genera una disminución de resistencia a la compresión de 13% a una edad temprana (7 días) y 3 % a una edad media (14 días) tomando como muestra patrón el P.H. Neutro que para la determinación es el agua de mezclado sin alteración.

Figura 20. Grafica Resistencia a la compresión P.H. Acido VS P.H. Neutro.



Fuente. Los Autores.

Tabla 25. Relación de resistencia a la compresión P.H. Acido VS P.H. Neutro

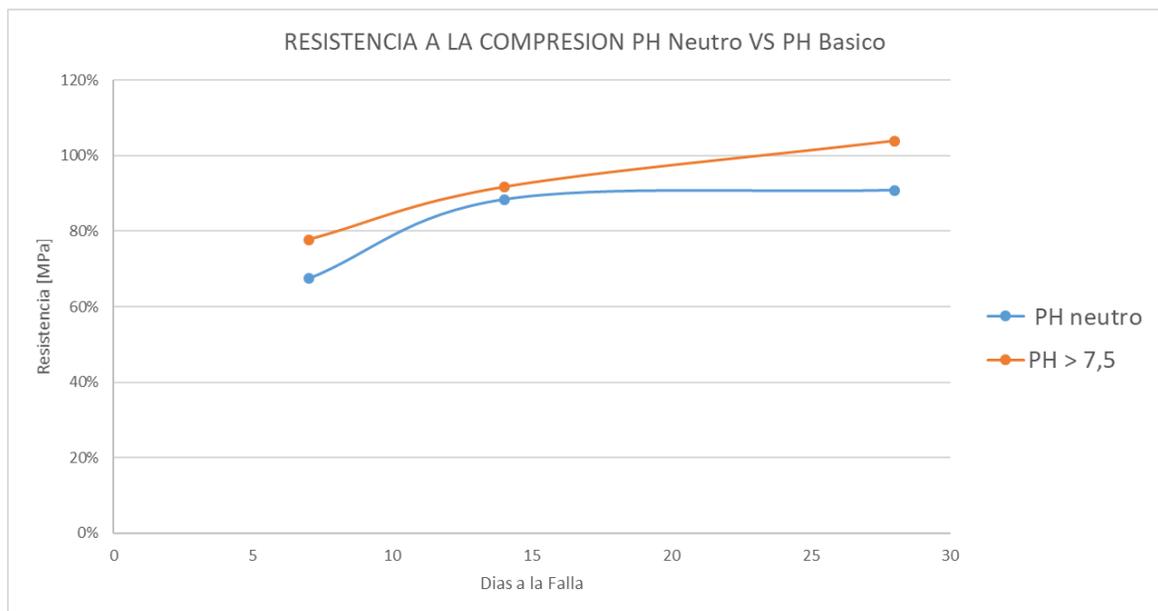
Días a la Falla	PH neutro	PH <6,5	Diferencia
7 días	67%	55%	13%
14 días	88%	86%	3%
28 días	91%	90%	1%

Fuente. Los Autores.



- Figura 21. Grafica Resistencia a la compresión P.H. Básico VS P.H. Neutro y Tabla 26. Relación de resistencia a la compresión P.H. Básico VS P.H. Neutro, el P.H. Básico del agua de mezclado genera un aumento de resistencia a la compresión de 10% a una edad temprana (7 días), 3% a una edad media (14 Días) Y 13 % a una edad Final (28 Días) tomando como muestra patrón el P.H. Neutro que para la determinación es el agua de mezclado sin alteración.

Figura 21. Grafica Resistencia a la compresión P.H. Básico VS P.H. Neutro.



Fuente. Los Autores.

Tabla 26. Relación de resistencia a la compresión P.H. Básico VS P.H. Neutro

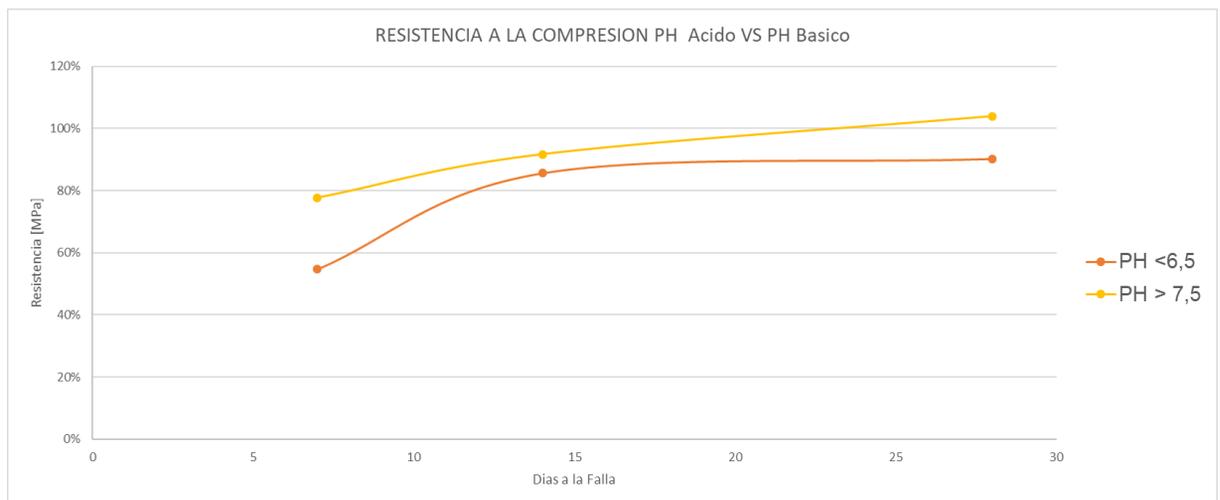


Días a la Falla	PH neutro	PH > 7,5	Diferencia
7 días	67%	78%	-10%
14 días	88%	92%	-3%
28 días	91%	104%	-13%

Fuente. Los Autores.

- Figura 22. Grafica Resistencia a la compresión P.H. Básico VS P.H. Ácido y Tabla 27. Relación de resistencia a la compresión P.H. Básico VS P.H. Acido; El P.H. Básico del agua de mezclado genera una diferencia por el aumento de resistencia a la compresión con relación al P.H. Acido del agua de mezclado con una variación de 23% a una edad temprana (7 Días), 6% a una edad media (14 Días) y 14% a una edad final (28 Días) notable con relación al P.H. Acido.

Figura 22. Grafica Resistencia a la compresión P.H. Básico VS P.H. Acido.





Fuente. Los Autores.

Tabla 27. Relación de resistencia a la compresión P.H. Básico VS P.H. Acido

Días a la Falla	PH <6,5	PH > 7,5	Diferencia
7 días	55%	78%	-23%
14 días	86%	92%	-6%
28 días	90%	104%	-14%

Fuente. Los Autores.

## 12. CONCLUSIONES

1. Como se determinó la resistencia a la compresión con el P.H. acido en el agua de mezclado se obtuvieron las siguientes conclusiones:
  - o Se determinó una disminución de resistencia a la compresión con relación al P.H. Neutro a una edad temprana (7 Días) de 13%.
  - o Se determinó una regularización de resistencia a la compresión de 3% a una edad media (14 Días) y una diferencia de 1% (28 Días).

Ocasionando que en una construcción al utilizar un agua de mezclado con un P.H. Acido se genere un retraso para obtener la resistencia a la compresión esperada, puesto que a su edad temprana (7 Días) su resistencia a la compresión sea de 55% de acuerdo a una esperada alrededor del 65%.

2. Como se determinó la resistencia a la compresión con el P.H. Básico en el agua de mezclado se obtuvieron las siguientes conclusiones:



- Se determinó un aumento de resistencia a la compresión con relación al P.H. Neutro a una edad temprana (7 Días) de 10%.
- Se determinó un aumento de resistencia a la compresión con relación al P.H. Neutro a una edad media (14 Días) de 3%.
- Se determinó un aumento de resistencia a la compresión de 13% a una edad final (28 Días) con relación al P.H. Neutro.

Ocasionando que en una construcción al utilizar un agua de mezclado con un P.H. Básico se genere un adelanto para obtener la resistencia a la compresión esperada, puesto que a su edad temprana (7 Días) su resistencia a la compresión sea de 78% de acuerdo a una esperada alrededor del 65%.

3. Para un P.H. Neutro se determinó como parámetro puesto que a su vez es el agua de obtención mediante el sistema de agua potable generando una alteración de resistencia a la compresión mínima.
4. Se puede determinar que en efecto, la variación del pH del agua de mezclado si influye en la resistencia a la compresión del concreto hidráulico. Esto ya que como se planteaba desde un principio, altera las propiedades tanto química al modificar la reacción de hidratación, como físicas que es el reflejo final en cuanto a la resistencia esperada.
5. A pesar de que la Norma Técnica Colombiana, solo toma en cuenta parámetros cualitativos en cuanto a la calidad y el estado del agua que se va a emplear para el mezclado en el concreto, es importante resaltar que el pH es un parámetro que cualitativamente no se puede medir pero si va a inferir



en el correcto desempeño del concreto, al igual que la Norma Técnica Peruana donde en esta si declara un rango específico de aceptación o rechazo del agua que se va a emplear en el mezclado para la obtención de concreto, se puede determinar que en efecto característica debe ser parametrizada y analizada, ya que su omisión puede representar una disminución en la propiedad más importante del concreto, la resistencia.

6. Este trabajo de grado se enfocó netamente en indagar si la alteración del pH del agua de mezclado influye o no en la resistencia a la compresión del concreto hidráulico, generalizando los valores que el pH puede tomar, ácido, básico o neutro; por lo tanto puede que de acuerdo a los valores estandarizados para clasificación del pH que a su vez sean límites de calificación (ácido – neutro o neutro – básico), pueden presentar variaciones en la resistencia a la compresión.
7. Realizar un análisis de pH del agua de mezclado del concreto hidráulico, donde su orden de varianza sea de 0,1 (como mínimo), puede proporcionar un rango numérico de aceptación o rechazo del pH del agua de mezclado para el concreto hidráulico.

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>GUÍA DE TRABAJO</p> <p>INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 31 de Octubre de 2018</p> <p>VERSIÓN 1</p> <p>Página 82 de 87</p>
--	---	---

### 13. BIBLIOGRAFÍA

1. Valdez, V. (2017). EL AGUA PARA CONSTRUCCION. [online] Academia.edu. Available at: [https://www.academia.edu/8929938/EL\\_AGUA\\_PARA\\_CONSTRUCCION?auto=download](https://www.academia.edu/8929938/EL_AGUA_PARA_CONSTRUCCION?auto=download) [Accessed 23 Nov. 2017].
2. Eprints.ucm.es. (2017). Carbonatación del hormigón: combinación de CO<sub>2</sub> con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH - E-Prints Complutense. [online] Available at: <http://eprints.ucm.es/14424/> [Accessed 23 Nov. 2017].
3. Scribd. (2017). Tecnología Concreto y Mortero Rivera Unicauca. [online] Available at: <https://es.scribd.com/doc/58132781/Tecnologia-Concreto-y-Mortero-Rivera-Unicauca> [Accessed 23 Nov. 2017].
4. Bermúdez Odriozola, Miguel Ángel (2007). Corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: zona de carrera de mareas y zona sumergida. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM).



5. Moreno Eric I. (2006). Determinación del pH de la solución de los poros de concreto después de un proceso acelerado de carbonatación. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 10-3, pp.5-12, ISSN: 1665-529X
  
6. Moreno, Eric I., Domínguez Lara, Gerardo G., Cob Sarabia, Enrique J., Duarte Gómez, Francisco, Efecto de la relación agua/cemento en la velocidad de carbonatación del concreto utilizando una cámara de aceleración. Ingeniería [en línea] 2004, 8 (mayo-agosto): [Fecha de consulta: 23 de noviembre de 2017] Disponible en:<<http://oai.redalyc.org/articulo.oa?id=46780210>> ISSN 1665-529X
  
7. Guevara Fallas, G., Hidalgo Madrigal, C., Pizarro García, M., Rodríguez Valenciano, I., Rojas Vega, L. and Segura Guzmán, G. (2017). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto.
  
8. Cárdenas Aranguren, C. and Pinzón Ballesteros, V. (2017). Efectos de la pérdida de asentamiento en la resistencia de un concreto de 3000 PSI. [online] Repository.unimilitar.edu.co. Available at: <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/3289> [Accessed 23 Nov. 2017].
  
9. Gutiérrez de López, Libia (2003) El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. ISBN 958-9322-82-4



10. Ustatunja.edu.co. (2017). EL CURADO DEL CONCRETO EN LA CONSTRUCCIÓN. [online] Available at: <http://www.ustatunja.edu.co/cong-civil/images/Articulos/-EL%20CURADO%20DEL%20CONCRETO%20EN%20LA%20CONSTRUCCION.pdf> [Accessed 23 Nov. 2017].

11. Eraso Valencia, H., & Ramos Rojas, N. (2015). Estudio del comportamiento mecánico del concreto, sustituyendo parcialmente el agregado fino por caucho molido recubierto con polvo calcáreo. Pontificia Universidad Javeriana, Cali.

12. Ó. E. Ospina-Zúñiga y H. Ramírez-Arcila, "Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia". Ingeniería Solidaria, vol. 10, n.º 17, pp. 125-138, en.-dic., 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.812>

13. Martínez Martínez, L. (2017). Evaluación de la Influencia del SO<sub>2</sub> como agente corrosivo en estructuras de concreto. [online] Ptolomeo.unam.mx. Available at: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/9327?show=full> [Accessed 23 Nov. 2017].



14. Osorio, J. (2017). Hidratación del concreto: agua de curado y agua de mezclado - Blog 360 grados en concreto. [online] Blog 360 grados en concreto. Available at: <http://blog.360gradosenconcreto.com/importancia-del-agua-en-el-concreto/> [Accessed 23 Nov. 2017].

15. Rizo, M. and Cabrera, J. (2017). Influencia de la relación agua/cemento en la elaboración del mortero normalizado de los cementos con puzolana. [online] Dialnet.unirioja.es. Available at: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2289698> [Accessed 23 Nov. 2017].

16. Toirac Corral, José, LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN, CONDICIÓN NECESARIA PERO NO SUFICIENTE PARA EL LOGRO DE LA DURABILIDAD DE LAS OBRAS. Ciencia y Sociedad [en línea] 2009, XXXIV (Octubre-Diciembre): [Fecha de consulta: 23 de noviembre de 2017] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87014516001>> ISSN 0378-7680

17. González Díaz, Francisco (2010) Realcalinización electroquímica del concreto reforzado carbonatado: una opción de prevención contra la corrosión. Doctorado thesis, Universidad Autónoma de Nuevo León.

18. Fceia.unr.edu.ar. (2017). AGUA PARA MORTEROS Y HORMIGONES. [online] Available at:

 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>GUÍA DE TRABAJO</p> <p>INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO</p>	<p>FECHA: 31 de Octubre de 2018</p> <p>VERSIÓN 1</p> <p>Página 86 de 87</p>
--	---	---

<http://www.fceia.unr.edu.ar/~fermar/Apuntes%20Tecnolog%C3%ADa%20del%20Hormig%C3%B3n%20UTN%20FRSF/Unidad%204%20-%20AGUA%20PARA%20MORTEROS%20Y%20HORMIGONES.pdf> [Accessed 23 Nov. 2017].

19. Orozco, E. (2017). Variables que afectan la resistencia del concreto, ¿cómo controlarlas?. [online] Blog 360 grados en concreto. Available at: <http://blog.360gradosenconcreto.com/variables-que-afectan-la-resistencia-del-concreto-como-controlarlas/> [Accessed 23 Nov. 2017].

20. Sagüés, A. A., and Powers, R. (1997) "Corrosion and corrosion control of concrete structures in Florida-What can be learned?" in Repair of Concrete Structures, A. Blankvoll, ed., Norwegian Road Research Laboratory, Oslo, Norway, pp. 49-58.

21. Göran Hedenblad. (1997). Drying of Construction Water in Concrete: Drying Times and Moisture Measurement. Statens råd för byggnadsforskning (Sweden): Swedish Council for Building Research.

22. Miguel Angel Sanjuan Barbudo & Servando Chinchon Yepes. (2004). INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN Y NORMALIZACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND. San Vicente del Raspeig: UNED.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO

GUÍA DE TRABAJO

INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE  
MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A  
LA COMPRESIÓN DE CONCRETO  
HIDRÁULICO

FECHA: 31 de Octubre de 2018

**VERSIÓN 1**

**Página 87 de 87**

---

Andrés Felipe León Rivera

Código: 505053

---

Cristian Enrique Reyes Lozano

Código: 505188

---

ING. INGRID MARILYN SILVA ROJAS

FECHA

(31/10/2018)