

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**INFLUENCIA DEL POTENCIAL HIDRÓGENO (pH) Y LA
CONCENTRACIÓN DE NITRATOS PRESENTES EN EL AGUA DE
MEZCLADO SOBRE EL COMPORTAMIENTO FÍSICO – MECÁNICO
DEL HORMIGÓN: ESTUDIO EN LABORATORIO.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MENCIÓN ESTRUCTURAS**

BRIAN JORDANO CAGUA GÓMEZ

bryan_jordano@hotmail.com

JAMES DAVID NATES PASAJE

davidn_9415@hotmail.com

DIRECTOR: ING. MBA. GERMÁN VINICIO LUNA HERMOSA.

german.luna@epn.edu.ec

Quito, Enero 2017

DECLARACIÓN

Nosotros, Brian Jordano Cagua Gómez, James David Nates Pasaje, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

BRIAN CAGUA GÓMEZ

JAMES NATES PASAJE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Brian Jordano Cagua Gómez y James David Nates Pasaje, bajo mi supervisión.

ING. MBA. GERMAN VINICIO LUNA HERMOSA
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar debo agradecer a Dios, gracias por el maravilloso regalo de la vida, por mi familia y por permitirme culminar con éxito este proyecto.

A mi madre Guadalupe, quien es el pilar fundamental de mi vida y que con su esfuerzo, trabajo y ejemplo ha logrado formarme. Te amo muchísimo mami.

A mi hermano Juninho, por alegrar mis días con tus tonterías y por presionarme para terminar lo más pronto posible con este proyecto.

Gracias a toda mi familia por su apoyo a la distancia y por siempre confiar en mis capacidades e inteligencia; la familia siempre es lo esencial en la vida.

Juls hermosa, un agradecimiento especial, por ser parte de mi vida y por el apoyo en este proyecto; muchas gracias mi amor.

Al Ing. Luna que fue parte fundamental en el desarrollo del proyecto, con su experiencia y su sabiduría nos ha apoyado siempre, es un gran maestro y guía.

De mi parte, debo agradecer eternamente el apoyo del equipo LEMSUR 2016 - Ing. Mercedes Villacís, Ing. Martínez, Paúl, Lis, Gis, Fanny, Lucho, Andreita, Don Freddy, Will, Sandy, Antonio y Mauxi- todos fueron indispensables en la realización del proyecto.

Debo agradecer el apoyo brindado por el Laboratorio de Ambiental de la EPN, gracias a los ingenieros Iván, Gabriela y Cristhian; también agradezco al INECYC y al CICAM, espero Dios los bendiga y sigan apoyando a los estudiantes con el mismo entusiasmo y dedicación.

Brian Cagua

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a mi Padre celestial, quien hasta aquí me ha ayudado y me ha provisto de todos los medios necesarios para la culminación de mi carrera y de este proyecto; la gloria y la honra sean siempre para Él.

A mis padres, que siempre me han brindado su apoyo y amor, y han estado a mi lado en todo momento dándome aliento para continuar hasta llegar a alcanzar este gran objetivo.

Al Ing. Germán Luna, nuestro director de tesis, por la orientación y los conocimientos impartidos que fueron fundamentales para el desarrollo de este estudio.

A todos los que formaron parte, durante la realización de este proyecto, del Laboratorio de Ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos de la Escuela Politécnica Nacional, de manera especial a la Ing. Mercedes Villacís, Ing. Paúl Zúñiga e Ing. Lizette Orbe, por la confianza y las facilidades que nos brindaron para la realización de los ensayos de laboratorio.

James Nate

DEDICATORIA

Dedico este proyecto principalmente a Dios, quien siempre ha estado presente en cada etapa de mi vida y me ha ayudado a finalizar este proyecto con éxito; a la Virgen María ya que siempre me ha cuidado desde el Cielo y me ha cubierto con su manto de protección y amor.

Y también dedico este proyecto con mucho cariño a mi madre, Guadalupe Gómez, ya que este logro no hubiera sido posible sin su apoyo; usted me da la fuerza necesaria y la motivación de alcanzar nuevas metas, gracias madre querida.

Brian Cagua

DEDICATORIA

Dedico este triunfo a Dios, de quien proviene todo conocimiento, porque sin su ayuda y respaldo no hubiera logrado llegar hasta aquí. Con todo mi cariño para mi mamá, Yanet Rocío Pasaje y mi papá, James Bernardo Nates, quienes han aguardado con mucha paciencia la culminación de este sueño; lo logramos, pero estoy seguro de que lo mejor está aún por venir.

James Nates

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
CONTENIDO.....	VIII
LISTA DE TABLAS.....	XI
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	XV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
PRESENTACIÓN	XVIII
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	4
1.4. ALCANCE	7
1.5. OBJETIVOS	8
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
CAPÍTULO 2	9
MARCO REFERENCIAL.....	9
2.1. FUNCIÓN DEL AGUA.....	9
2.2. QUÍMICA DEL CEMENTO.....	10
2.3. PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO.....	12
2.4. ESTUDIOS SIMILARES.....	14
2.5. POSIBLES FUENTES DE AGUA PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN.....	18
2.5.1. AGUA POTABLE	18
2.5.2. AGUA DE RÍO	19
2.5.3. AGUA LLUVIA	20
2.5.4. AGUA DE POZO	23
2.5.5. AGUA DE MAR.....	25
2.5.6. AGUAS TRATADAS.....	26
2.6. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	27
2.6.1. HORMIGÓN CONVENCIONAL.....	27
2.6.2. POTENCIAL HIDRÓGENO	28
2.6.3. NITRATOS	28

2.6.4.	TRABAJABILIDAD.....	29
2.6.5.	TEMPERATURA.....	29
2.6.6.	PESO UNITARIO DEL HORMIGÓN Y RENDIMIENTO	30
2.6.7.	CONTENIDO DE AIRE.....	31
2.6.8.	TIEMPOS DE FRAGUADO	32
2.7.	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO	33
2.7.1.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.....	33
2.7.2.	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL 34	
2.7.3.	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	34
2.8.	ECUACIONES DE CORRELACIÓN PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN.....	35
CAPÍTULO 3		37
METODOLOGÍA, MATERIALES, ENSAYOS Y NORMAS.....		37
3.1.	AGREGADOS	37
3.1.1.	GRANULOMETRÍA	38
3.3.2.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	40
3.3.3.	DENSIDADES APARENTES.....	44
3.3.4.	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN.....	46
3.3.5.	CONTENIDO ORGÁNICO.....	48
3.2.	AGUA.....	49
3.3.	CEMENTO	53
3.3.1.	DENSIDAD REAL.....	53
3.3.2.	DENSIDAD APARENTE.....	54
3.3.3.	CONSISTENCIA NORMAL	56
3.3.4.	TIEMPOS DE FRAGUADO	57
3.4.	DOSIFICACIÓN	59
3.5.	ENSAYOS EN EL HORMIGÓN FRESCO.....	62
3.5.1.	ASENTAMIENTO	62
3.5.2.	CONTENIDO DE AIRE.....	63
3.5.3.	PESO UNITARIO.....	65
3.5.4.	TEMPERATURA.....	67
3.5.5.	EFLORESCENCIA Y APARIENCIA SUPERFICIAL	67
3.6.	ENSAYOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN	68
3.6.1.	PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO.....	68
3.6.1.1.	ESPECÍMENES CILÍNDRICOS	69
3.6.1.2.	ESPECÍMENES PRISMÁTICOS.....	70
3.6.2.	COMPRESIÓN SIMPLE	71
3.6.3.	COMPRESIÓN DIAMETRAL (TRACCIÓN INDIRECTA)	73
3.6.4.	FLEXIÓN.....	75
CAPÍTULO 4		78
ANÁLISIS DE RESULTADOS		78
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS	78

4.1.1.	GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO Y FINO	78
4.1.2.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS	81
4.1.3.	DENSIDAD APARENTE DE LOS AGREGADOS.....	83
4.1.4.	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO	84
4.1.5.	CONTENIDO ORGÁNICO EN EL AGREGADO FINO	85
4.2.	CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO.....	86
4.2.1.	DENSIDAD REAL Y APARENTE	86
4.2.2.	CONSISTENCIA NORMAL Y TIEMPOS DE FRAGUADO.....	87
4.3.	DOSIFICACIÓN	89
4.4.	PROPIEDADES FÍSICAS DEL HORMIGÓN	95
4.4.1.	ASENTAMIENTO	96
4.4.2.	CONTENIDO DE AIRE.....	97
4.4.3.	PESO UNITARIO.....	97
4.4.4.	TEMPERATURA.....	98
4.4.5.	EFLORESCENCIA Y APARIENCIA SUPERFICIAL	99
4.5.	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN	104
4.5.1.	COMPRESIÓN SIMPLE	104
4.5.2.	COMPRESIÓN DIAMETRAL (TRACCIÓN INDIRECTA)	111
4.5.3.	FLEXIÓN	116
4.6.	COMPARACIÓN DE LAS ECUACIONES DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN.....	121
CAPÍTULO 5		124
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		124
5.1.	CONCLUSIONES.....	124
5.2.	RECOMENDACIONES	127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		128
ANEXOS		137

LISTA DE TABLAS

TABLA 2. 1. COMPUESTOS PRINCIPALES DEL CEMENTO.	11
TABLA 2. 2. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE MEZCLADO UTILIZADA POR VELEZMORO ET AL, PARA LA ELABORACIÓN DE HORMIGÓN.	15
TABLA 2. 3. FRAGMENTO DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.	19
TABLA 2. 4. CLASIFICACIÓN DE AGUA LLUVIA EN FUNCIÓN DEL PH.	21
TABLA 2. 5. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DE LAS MICRO-CUENCAS DE LOS RÍOS PACAYACU Y SACHA.	24
TABLA 2. 6. COMPOSICIÓN TÍPICA DEL AGUA DE MAR.	26
TABLA 2. 7. TEMPERATURAS MÍNIMAS DEL HORMIGÓN EN OBRA.	30
TABLA 2. 8. PROMEDIO DE LAS DENSIDADES OBSERVADAS PARA EL CONCRETO FRESCO.	31
TABLA 3. 1. SERIE MÓDULO DE FINURA (DUFF ABRAMS).	39
TABLA 3. 2. LÍMITES MÁXIMOS RECOMENDADOS DE IMPUREZAS PARA EL AGUA DE MEZCLADO.	50
TABLA 3. 4. CONDICIONES GENERALES PARA DOSIFICACIÓN.	60
TABLA 4. 1. RESULTADOS Y REQUISITOS DE GRADACIÓN PARA AGREGADOS GRUESO.	79
TABLA 4. 2. RESULTADOS Y REQUISITOS DE GRADACIÓN PARA AGREGADOS FINO.	80
TABLA 4. 3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO.	81
TABLA 4. 4. RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO.	82
TABLA 4. 5. RESULTADOS DE DENSIDADES APARENTES DE AGREGADO GRUESO.	83
TABLA 4. 6. RESULTADOS DE DENSIDADES APARENTES DE AGREGADO FINO.	83
TABLA 4. 7. RESULTADOS DE ABRASIÓN Y COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DEL AGREGADO GRUESO.	84
TABLA 4. 8. RESULTADO DE ENSAYO DE MATERIA ORGÁNICA EN AGREGADO FINO.	86
TABLA 4. 10. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDADES APARENTES DEL CEMENTO.	87
TABLA 4. 11. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO.	88
TABLA 4. 12. TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CEMENTO.	88
TABLA 4. 13. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.	89
TABLA 4. 14. ASENTAMIENTO RECOMENDADO.	90

TABLA 4. 15. TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO RECOMENDADO.	90
TABLA 4. 16. CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO.	91
TABLA 4. 17. RELACIÓN AGUA - CEMENTO (A/C) RECOMENDADA.	92
TABLA 4. 18. CANTIDAD DE AGREGADO GRUESO.	92
TABLA 4. 19. CANTIDADES EN VOLUMEN DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN.	92
TABLA 4. 20. CANTIDADES CORREGIDAS DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN.	93
TABLA 4. 21. CANTIDADES REQUERIDAS DE HORMIGÓN.	93
TABLA 4. 22. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN PATRÓN.	94
TABLA 4. 23. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	105
TABLA 4. 24. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL.	111
TABLA 4. 25. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.	116
TABLA 4. 26. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN Y FLEXIÓN CALCULADOS MEDIANTE ECUACIONES EMPÍRICAS.	121

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2. 1 a). TIEMPOS DE FRAGUADO DE LA PASTA DE CEMENTO CON AGUA POTABLE.....	16
FIGURA 2. 1 b). TIEMPOS DE FRAGUADO DE LA PASTA DE CEMENTO CON AGUA CON NITRATOS.	16
FIGURA 2. 2. DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO CON AGUA POTABLE Y AGUA CON NITRATO.	17
FIGURA 2. 3. RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y EL POTENCIAL HIDROGENO DEL AGUA DE MEZCLADO.	18
FIGURA 2. 4. GRÁFICO DE CONTORNO PARA EL PH DEL AGUA LLUVIA EN LA CIUDAD DE QUITO –DICIEMBRE 2008 Y ENERO 2009.	22
FIGURA 2. 5. GRÁFICO DE CONTORNO PARA EL ION NITRATO, EN PPM, EN LA CIUDAD DE QUITO –DICIEMBRE 2008 Y ENERO 2009.	23
FIGURA 2. 6. CRECIMIENTO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.....	33
FIGURA 3. 1. UBICACIÓN DE LA MINA DE PIFO.	37
FIGURA 3. 2. ALGORITMO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN.....	61
FIGURA 3. 3. ESQUEMA DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO A FLEXIÓN.	76
FIGURA 4. 1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO.....	79
FIGURA 4. 2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO.	80
FIGURA 4. 3. RESISTENCIA ESPERADA EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO.	91
FIGURA 4. 4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.	95
FIGURA 4. 5. ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE AGUA DE MEZCLADO.	96
FIGURA 4. 6. CONTENIDO DE AIRE DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE AGUA DE MEZCLADO.	97
FIGURA 4. 7. PESO UNITARIO DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE AGUA DE MEZCLADO.	98
FIGURA 4. 8. TEMPERATURA DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE AGUA DE MEZCLADO.	99
FIGURA 4. 9. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.	106
FIGURA 4. 10. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL POTENCIAL HIDRÓGENO.....	106
FIGURA 4. 11. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.	108
FIGURA 4. 12. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN EL AGUA.....	108

FIGURA 4. 13. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN A LOS 28 DÍAS.....	110
FIGURA 4. 14. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	112
FIGURA 4. 15. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL POTENCIAL HIDRÓGENO.....	112
FIGURA 4. 16. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	113
FIGURA 4. 17. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN EL AGUA.....	114
FIGURA 4. 18. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL HORMIGÓN A LOS 28 DÍAS.....	115
FIGURA 4. 19. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	117
FIGURA 4. 20. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL POTENCIAL HIDRÓGENO.....	117
FIGURA 4. 21. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	118
FIGURA 4. 22. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN EL AGUA.....	119
FIGURA 4. 23. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL HORMIGÓN A LOS 28 DÍAS.....	120
FIGURA 4. 24. COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A TRACCIÓN EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	122
FIGURA 4. 25. COMPARACIÓN DEL MODULO DE ROTURA EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	123

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 3. 1. GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESO	39
FOTOGRAFÍA 3. 2. GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINO	40
FOTOGRAFÍA 3. 3. ENSAYO PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO.....	42
FOTOGRAFÍA 3. 4. ENSAYO PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO.....	43
FOTOGRAFÍA 3. 5. DENSIDADES APARENTES DEL AGREGADO.....	45
FOTOGRAFÍA 3. 6. DENSIDADES APARENTES DEL AGREGADO.....	46
FOTOGRAFÍA 3. 7. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES LEMSUR.....	47
FOTOGRAFÍA 3. 8. DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN AGREGADO FINO.....	49
FOTOGRAFÍA 3. 9. DETERMINACIÓN DE PH Y NITRATOS.....	52
FOTOGRAFÍA 3. 10. ENSAYO DE DENSIDAD REAL DEL CEMENTO.....	54
FOTOGRAFÍA 3. 11. ENSAYO DE DENSIDADES APARENTES CEMENTO.....	55
FOTOGRAFÍA 3. 12. ENSAYO DE CONSISTENCIA NORMAL.....	57
FOTOGRAFÍA 3. 13. ENSAYO DE TIEMPOS DE FRAGUADO.....	58
FOTOGRAFÍA 3. 14. ENSAYO DE ASENTAMIENTO EN MUESTRA PATRÓN.....	63
FOTOGRAFÍA 3. 15. ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE, MÉTODO VOLUMÉTRICO.....	65
FOTOGRAFÍA 4. 1. CONTENIDO ORGÁNICO DE AGREGADO FINO.....	85
FOTOGRAFÍA 4. 2. MUESTRA PATRÓN: AGUA POTABLE CON 116 DÍAS AL AMBIENTE.....	100
FOTOGRAFÍA 4. 3. MUESTRA: pH = 8,5 CON 115 DÍAS AL AMBIENTE.....	100
FOTOGRAFÍA 4. 4. MUESTRA: pH = 10 CON 114 DÍAS AL AMBIENTE.....	101
FOTOGRAFÍA 4. 5. MUESTRA: pH = 5 CON 113 DÍAS AL AMBIENTE.....	101
FOTOGRAFÍA 4. 6. MUESTRA: pH = 6 CON 112 DÍAS AL AMBIENTE.....	102
FOTOGRAFÍA 4. 7. MUESTRA: 22,7 [MG/L] CON 108 DÍAS AL AMBIENTE.....	102
FOTOGRAFÍA 4. 8. MUESTRA: 40,4 [MG/L] CON 107 DÍAS AL AMBIENTE.....	103
FOTOGRAFÍA 4. 9. MUESTRA: 13,3 [MG/L] CON 106 DÍAS AL AMBIENTE.....	103

RESUMEN

Este proyecto se realiza con el objetivo de evaluar el comportamiento del hormigón tanto en estado fresco, como en estado endurecido cuando se realiza su fabricación con agua de mezclado que presente variaciones de los parámetros potencial hidrógeno y de la concentración de nitratos; se ha definido una mezcla patrón o base, con una resistencia específica requerida de 210 kg/cm², fabricada con agua potable de la que se han determinado los valores tanto de pH, como concentración de nitratos, obteniendo 6,85 unidades y 2,3 mg/l respectivamente.

En base a la bibliografía consultada, se obtiene que el agua en la naturaleza, presenta valores de pH entre 5 a 10 unidades y concentraciones de nitratos entre 0 y 50 [mg/l], por lo que se establece realizar este estudio con mezclas de hormigón fabricado con agua de mezclado con valores de pH de 5.0, 6.0, 6.8, 8.5 y 10 unidades, mientras que para concentraciones de nitratos se utiliza 2.3, 13.3, 22.7 y 40.4 mg de nitratos por cada litro de agua.

Con el diseño de hormigón definido, se procede al ensayo de cada una de las mezclas de prueba; en estado fresco se realizaron los siguientes ensayos: Asentamiento, Contenido de Aire, Peso Unitario y Temperatura. Para el análisis del hormigón en estado endurecido, se procedió al moldeo y conservación, bajo condiciones de laboratorio, de los especímenes de prueba; se realizaron ensayos de Compresión Simple y Compresión Diametral (Tracción Indirecta), para los cuales se fabricaron probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, para el ensayo de Flexión se fabricaron vigas de sección transversal de 10X10 cm y longitud de 40 cm.

Los ensayos se realizaron a edades de 7, 14, 28 y 56 días con la finalidad de evaluar el desarrollo de cada una de las mezclas, en cada una de estas edades se ensayaron cinco probetas, esto con la intención de obtener datos representativos y más acordes a la realidad.

ABSTRACT

The objective in this research is appraise the concrete behavior in fresh and hardened condition, whenever this is make with mixing water with variations of parameters such as nitrates concentrations and pH; for this was defined a concrete mixture with a specific compressive strength of 210 kg/cm², it was made with drinking water, and its parameters were obtained, pH=6.85, and 2.3 [mg/l] nitrates concentrations.

Water in nature present pH values in the range of 5 to 10 unities and nitrates concentrations among 0.0 and 40.0 [mg/l], for this reason this research analyze concrete mixtures with pH values of 5.0, 6.0, 6.8, 8.5 and 10 unities, while for nitrates concentrations were used 2.3, 13.3, 22.7 and 40.4 [mg/l].

With the concrete design defined, the tests are made in fresh and hardened concrete. In fresh concrete were tested Slump, Air Content, Unit Weight and Temperature. For hardened concrete was made specimens and were preserved in laboratory conditions; the tests for this condition were compressive strength and diametral compression (indirect traction), for this cylindrical specimens with 10 cm. of diameter and 20 cm. of height were made, in the case of Flexural test prismatic specimens with 10x10 cm cross section and 40 cm of length were made.

For studied the concrete development and obtain representative information, five specimens of each concrete mixture were tested to 7, 14, 28 and 56 days of age.

PRESENTACIÓN

El desarrollo de proyectos en lugares alejados y desprovistos del abastecimiento controlado de materiales y componentes del hormigón, obliga muchas veces a buscar y utilizar fuentes cercanas a los lugares de emplazamiento de obras, de modo de proveer los recursos necesarios, disminuir costos y maximizar el tiempo de ejecución de dichos proyectos, es por esta razón que se centra este estudio en uno de los factores más importantes en una mezcla de hormigón, el agua, ya que las variaciones de parámetros como pH y concentración de nitratos podría ser o no de notable influencia en las propiedades del hormigón.

El presente proyecto de investigación se divide en 5 capítulos y anexos, tal y como se detalla a continuación:

Capítulo 1. Introducción, se presentan en esta sección, los antecedentes, planteamiento, importancia y justificación, alcance y objetivos de la investigación.

Capítulo 2. Marco Referencial, contiene un resumen de estudios previos realizados, así como los conceptos fundamentales sobre el objeto de estudio y las propiedades sobre las que tendría influencia.

Capítulo 3. Metodología, Materiales, Ensayos y Normas, este capítulo contiene el método de investigación aplicado, materiales utilizados, análisis y normativa vigente para el control y análisis de agregados, cemento, agua y hormigón

Capítulo 4. Análisis de Resultados, en esta sección se registran los resultados obtenidos de los ensayos realizados en agregados, cemento y hormigón, así como el análisis comparativo entre las ecuaciones obtenidas de la literatura técnica y los ensayos experimentales en laboratorio.

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones, este capítulo constituye la síntesis de este estudio, se presentan el análisis de los resultados obtenidos mediante conclusiones y observaciones realizadas sobre la influencia de los parámetros de estudio en el hormigón.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El ser humano desde su aparición en la tierra busca sobrevivir, para cumplir con éste propósito necesitó cubrir sus necesidades básicas, entre ellas: alimentación, vivienda y seguridad. A lo largo de la historia, el agua ocupa un lugar privilegiado en la vida del hombre y es por ello que la mayoría de asentamientos humanos se encuentran cerca de este líquido vital ya sea por alimentación, navegación u otros, con la finalidad del bienestar y la supervivencia.

Actualmente, la cantidad de agua en la tierra es la misma que hace más de 2.000 años ya que solo se transforma dentro de lo que se conoce como el ciclo hidrológico del agua; sin embargo, con distintas condiciones de calidad y presentación (Ochoa, 2016).

Es importante recalcar que el sistema consumista ha cambiado la mentalidad de las personas buscando no solo la supervivencia sino el confort, a costa de cualquier cosa e incluso de la destrucción del ambiente.

“El consumo de agua en el mundo aumentó seis veces entre 1900 y 1995 -más del doble de la tasa de crecimiento de la población- y continúa aumentando a medida que incrementa tanto la demanda doméstica como industrial” (Kirby, 2004).

En la industria de la construcción el hormigón es considerado como el material más utilizado para llevar a cabo obras civiles; algunos autores estiman que se utiliza aproximadamente un tercio de tonelada de hormigón por cada ser humano en el planeta; adicionalmente, el agua ocupa normalmente entre el 15% y 20% del volumen total de hormigón fresco lo que disminuye la cantidad de agua destinada para consumo humano (Porrero, Ramos, Grases, & Velazco, 2014).

Debido a esto, en los últimos 10 años se ha incrementado el interés de investigadores en estudiar fuentes alternativas de aguas para la fabricación de hormigón, y no únicamente agua potable, sin comprometer sus características físicas y/o mecánicas, priorizando diseños seguros, económicos y viables.

Una de las principales fuentes alternativas de aguas son las aguas tratadas, es decir, aguas contaminadas que son sometidas a diferentes procesos para disminuir el grado de impurezas presentes en ellas con el objetivo de reutilizarlas en otros procesos e incluso para el consumo humano. Otras posibles fuentes de aguas para la elaboración de hormigón pueden ser: agua de río, agua lluvia, agua de pozo o de mar, entre otras; estas aguas en contraste con el agua potable pueden presentar impurezas que modifiquen de manera perjudicial o benéfica las propiedades del hormigón; no obstante, aún se requieren de mayores estudios para corroborar esta hipótesis.

Entre los principales estudios sobre el comportamiento y las propiedades del hormigón elaborados con aguas tratadas, se tienen los realizados por:

- (Dieguez, 2011) determina que el agua proveniente de la planta de tratamiento de Los Teques ubicada en la ciudad venezolana del mismo nombre, estado de Miranda, cumple con los límites establecidos por las normas para ser usada como agua de mezclado, aunque presente una diferencia mayor al 10% de la resistencia con respecto al agua patrón; en contraste, otras propiedades físicas no varían significativamente.
- (Institute Of Environmental Science & Engineering (IESE), National University of Sciences & Technology (NUST), 2005) ésta investigación utiliza diferentes porcentajes de aguas residual y corrobora que la muestra con 50% de agua municipal residual y 50% de agua potable presenta resultados aceptables de resistencia en comparación a utilizar exclusivamente agua potable.
- (Flores, González, Rocha, & Vázquez, 2001) como principal conclusión se tiene que: “el elaborar especímenes de hormigón con agua proveniente de tres plantas de tratamiento en México: Chapultepec, Azcapotzalco y Tlatelolco, no causa efectos negativos tales como reducción de la

resistencia a la compresión; por el contrario, se tienen incrementos entre 10 y 40 por ciento en su resistencia”.

De la misma manera existen otros autores que han tenido resultados favorables al utilizar aguas tratadas en la elaboración de hormigón, siendo los efectos negativos sobre las propiedades físicas – mecánicas insignificantes como para descartar esta fuente alternativa u otras que presenten propiedades diferentes al agua potable; entre ellos se tiene a Ibrahim & Mohammad J. y Alenezi. (Ibrahim & Mohammad J. (2003). Use of treated wastewater for concrete mixing in Kuwait: *Kuwait University*, 214-228; Alenezi. (2010). Evaluation and Assessment of Concrete Produced by Utilizing of Treated Wastewater: *National Ready Mixed Concrete Association*, 1 – 9.)

Las iniciativas aquí planteadas y otras, en las cuales se investiga cómo estos dos parámetros: el pH y la concentración de nitratos, influyen en el comportamiento físico – mecánico del hormigón, son grandes contribuciones a la ciencia y a la humanidad puesto que intentan entender de mejor manera lo que sucede con el hormigón al utilizar agua de mezclado diferente a la considerada como “potable” y con ello reducir su utilización en la industria de la construcción, priorizando esta última fuente de agua para el consumo humano.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los principales problemas que afronta el mundo es el suministro y distribución de agua potable. La escasez de este líquido vital está relacionado, evidentemente, con el crecimiento de la población, la contaminación de los acuíferos, así como con el alto costo de transporte de agua cuando se suministra de lugares apartados; en consecuencia se debería priorizar su uso estrictamente para el consumo humano.

Normalmente el agua que se emplea en los procesos de fabricación de hormigones, productos y aglomerantes, debe ser calificada como agua “potable” y cumplir con los requisitos previsto en la NTE INEN 2617, pero, por otra parte, cuando se ignora la calidad del agua utilizada, o se sabe que no es apta para el consumo humano por su procedencia o por su composición química se puede

estar frente a un grave riesgo puesto que es incierto el proceso químico interno que estas aguas pueden tener en las mezclas cementicias, pudiendo ser beneficiosas o perjudiciales.

Las variaciones de la cantidad y cantidad del agua en la dosificación de un hormigón generarán mezclas de diferentes resistencias, diferentes estados plásticos y distintos comportamientos aun conservando constantes los demás componentes de la mezcla.

En la construcción, el no alcanzar la resistencia esperada del hormigón muchas veces obliga al derrocamiento de los elementos estructurales elaborados con dicho hormigón o a incurrir en gastos para reforzamiento; es posible que en algunos casos esta baja resistencia no se deba a una dosificación incorrecta sino a un efecto de la calidad del agua utilizada.

Si no se realizan estudios de la influencia de diferentes parámetros de calidad del agua de mezclado sobre las propiedades físico - mecánicas del hormigón preparadas con ésta, se puede llegar a tener grandes afectaciones en las construcciones de hormigón e inclusive puede ser perjudicial para la vida de las personas que las ocupan, puesto que el no tener criterios adecuados en la dosificación de hormigón, convierte a estas edificaciones en vulnerables desde el punto de vista estructural.

El proyecto busca aportar información comprobable o criterios probados y adecuados para prever el comportamiento del hormigón y sus propiedades mecánicas al utilizar aguas con diferente grado de pH y concentración de nitratos, y en base a ello tener diseños más seguros, con lo cual se pueda salvaguardar la vida de sus ocupantes y de las inversiones.

1.3. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Al momento de fabricar hormigón, se cuida con mucho celo el uso del cemento por ser el componente más costoso; sin embargo, el cemento no hará ningún trabajo por sí solo ya que requiere del agua para su activación. El agua puede ser considerada el elemento más económico, pero tanto el cemento como el agua son

igualmente importantes en el diseño de una mezcla de hormigón, esta última por alteraciones en la cantidad y en su calidad. (Asociación Colombiana de Productores de Concreto – ASOCRETO, (2010). *Tecnología del concreto: Materiales, propiedades y diseño de mezclas* (3ª Ed.). Colombia: Nomos Impresores.)

Actualmente las normas INEN permiten el uso únicamente de agua potable sin requerir ensayos previos para verificar su calidad; no obstante, la NTE INEN 1108 que regula los requisitos del agua potable permite concentraciones de nitratos de hasta 50 [mg/l] y acorde con el estudio de Velezmoro, A., Blanco, H. y Peñuela, C. en 2014, una concentración de nitratos de 12,1 [mg/l] puede producir efectos indeseados en la resistencia del hormigón. La NTE INEN 2617, indica los requisitos que debe cumplir el agua de mezclado para la fabricación de hormigón; sin embargo, no proporciona lineamientos sobre niveles de pH y la concentración de nitratos.

Hay lugares donde se llevan a cabo obras de ingeniería y no se cuenta con el recurso del agua potable y resulta costoso transportarla desde un lugar que si lo tenga. El presente trabajo es de gran interés tanto para investigadores y constructores del sector público y privado que están involucrados en el campo de la construcción de vías, bordillos, veredas y demás estructuras en las que se tiene al hormigón como principal material constitutivo. Culminar con éxito esta investigación aportará a una disminución en el costo de las obras en las cuales no se tenga acceso al agua potable, pues se podrá hacer uso de otra fuente de agua que, si bien es cierto no es apta para el consumo humano por su nivel de pH y/o la concentración de nitratos, se la podrá usar para el mezclado del hormigón siempre y cuando cumpla con los límites en los parámetros que se analizarán en este trabajo. Lo anterior, considerando que el rubro de la fabricación de hormigón, es uno de los más significativos en obras civiles.

En el campo, es muy común encontrar fuentes de agua con diferentes niveles de pH, como es el agua lluvia; en base del estudio de Flores, R. y Bonilla, P. en 2009, se puede evidenciar que el 50% de la superficie de Quito es afectada por lluvia acida, es decir, con un pH menor a 5,6 lo que podría afectar a la fabricación de hormigón cuando se use esta agua.

El nitrato es uno de los principales contaminantes de las aguas subterráneas en especial en áreas rurales, donde se utilizan fertilizantes y otros químicos que contienen elevadas concentraciones de nitrato para la agricultura o debido a la presencia de pozos sépticos y almacenamiento de estiércol o procesos de extensión. Además, generalmente el proceso de contaminación por nitratos depositados en la superficie de la tierra al agua subterránea es lento; según la información presentada por Lenntech, de la Universidad Técnica de Delft, existe un lapso de aproximadamente 20 años entre la actividad contaminante y la detección de contaminantes en el subsuelo. (*Nitratos en las aguas subterráneas* (en línea). Disponible en: <http://www.lenntech.es/agua-subterranea/nitratos.htm>)

Investigadores de la Universidad de Sídney, en Australia, han calculado el promedio de la huella de nitrógeno en 188 países y han determinado que los países en vías de desarrollo son los más afectados debido a la gran demanda de materia prima por parte de las grandes potencias. El estudio refleja que en Ecuador se tiene una producción de 30 kg de nitrógeno por persona al año. (Sorgato V. (s.f.). *La huella de nitrógeno fue calculada* (en línea). Disponible en: http://edicionimpresa.elcomercio.com/es/xml_noticia/4566110)

Es importante también mencionar el factor ambiental, el agua es un recurso vital y por lo tanto se debe minimizar al máximo el uso del agua tratada en fines que no sean de consumo humano. Los resultados del presente trabajo servirán para emplear agua reutilizada con la confianza de que dicha agua no va a afectar las características físicas ni el comportamiento mecánico del hormigón. Esto ayudaría entonces a resguardar un bien tan preciado como es el agua si se reutilizara aun en lugares con fácil acceso al recurso en mención.

Los resultados del estudio podrían incorporarse en una futura modificación a la NTE INEN 2617 para incluir requisitos sobre pH y concentraciones de nitratos, lo que beneficiaría a todos los que hacen uso del hormigón. Las hormigoneras, fabricantes de bloques adoquines y prefabricados, por ejemplo, son empresas que estarían interesadas en los resultados de esta investigación, pues reducirían el costo de la fabricación de grandes volúmenes de hormigón al reemplazar el uso de agua potable por agua reutilizada o de fuentes naturales.

Este estudio no verificará el comportamiento conjunto del hormigón con el acero. Este puede ser objeto de un estudio futuro que incluya ensayos relacionados con la afectación de la calidad del agua sobre acero de refuerzo, realizando ensayos de adherencia, de corrosión, flexión, etc.

1.4. ALCANCE

El presente trabajo pretende, principalmente, determinar en porcentaje la variación de la resistencia a compresión, la resistencia a tracción por flexión y la resistencia a tracción por compresión diametral del hormigón fabricado con aguas con diferente concentración de nitratos y diferentes niveles de potencial hidrógeno (pH). Esta información permitirá al dosificador del hormigón hacer las modificaciones necesarias a la dosificación según el contenido de nitratos y el nivel de pH que tenga el agua de mezclado que se usará en la fabricación.

La dosificación de hormigón base para este proyecto es de 210 [kg/cm²], la misma se realiza en base del método planteado por el American Concrete Institute, Committee 211.1: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, con material pétreo proveniente de la mina de la empresa Holcim, ubicada en Pifo.

Los especímenes de hormigón utilizados para el desarrollo del proyecto serán moldeados en cilindros de 10 [cm] de diámetro y 20 [cm] de altura para realizar ensayos a compresión, cilindros de 15 [cm] de diámetro y 30 [cm] de altura para determinar la resistencia a la tracción por compresión diametral también denominada tracción indirecta, y probetas prismáticas de sección transversal de 10 [cm] x 10 [cm] y 40 [cm] de longitud, destinado a ensayos de flexión.

La caracterización de las propiedades de los materiales pétreos y la determinación de las resistencia a la compresión, tracción indirecta y flexión, se lleva a cabo siguiendo los lineamientos de las Normas Técnicas Ecuatorianas descritas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN) y normas internacionales del American Society for Testing and Materials (ASTM).

Cabe recalcar que dentro de este estudio no se considerará las reacciones que pueda tener los componentes del agua con el acero, este análisis podría ser incluido en estudios futuros y sería útil para evaluar la influencia de la calidad del agua en el hormigón armado. Las conclusiones del presente trabajo tampoco incluyen la aprobación o desaprobación de ninguna fuente de agua para fabricar un hormigón de buena calidad; en base a los resultados que se obtengan el dosificador elegirá la fuente que le brinde mejores condiciones.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Valorar el efecto que pueden presentar el pH y los niveles de nitratos del agua de mezclado sobre las propiedades físicas – mecánicas del hormigón mediante el estudio en laboratorio.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Encontrar la dosificación para una resistencia a la compresión del hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con los materiales de estudio.
- Establecer los niveles de pH y las concentraciones de nitratos aceptables en las aguas de mezclado para la fabricación del hormigón a ensayar.
- Ensayar las probetas de hormigón simple fabricadas con las diferentes calidades de agua de mezclado y a diferentes edades.
- Comparar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con las diferentes calidades de agua de mezclado.
- Evaluar la precisión de las ecuaciones que correlacionan la resistencia a la compresión con la tracción por compresión diametral y con la resistencia a tracción por flexión empleando los resultados experimentales.

CAPÍTULO 2

MARCO REFERENCIAL

2.1. FUNCIÓN DEL AGUA

Todo material elaborado necesita de materia prima para luego de un proceso llegar a tener el producto terminado. En el caso del hormigón, la materia prima es: el agregado grueso, el agregado fino, el cemento y el agua. Estos son los elementos fundamentales para su elaboración, pues fuera de estos se puede hacer uso también de aditivos que le dan al hormigón ciertas características según sea su necesidad. Estos materiales constituyen la materia prima básica y son igual de indispensables en la fabricación del hormigón. El agua, aunque es el material que menor costo representa, cumple un papel muy importante en el hormigón, pues no interviene sólo en el proceso de mezclado sino también para el curado.

El agua utilizada para fabricar hormigón tiene gran relevancia en la calidad del mismo, porque participa en la hidratación de las partículas de cemento, formando así la pasta que servirá para unir todos los agregados, al endurecer, y darle el estado sólido y la dureza característica del hormigón.

La calidad del agua de mezclado debe cumplir ciertos parámetros respecto a sus componentes ya que estos pueden alterar la calidad del acero o reaccionar desventajosamente con el cemento. La norma NTE INEN 2617:2012 define los requisitos de composición y desempeño que debe tener el agua empleada en la elaboración de hormigón.

Una de las propiedades del hormigón que se ve alterada debido a la cantidad de agua utilizada es la trabajabilidad o fluidez de la mezcla, dado que a mayor cantidad, más fluidez y más trabajabilidad se presenta en la masa de hormigón. Este factor debe ser controlado, pues si se agrega más agua sin agregar cemento adicional al hormigón la resistencia disminuye, esto debido a que la resistencia está definida fundamentalmente por la relación agua-cemento de la mezcla.

En cuanto al curado del hormigón y definiéndolo como la acción de mantener un adecuado contenido de humedad y temperatura en el mismo durante su edad temprana, se puede decir que si bien no es indispensable para la obtención del hormigón, tiene una gran influencia en su calidad final y es necesario para lograr tener las propiedades para las que fue diseñado.

La principal razón por la que se debe efectuar un curado adecuado en el hormigón es para alcanzar la resistencia de diseño. Ensayos de laboratorio han comprobado que un hormigón sin ningún tipo de curado puede llegar a perder hasta un 40% de su resistencia con respecto a un hormigón de la misma mezcla aplicando un buen curado durante sus primeros días (Manobanda, 2013).

Otras ventajas que presenta un hormigón bien curado son su durabilidad e impermeabilidad al agua. Un hormigón en óptimas condiciones de humedad presenta una mayor dureza superficial y mayor resistencia a la abrasión. (Moore HJ., 2011).

2.2. QUÍMICA DEL CEMENTO

Según la Norma UNE 80-301 (1996), el cemento se define como un conglomerado hidráulico, en otras palabras, un material inorgánico que amasado con agua forma una pasta que fragua y endurece debido a reacciones y procesos de hidratación y que conserva su resistencia y estabilidad cuando se endurece, incluso bajo el agua.

La materia prima utilizada en la fabricación de cemento Portland consiste, principalmente, de Óxido de calcio: "Cal" (CaO), Dióxido de Sílice: "Sílicato" (SiO₂), Óxido de Aluminio: "Aluminato" (Al₂O₃) y Óxido de Hierro: "Hierro" (Fe₂O₃), generalmente en la química del cemento cada óxido es representado de forma abreviada por una letra como C, S, A y F respectivamente; estos compuestos simples reaccionan unos con otros en el proceso de clinkerización transformándolos en compuestos más complejos, tal y como se enuncia en la publicación de "Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseños de Mezclas" Tomo 1 del ASOCRETO.

En la Tabla 2.1. se enumeran los cuatro compuestos principales del cemento que se forman a partir de los óxidos mencionados. Es importante resaltar que las cantidades efectivas de los diferentes compuestos varían considerablemente de un cemento a otro y de esta forma es posible obtener distintas clases de cemento.

TABLA 2. 1. COMPUESTOS PRINCIPALES DEL CEMENTO.

Nomenclatura	Abreviatura
Sílicato tricálcico	C ₃ S
Sílicato didálcico	C ₂ S
Aluminato tricálcico	C ₃ A
Ferroaluminato tetracálcico	C ₄ AF

FUENTE: Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2010). Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseños de Mezclas (Tercera edición, Vol. 1).

Es importante mencionar que el mercado ofrece más opciones en cuanto a cemento se refiere; la Norma Técnica INEN 2380: “Cemento Hidráulico. Requisitos de Desempeño para Cementos Hidráulicos”, muestra la clasificación de cementos hidráulicos de acuerdo a su desempeño o características especiales:

- Tipo GU: Construcción en general.
- Tipo HE: Alta Resistencia Inicial.
- Tipo MS: Moderada Resistencia a los Sulfatos.
- Tipo HS: Alta Resistencia a los Sulfatos.
- Tipo MH: Moderado Calor de Hidratación.
- Tipo LH: Bajo Calor de Hidratación.

El desempeño del hormigón dependerá tanto del tipo de cemento como de las características de cada uno de sus componentes, además del diseño, aplicación, tratamiento en estado endurecido como el curado, entre otros factores.

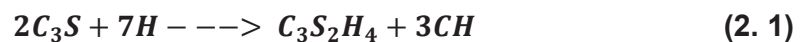
2.3. PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO

El fraguado y endurecimiento del hormigón se da por un proceso físico-químico entre el agua y el cemento, el cual inicia desde el momento mismo en el que se ponen en contacto, a este proceso se le denomina hidratación del cemento.

Como anteriormente se ha mencionado, el clinker de cemento portland está formado por cuatro compuestos mayoritarios: silicato tricálcico (C_3S), silicato dicálcico (C_2S), aluminato tricálcico (C_3A) y ferroaluminato tetracálcico (C_4AF), dado que las reacciones químicas que se presentan durante la hidratación del cemento son muy complejas, se analiza a cada uno de sus compuestos por separado, esto supone que la hidratación de cada uno es independiente de los otros procesos que se presentan, sin embargo esto no siempre es válido. (Universidad de Oviedo, s.f.)

- **Hidratación de Silicatos de Calcio.**- El proceso de hidratación de los dos compuestos de silicato cálcico son similares, sólo difieren en la cantidad de hidróxido de calcio $Ca(OH)_2 = CH$ que se forma y por la cantidad de calor de hidratación liberado durante el proceso.

Silicato tricálcico (C_3S)



Calor de hidratación liberado $\Delta H = -1114$ [KJ/Mol]

Silicato dicálcico (C_2S)

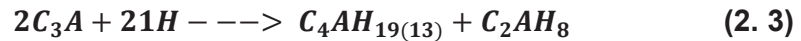


Calor de hidratación liberado $\Delta H = -43$ [KJ/Mol]

La fórmula $C_3S_2H_4$ sólo es una aproximación, porque la composición de este hidrato puede variar en un intervalo muy amplio.

- **Hidratación del aluminato tricálcico (C_3A).**- De los minerales presentes en el cemento portland, el aluminato tricálcico (C_3A) es el más reactivo con el agua y tiene una influencia significativa en la temprana hidratación y la consistencia de la pasta de cemento portland y el hormigón. El proceso de hidratación de este compuesto puede generar un fraguado rápido en su

etapa inicial debido a la rápida formación de los hidratos de aluminato de calcio. La reacción que corresponde a este compuesto al ponerse en contacto con el agua es la que sigue:



Calor de hidratación liberado $\Delta H = -340$ [KJ/Mol]

Sin embargo, para regular la hidratación del aluminato tricálcico y evitar el rápido fraguado de la pasta de cemento se adiciona yeso a la molienda del clinker. El yeso aporta a la mezcla iones de sulfato $(SO_4)^{2-}$, en presencia de estos iones las reacciones de hidratación son reemplazadas por otras más lentas.

En el periodo inicial el C_3A y el yeso se disuelven rápidamente en el agua según las reacciones:



Los iones formados en estas reacciones se combinan instantáneamente para formar cristales de etringita ($C_6A\bar{S}_3H_{32}$) la cual cubre y protege las partículas de C_3A impidiendo la difusión de los iones SO_4^{2-} , $(OH)^-$ y Ca^{2+} . Esta capa es la que reduce la velocidad de reacción debido a que los iones SO_4^{2-} , y Ca^{2+} deben atravesarla por difusión antes de que puedan reaccionar formando nuevamente etringita. La duración de esta etapa depende de la cantidad de yeso, pues la etringita permanece estable mientras haya suficiente exceso de SO_4^{2-} . A falta de yeso (iones SO_4^{2-}) la etringita empieza a reaccionar con el C_3A formando monosulfatos. Al ir desapareciendo la capa de etringita la velocidad de hidratación del C_3A vuelve a crecer debido a que puede reaccionar libremente otra vez.

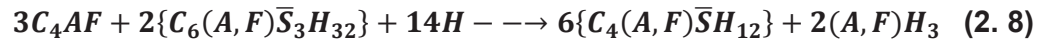
La reacción de hidratación total del C_3A se puede escribir de la siguiente manera:



Calor de hidratación liberado $\Delta H = -362$ [KJ/Mol]

- **Hidratación del ferroaluminato tetracálcico (C_4AF).**- El proceso de hidratación de este compuesto en presencia del yeso es muy similar al del

aluminato tricálcico aunque las reacciones son más lentas. Las ecuaciones que expresan el proceso de hidratación del C_4AF son las siguientes:



La superposición de los procesos de hidratación de estos compuestos como se dijo anteriormente, brinda una aproximación de la compleja reacción que se da en la pasta al entrar en contacto el cemento y el agua.

2.4. ESTUDIOS SIMILARES

De los estudios más relevantes respecto al tema de la presente investigación se pueden destacar el realizado en el año 2014 por Velezmoro *et al* en la Universidad Central de Venezuela, en el cual se estudia la influencia del nitrato presente en el agua de mezclado sobre las propiedades físicas del hormigón y adicionalmente el desarrollado en el año 2015 por O. U. Orié en la Universidad de Benin, Nigeria, en el cual se plantea un caso de estudio de la concentración del potencial hidrogeno respecto de la calidad del agua y el esfuerzo de compresión del hormigón; en estas investigaciones se pueden observar que, evidentemente, la calidad del agua de mezclado influye negativamente en las propiedades físicas – mecánicas del hormigón, entre ellas: tiempo de fraguado, disminuyendo o acelerando el proceso; trabajabilidad; durabilidad y homogeneidad; esfuerzo de compresión, sin embargo, estas investigaciones concluyen que es posible obtener un hormigón de buena calidad utilizando estas aguas con diferentes concentraciones de nitrato o niveles de Ph, por lo tanto los autores recomiendan realizar una revisión al diseño del hormigón cuando se utilice este tipo de agua, esto con el objetivo de evitar afectaciones en la resistencia a compresión principalmente.

A continuación se presentan los resultados más sobresalientes de las investigaciones mencionadas anteriormente:

En el estudio desarrollado por Velezmoro *et al*, denominado como “Influencia del nitrato presente en el agua de mezclado sobre las propiedades físicas del

concreto”, se realiza una caracterización completa de las aguas de mezclado utilizadas para la elaboración de hormigón, confirmándose que los únicos parámetros que cambian entre las aguas utilizadas son el nitrato y potasio en cantidades que se describen en la Tabla 2.2.

TABLA 2. 2. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE MEZCLADO UTILIZADA POR VELEZMORO ET AL, PARA LA ELABORACIÓN DE HORMIGÓN.

Parámetro	Agua Potable	Agua con nitratos
Nitrato [mg N/l]	0,30	12,10
Potasio [mg/l]	9,00	18,00

FUENTE: Velezmoro, A., Blanco, H., & Peñuela, C. (2014). Influencia del nitrato presente en el agua de mezclado sobre las propiedades físicas del concreto.

Los valores presentados de nitratos y potasio, según indica el estudio, se encuentran dentro de los límites de las normas nacionales, que para el caso son las normas de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), y algunas internacionales, que precisan los requisitos para el agua de mezclado.

De acuerdo con la investigación realizada por Velezmoro et al, (2014), el tiempo de fraguado inicial y final de la pasta de cemento se ve afectado por el nitrato de potasio, acelerando este proceso 5 y 15 minutos respectivamente, como se puede ver en la Figura 2.1 (a y b); los autores atribuyen esto al potasio, posiblemente por la formación de carbonato de potasio.

FIGURA 2. 1 a). TIEMPOS DE FRAGUADO DE LA PASTA DE CEMENTO CON AGUA POTABLE.

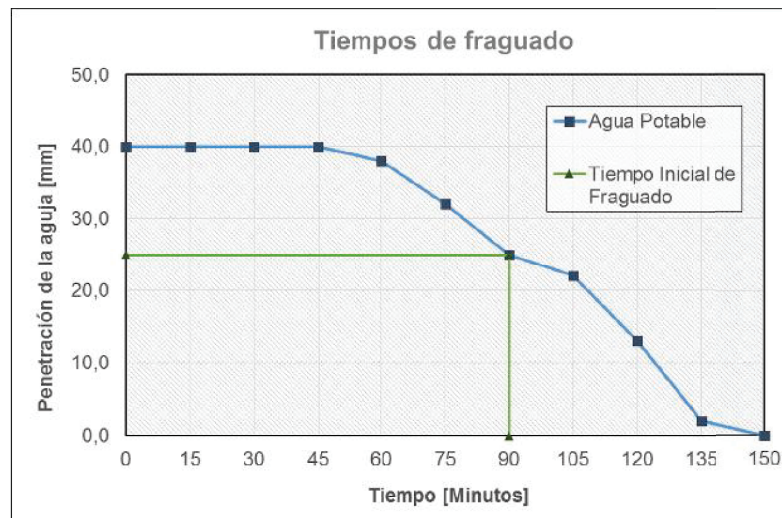
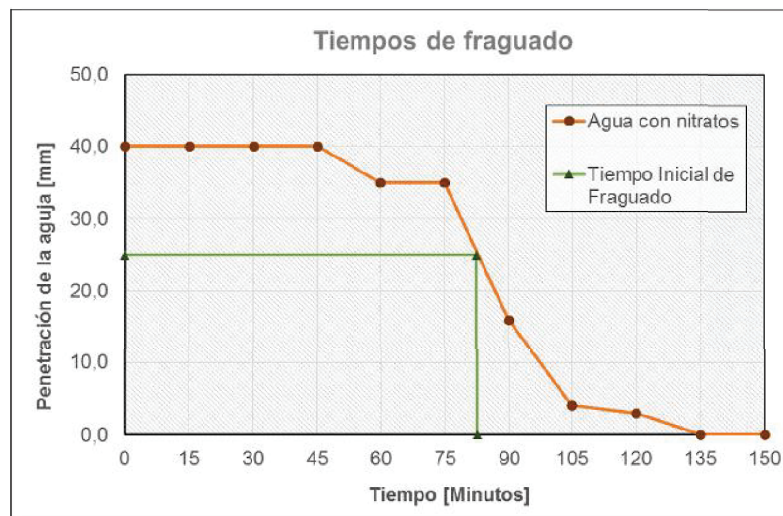


FIGURA 2. 1 b). TIEMPOS DE FRAGUADO DE LA PASTA DE CEMENTO CON AGUA CON NITRATOS.



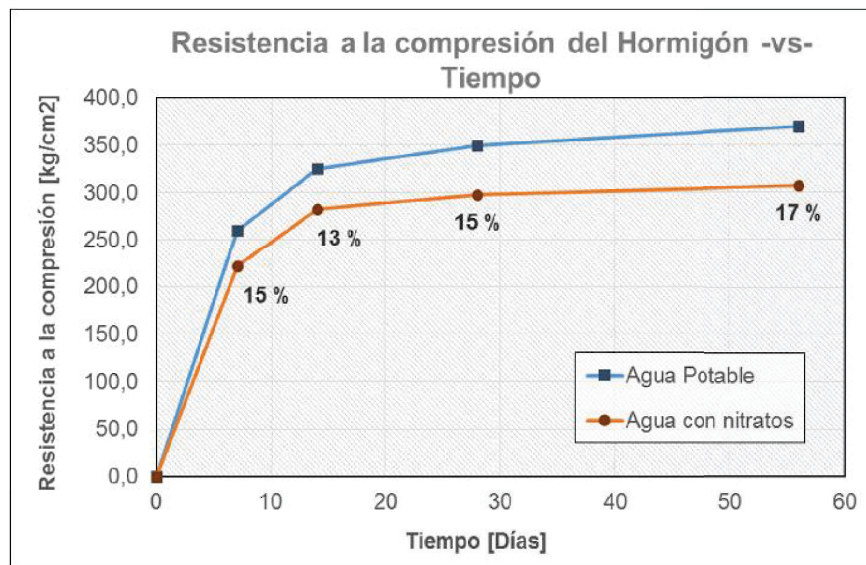
FUENTE: Velezmoro, A., Blanco, H., & Peñuela, C. (2014). Influencia del nitrato presente en el agua de mezclado sobre las propiedades físicas del concreto.

Otra de las propiedades que se ve afectada en el hormigón, sino la más importante, una de las indispensables y más consideradas en el momento de realizar un diseño, es la resistencia a la compresión. Las conclusiones del estudio citado, se logran apreciar en la Figura 2.2.

La conclusión refiere que a los 28 días se tiene una diferencia de la resistencia a la compresión entre el agua patrón y la mezcla con nitrato de potasio de 15%, superior al límite permisible de 10% de diferencia cuando se utiliza agua diferente a la potable, este límite está establecido en la norma venezolana COVENIN 2385:2000 -Concreto y mortero. Agua de mezclado. Requisitos, que es la que rige en el mencionado estudio.

Por otro lado el estudio citado recomienda que a pesar de que los resultados de los ensayos de compresión han superado el límite establecido, no se elimina la posibilidad de utilizar este tipo de agua en el mezclado de hormigón, siempre y cuando se tenga la precaución de realizar ciertos ajustes en el diseño de mezclas para alcanzar la resistencia deseada.

FIGURA 2. 2. DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO CON AGUA POTABLE Y AGUA CON NITRATO.

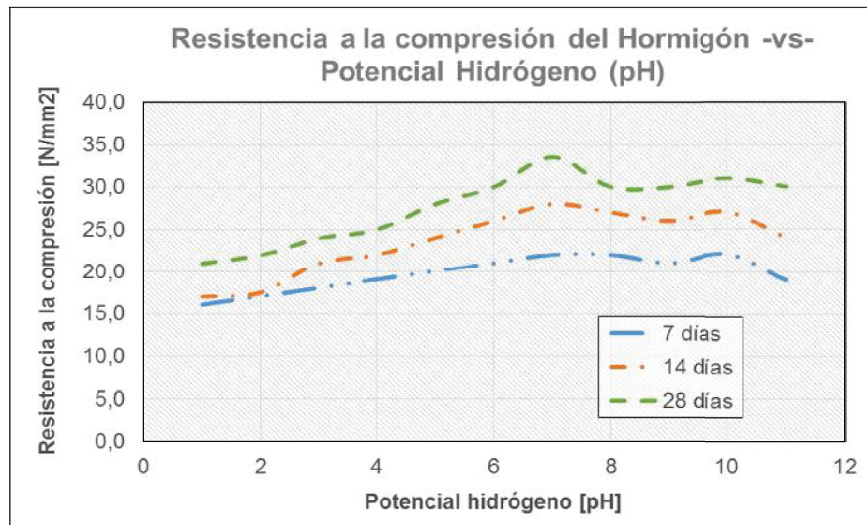


FUENTE: Velezmoro, A., Blanco, H., & Peñuela, C. (2014). Influencia del nitrato presente en el agua de mezclado sobre las propiedades físicas del concreto.

De manera similar a Velezmoro *et al*, se tiene otra investigación importante en este campo del hormigón llevada a cabo por O. U. Orié, investigador que realiza variaciones del potencial hidrogeno del agua de mezclado desde un pH de 1 hasta 11 y como se ilustra en la figura 2.3 se tiene desviaciones de la resistencia

a la compresión entre las diferentes muestras de hormigón, siendo mayor cuando se tiene un pH igual a 7 (agua neutra).

FIGURA 2. 3. RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN Y EL POTENCIAL HIDROGENO DEL AGUA DE MEZCLADO.



FUENTE: Orié, O. U. (2012). Water Quality and the Compressive Strength of Concrete –A Case Study of Hydrogen Point Concentration.

2.5. POSIBLES FUENTES DE AGUA PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN

2.5.1. AGUA POTABLE

El agua potable se define como agua apta para el consumo humano. El agua potable no debe contener sustancias o microorganismos que puedan perjudicar la salud o provocar enfermedades al ingerirla.

La NTE INEN 1108: 2014, estipula los requisitos que debe cumplir el agua para ser considerada como potable, entre los cuales constan, el contenido de nitratos (NO_3), mismo que no debe superar los 50 [mg/l]. Esta norma no registra un rango admitido de potencial hidrógeno, no obstante la norma chilena oficial 409/1.Of. 84 indica que el agua potable debe tener un pH comprendido entre 6 y 8,5.

La Tabla 2.3 indica los resultados de un estudio físico-químico realizado al agua potable en distintos sectores del Distrito Metropolitano de Quito el 12 de noviembre del 2002.

TABLA 2. 3. FRAGMENTO DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.

Número de la muestra	A1	A2	B	C
Origen	Granda Centeno	Granda Centeno	Mañosca	Las Casas
Fecha de Recolección	05 nov. Del 2002	04 nov. Del 2002	05 nov. Del 2002	05 nov. Del 2002
PH de la Muestra	6,46	6,44	6,59	6,29

Número de la muestra	D1	D2	E1	E2	F
Origen	Miraflores	Miraflores	Vicentina	Vicentina	El Recreo
Fecha de Recolección	04 nov. Del 2002	05 nov. Del 2002	03 nov. Del 2002	04 nov. Del 2002	05 nov. Del 2002
PH de la Muestra	6,66	6,9	6,8	6,68	6,95

FUENTE: Análisis Físico-Químico de Agua Potable en el D.M.Q. Disponible en: www.desastres.hn/docum/crid/CD_Agua/pdf/spa/doc14592/doc14592-7f.pdf

No hay un estudio formal que indique el contenido de nitratos en el agua potable en la ciudad de Quito, pero debido a que una concentración mayor a 10 [mg/l] puede ser perjudicial para la salud humana se asume que el agua de la red de agua potable del DMQ tiene una concentración menor a la indicada.

2.5.2. AGUA DE RÍO

Los ríos en el Ecuador representan uno de los principales y más importantes recursos naturales puesto que no sólo proveen agua dulce para todas las necesidades de la sociedad sino que también son grandes generadores de electricidad a través de las hidroeléctricas con las que cuenta actualmente el país.

En zonas rurales donde no se cuenta con una red de agua potable, el agua de río es utilizada para el consumo humano, en muchos casos sin pasar antes por

ningún tipo de tratamiento. La contaminación de los ríos en la actualidad es un problema imperante en países desarrollados y en vías de desarrollo. El vertido directo de productos químicos, aguas residuales, residuos industriales y otros han provocado un cambio drástico en las condiciones físico químicas del agua en los ríos del país. Tales son las condiciones del río Daule, por ejemplo, que en el informe técnico de la Secretaria Nacional de Agua en el 2010, se manifestó que presentaba una concentración de nitratos de 86 mg/l. Con respecto al pH, el estudio técnico "Análisis de la calidad del agua en la subcuenca del Río Coca" en enero del 2012 encontró que en los diferentes puntos del cuerpo hídrico el pH varió en un rango de 6 – 8,5.

2.5.3. AGUA LLUVIA

Es común, también la utilización de agua que no sea potable en la fabricación del hormigón, tal es el caso del agua de lluvia, sin embargo se debe realizar un análisis físico-químico del agua como una forma de cumplimiento de las exigencias de la NTE INEN 2617:2012.

Otros parámetros importantes a considerar en el caso de uso de agua no potable son el pH y la Turbiedad. Es claro que estos valores oscilarán en el transcurso del año dado que al iniciar la época de lluvias ésta se encarga de limpiar de la atmósfera los gases como óxidos de azufre y nitrógeno mismos que forman ácidos fuertes como el sulfúrico y nítrico componentes de la lluvia ácida, es por tanto que se dice que la calidad del agua lluvia está relacionada con la calidad del aire (Medina, 2013).

Con base en el valor del pH se puede establecer una clasificación para el agua lluvia, en su estado natural su pH es de 5,6 unidades considerándose como una sustancia ácida.

TABLA 2. 4. CLASIFICACIÓN DE AGUA LLUVIA EN FUNCIÓN DEL PH.

pH	Clasificación de la lluvia
5,6 < pH	No Ácida
4,7 < pH ≤ 5,6	Ligeramente ácida
4,3 < pH ≤ 4,7	Medianamente ácida
pH ≤ 4,3	Fuertemente ácida

FUENTE: Medina, C. (2013). Concreto confeccionado con aguas lluvia: Un aporte a la disminución del impacto ambiental generado por la industria de la construcción.

El equilibrio que se presenta con el dióxido de Carbono, conocido como CO₂, que forma el ácido carbónico o ácido débil (H₂CO₃), ocasiona la acidez natural de la lluvia.

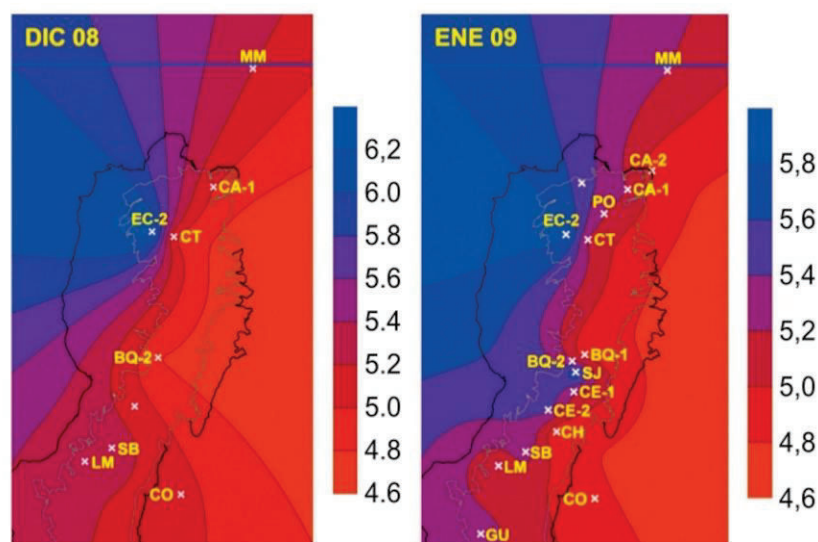
Es importante notar que como agua de amasado puede ser utilizada cualquier tipo de agua no contaminada, de ahí que es ideal utilizar agua potable o de consumo humano, ya que su uso es confiable y no presenta ninguna alteración en la resistencia, sin embargo, y como se ha mencionado anteriormente, es posible utilizar también agua lluvia siempre y cuando no presente agentes negativos o no los presente en exceso, dado que el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento se combina con el ion sulfato posiblemente existente en el agua de amasado, en este punto se maneja el criterio de tolerancias en la reducción del hormigón, es decir que se acepta hasta una reducción máxima en la resistencia de un 10% respecto a aquellos hormigones fabricados con agua potable (Rodríguez F., 1984).

En el estudio de Flores, R. & Bonilla, P. (2010). Perfil de la lluvia ácida en la ciudad de Quito (Ecuador), se puede evidenciar que la ciudad de Quito tiene presencia de lluvia ácida; el 50% de la superficie de la ciudad tiene lluvia con un pH menor a 5,6 con un mínimo de 4,6 unidades de pH en el sector Oriental. (Flores & Bonilla, 2010)

Los investigadores analizaron muestras de 17 sitios de la ciudad, entre ellos la Mitad del Mundo (MM), Carcelén (CA), entre otros ubicados al Centro y al Sur de la ciudad, estos son: Centro Histórico (CE) y Guamaní (GU); sin dejar de lado la zona occidental y oriental de la ciudad.

En la Figura 2.4 se puede visualizar con diferentes colores las concentraciones de pH presentes en el agua lluvia dentro de la ciudad de Quito.

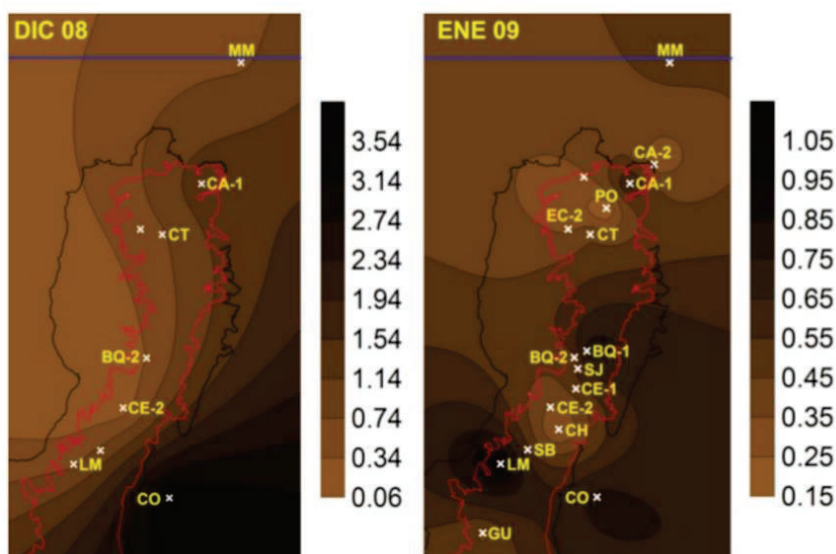
FIGURA 2. 4. GRÁFICO DE CONTORNO PARA EL PH DEL AGUA LLUVIA EN LA CIUDAD DE QUITO –DICIEMBRE 2008 Y ENERO 2009.



FUENTE: Flores, R., & Bonilla, P. (Abril de 2010). Perfil de la Lluvia Ácida en la Ciudad de Quito (Ecuador).

En el mismo estudio, mencionado anteriormente, se analiza la presencia de otros compuestos o iones relacionados con la problemática de contaminación ambiental; a continuación en la Figura 2.5 se puede visualizar un mapa del contorno del ion nitrato presente en la lluvia; el origen de este ion en el agua lluvia, se atribuye especialmente a la presencia del flujo vehicular y a las emisiones de gases de centrales termoeléctricas tal como Guangopolo e inclusive la central de Santa Rosa y al norte la productora de cemento Selva Alegre ya que si bien están alejadas de la ciudad, las emisiones de estos sectores industriales son acarreados al centro de la ciudad por los vientos.

FIGURA 2. 5. GRÁFICO DE CONTORNO PARA EL ION NITRATO, EN PPM, EN LA CIUDAD DE QUITO –DICIEMBRE 2008 Y ENERO 2009.



FUENTE: Flores, R., & Bonilla, P. (Abril de 2010). Perfil de la Lluvia Ácida en la Ciudad de Quito (Ecuador).

2.5.4. AGUA DE POZO

Un pozo de agua es definido, por varios autores, como una obra de captación vertical que permite la explotación del agua freática contenida en los intersticios o las fisuras de una roca del subsuelo, en lo que se denomina acuífero (WikiWater, 2014).

Si bien la mayoría de personas de zonas rurales utilizan los pozos como una fuente alternativa de agua potable, no es tan cierto que esta agua sea recomendable para la salud de ellas. De acuerdo con el estudio realizado por López, Nevels & Kading. (2012). Análisis de calidad de agua en las micro-cuencas de los ríos Pacayacu y Sacha en la Amazonía Ecuatoriana, el agua de pozo puede contaminarse de forma natural mediante procesos naturales como la descomposición orgánica o artificial debido a las actividades humanas como actividades extractivas, agrícolas o minerales.

En la publicación de Arumil, Núñez, Salgado & Claret, (2006), sobre la Evaluación del riesgo de contaminación con nitrato de pozos de suministro de agua potable

rural en Chile; la contaminación de pozos noria por nitrato está asociado principalmente por los métodos constructivos o la cercanía de animales, condiciones que se presentan en la mayoría de zonas rurales, no solo de Chile sino de Sudamérica. El 14% de los pozos estudiados presentó valores de concentración de nitrato mayores que los permitidos por la normativa chilena relativa al agua potable y aun cuando no se detectó la existencia de riesgo para la población adulta sí para los lactantes alimentados con fórmulas preparadas con agua proveniente de los pozos contaminados.

Un estudio muy importante sobre la calidad de agua de pozos en Ecuador, específicamente en la Amazonia, fue realizado por López, Nevels & Kading , 2012, en el que se obtuvieron observaciones de 50 pozos familiares y comunitarios, y cinco de esteros distribuidos en las micro-cuencas de los ríos Pacayacu y Sacha. Los parámetros evaluados fueron: temperatura, turbiedad, conductividad, pH y oxígeno disuelto; en este documento se concluye que la calidad de agua de la zona es pobre, con un pH mínimo de 4,10; máximo de 8,20 y con su correspondiente media de 5,73; valores que se encuentran fuera de los niveles recomendados para ser utilizada como agua potable o para elaborar mezclas de hormigón. En la Tabla 2.5 se ilustran los resultados del estudio.

TABLA 2. 5. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DE LAS MICRO-CUENCAS DE LOS RÍOS PACAYACU Y SACHA.

Parámetro:	Mínimo	Máximo	Media
Conductividad [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	7,72	551	102,28
Oxígeno Disuelto [mg/l]	0,43	3,73	1,99
Ph	4,1	8,2	5,73
Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]	2,4	30,2	26,64
Turbiedad [NTU]	0,34	411	22,47

FUENTE: López, S., Nevels, D., & Kading, T. (2012). Análisis de calidad de agua en las micro-cuencas de los ríos Pacayacu y Sacha en la Amazonía Ecuatoriana.

2.5.5. AGUA DE MAR

Existen situaciones en las que se deben buscar fuentes de agua cercanas a la obra, con el objetivo de fabricar hormigón in situ, tal es el caso de obras de difícil acceso como represas. Cuando estas situaciones particulares se presentan y la calidad del agua no sea comprobada, se debe realizar una evaluación de la resistencia a compresión en especímenes cúbicos de mortero, dicho análisis da como apta la fuente de agua si se evidencia que la reducción de la resistencia respecto aquellos moldeados con agua potable no es mayor al 10%, el manejo de esta reducción en el diseño dependerá de ciertos ajustes a la relación a/c.

Cuando se trata de agua con alto contenido de cloruros, se puede presentar corrosión en el acero de refuerzo, si los elementos fundidos lo contienen o son elementos pre esforzados, es decir con cables de tensionamiento; por otro lado cuando se compruebe que la salinidad del agua de mar es menor del 3,5% puede ser considerada apta para utilizar en hormigones sin acero de refuerzo, sin embargo la consecuencia de la utilización de agua proveniente de una fuente con estas características, es una reducción en la resistencia de aproximadamente un 12%, más si se presenta una porcentaje de salinidad de 5% la disminución en la resistencia puede llegar a ser del 30%.

Comúnmente en aguas naturales se encuentran iones como calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato, cloruro, nitrato, y con menor frecuencia carbonato, para lo cual se considera apta para uso como agua de mezcla, aquellas que no contengan una combinación total de estos iones mayor a 2 [g/l] o 2000 [ppm]. (Rivera, Concreto simple, 2013)

La presencia de cloruros en el hormigón, provenientes del agua de mezcla u otra fuente, pueden ocasionar reacciones desfavorables al ser combinados con cementos que presenten cantidades considerables de aluminato tricálcico – C_3A , elemento constitutivo del Clinker, o cuando se tiene elementos metálicos embebidos en dicho hormigón. Como un valor límite de este parámetro, se puede expresar que el contenido total de cloruros del agua no debe exceder de 0,5 [g/l], sin embargo en ocasiones las fuentes de aguas naturales encontradas presentan

concentraciones más altas, comúnmente en regiones áridas donde las fuentes son considerablemente salinas.

Esto es un punto muy importante que ha llevado a utilizar agua de mar en la fabricación de hormigón de cemento portland, lo cual ha originado la presencia de humedad superficial y eflorescencia o formaciones de sales en la superficie del mortero o concreto y como se ha mencionado anteriormente una reducción en la resistencia de diseño (Rivera, Concreto simple, 2013).

A continuación se presenta una tabla con la composición típica del agua de mar.

TABLA 2. 6. COMPOSICIÓN TÍPICA DEL AGUA DE MAR.

Compuesto	ppm
Cloruro de Sodio (NaCl)	27000
Cloruro de Magnesio (MgCl ₂)	3200
Sulfato de Magnesio (MgSO ₄)	2200
Sulfato de Calcio (CaSO ₄)	1100
Cloruro de Calcio (CaCl ₂)	500
Total de sales disueltas	34000

FUENTE: ASOCRETO. (2010). Tenología de Concreto: Materiales, propiedades y diseño de mezclas (Vol. 1).

El agua de mar tiende a ser levemente alcalina, su pH se encuentra entre 7,5 y 8,4 pero puede variar en función de la temperatura, salinidad, profundidad o debido a las actividades de los organismos marinos (Wikipedia, s.f.)

2.5.6. AGUAS TRATADAS

El tratamiento de aguas es un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin mejorar la calidad del agua que ya ha sido usada para ser reutilizada o vertida a un cuerpo receptor sin que sea superada su capacidad de "autopurificación" o que cause alteraciones biológicas en el mismo. Las aguas

sometidas a estos procesos de tratamiento son denominadas aguas residuales y son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales o industriales. Generalmente los procesos típicos de tratamiento de aguas residuales no llegan al punto de potabilizar el agua pero el agua tratada puede ser reutilizada para riego, usos domésticos que no sean para el consumo humano o, para efectos del presente estudio, la fabricación de hormigón.

Según el informe anual del Gerente General de la Empresa Pública Metropolitana Rastro del periodo 2015, esta entidad cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que está en funcionamiento desde el año 2003 y que cumple con la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Esta norma se encuentra estipulada en el anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. En la tabla N°9 de la norma sobre límites de descarga al sistema de alcantarillado público, establece en 60 mg/l el límite de concentración de nitrógeno total y no establece un rango permisible de pH.

2.6. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

2.6.1. HORMIGÓN CONVENCIONAL

El hormigón es una piedra artificial que resulta de mezclar adecuadamente cuatro componentes básicos: agua, cemento, arena y ripio; sin embargo, actualmente existen aditivos que pueden dotar a la masa de hormigón ciertas características especiales, entre ellos: reductores de agua, plastificadores, aceleradores y otros aditivos, etc.

El hormigón al igual que las piedras naturales presenta una gran resistencia a la compresión pero resulta bastante deficiente cuando se somete a tracción; es por eso que para aprovechar sus virtudes y contrarrestar esa desventaja se usa en las estructuras hormigón reforzado con barras o cables de acero, conocido como hormigón armado.

2.6.2. POTENCIAL HIDRÓGENO

El pH o potencial hidrógeno, es una medida de acidez o alcalinidad de una solución acuosa. Indica la concentración de iones de hidrógeno $[H]^+$ presentes en determinadas disoluciones. Está definido por el logaritmo negativo en base 10 de la actividad de los iones hidrógeno:

$$pH = -\log_{10}[a_{H^+}] \quad (2.9)$$

El pH es un parámetro muy importante en el agua, pues algunos procesos químicos sólo tienen lugar a determinados valores de pH.

El pH no tiene unidades, se expresa únicamente a través de un número. Una medida de pH resulta de considerar la relación de protones de hidrógeno $[H]^+$ e iones de hidroxilo $[HO^-]$, cuando el número de protones iguala al número de iones hidroxilo el agua es neutra y le corresponde un valor de pH igual a 7. Cuando el pH es mayor a 7 se dice que la sustancia es alcalina y si es menor se dice que es ácida; cuanto más se aleje de 7 será más ácida o más alcalina.

Cuando una sustancia ácida es adicionada al agua, ésta le cede un protón y el agua entonces se volverá más ácida. De la misma forma, cuando se adiciona una sustancia básica, ésta captará protones $[H]^+$ y el agua se volverá más alcalina. Por ser un factor logarítmico, cuando una sustancia se vuelve diez veces más ácida el valor de pH bajará en una unidad, si se vuelve cien veces más ácida bajará en dos unidades. El agua puede tener valores de pH entre 0 y 14 (Chang, R & Goldsby, K., 2013).

2.6.3. NITRATOS

El nitrato es un compuesto inorgánico constituido por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O); el símbolo químico del nitrato es NO_3^- . Este compuesto es una parte natural del suelo y de las aguas subterráneas; debido a las actividades de los humanos como agricultura o la ganadería –estiercol– pueden incrementar las concentraciones de nitrato en el agua subterránea.

Conforme con el artículo sobre Nitratos presentado en el sitio web www.lenntech.es, el estándar federal presentado para el nitrato en agua potable

es de 10 [mg/l nitrato-N], o 50 [mg/l nitrato-NO₃], cuando el oxígeno es medido a la vez que el nitrógeno.

2.6.4. TRABAJABILIDAD

Como se describe en el ACI Comité 116, la trabajabilidad es una propiedad del hormigón o mortero fresco que determina la facilidad y homogeneidad con que se puede mezclar, colocar, compactar y acabar.

De acuerdo al Manual de Tecnología del Concreto (ASOCRETO, 2010), la facilidad se refiere a que su consistencia esté acorde con los medios de trabajo y homogeneidad a la distribución relativa de los componentes del hormigón evitando segregación y sangrado significativo.

La trabajabilidad se selecciona según el tamaño de los agregados y características de los elementos a construir (geometría), las condiciones en las que se coloca la mezcla y el sistema de compactación que se utilice.

Entre las propiedades que mejor representan la trabajabilidad se tiene: grado de compacidad, cohesividad, plasticidad, y consistencia o movilidad, las que se resumen en el asentamiento del cono de Abrams.

Adicionalmente la manejabilidad se ve afectada principalmente por el contenido de agua de mezclado, contenido de aire, propiedades de los agregados - tamaño máximo, forma y textura de las partículas, densidad, absorción, contenido de finos y materia orgánica-, relación pasta/agregados y las condiciones climáticas.

2.6.5. TEMPERATURA

La temperatura es una magnitud física y una propiedad de la materia que expresa básicamente la energía interna de un sistema, dada por el promedio de la energía cinética de sus partículas. Muchas de las propiedades fisicoquímicas de los materiales y las sustancias dependen de la temperatura a la que se encuentran, por ejemplo: su estado (sólido, líquido o gaseoso), volumen, solubilidad,

conductividad eléctrica y además influye también en la velocidad a la que se dan las reacciones químicas. (es.wikipedia.org, s.f.)

La temperatura de la mezcla de hormigón fresco influye en la calidad, tiempo de fraguado y resistencia del mismo. Un hormigón con una temperatura inicial alta probablemente tenga una tasa de crecimiento de su resistencia mayor, pero llegando a una resistencia a edades tardías más baja de lo normal. Por el contrario, el hormigón mezclado y curado a temperaturas bajas desarrollará su resistencia a una tasa más lenta, pero finalmente tendrá una resistencia más alta y será de mayor calidad. (IMCYC, 2007).

La NTE INEN 1855-2:2002 establece que en clima frío la temperatura mínima del hormigón es la recomendada en la Tabla 2.7, por otro lado para hormigón mezclado con agua caliente, áridos precalentados o ambos, no deberá exceder de los 32 °C en su fabricación.

TABLA 2. 7. TEMPERATURAS MÍNIMAS DEL HORMIGÓN EN OBRA.

Tamaño de la sección (mm)*	Temperatura mínima (°C)
menor de 300	13
entre 300 y 900	10
entre 900 y 1800	7
mayor de 1800	5
* Se entiende como tamaño de la sección, la menor dimensión de la sección transversal del elemento estructural a ser fundido.	

FUENTE: Servicio Ecuatoriano de Normalización (2002). Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos. (NTE INEN 1855-2). Quito: INEN.

2.6.6. PESO UNITARIO DEL HORMIGÓN Y RENDIMIENTO

El peso unitario de una sustancia es la relación de su peso con el volumen que ocupa. El hormigón convencional usado en la construcción de estructuras tiene un peso unitario que varía entre 2,2 y 2,4 [T/m³], según la información encontrada en notasdeconcretos.blogspot.com. El peso unitario puede variar debido a la densidad y la cantidad de agregado, la cantidad de aire atrapado o incluido intencionalmente y la cantidad de agua y de cemento. El tamaño máximo del

agregado es un factor que también influye en el peso unitario del hormigón debido a que reduce la cantidad de pasta necesaria ya que aumenta el volumen ocupado por el agregado. La Tabla 2.8 presenta algunos valores de densidad del hormigón fresco.

TABLA 2. 8. PROMEDIO DE LAS DENSIDADES OBSERVADAS PARA EL CONCRETO FRESCO.

Tamaño Máximo del agregado, mm	Contenido de Aire, %	Agua, kg/m ³	Cemento, kg/m ³	Densidad, kg/m ^{3**}				
				Gravedad específica del agregado ⁺				
				2,55	2,60	2,65	2,70	2,75
19,0	6,0	168,0	336,0	2194	2227	2259	2291	2323
37,5	4,5	145,0	291,0	2259	2291	2339	2371	2403
75,0	3,5	121,0	242,0	2307	2355	2387	2435	2467

(**) Concreto con aire incluido, con la cantidad de aire indicada

(+) En condición saturada, con superficie seca. Multiplique la densidad relativa del agregado por 1000 para obtenerse la densidad de las partículas de agregado en kg/m³

FUENTE: Bureau of Reclamation (1981). Tabla 4: Promedio de las densidades Observadas para hormigón fresco (unidades del SI).

Disponible en: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/peso-unitario-densidad-del-concreto.html#>

Por otra parte, en el informe técnico CIP 8 – Discrepancias con el rendimiento, presentado en www.nrmca.org, define al rendimiento del hormigón fresco como la cantidad de mezcla que se obtiene a partir de una dosificación conocida de insumos. El rendimiento de mezcla fresca de hormigón en estado plástico, de acuerdo a la NORMA ASTM C 138, se determina dividiendo el peso total de los materiales entre el peso unitario promedio o densidad del hormigón.

2.6.7. CONTENIDO DE AIRE

El aire se encuentra presente en todos los tipos de hormigón, éste se localiza en los poros no saturables de los agregados y puede también formar burbujas entre los componentes de la masa. El aire puede ser incorporado en el hormigón de forma artificial con el uso de inclusores de aire tal como cementos o aditivos incorporadores de aire o puede ser atrapado durante el mezclado de la masa de hormigón.

El contenido de aire en hormigones sin inclusión intencional de aire normalmente puede estar entre el 1% y el 2% del volumen de la mezcla, mientras que en hormigones con inclusión de aire puede llegar a 4% y 8% (ASOCRETO, 2010).

Según ASOCRETO (2010), el contenido de aire puede verse afectado por 2 factores, uno de ellos es la cantidad de material que pasa el tamiz No. 200 y el otro es la presencia de materia orgánica en la mezcla, reduciendo o aumentando el contenido de aire respectivamente.

2.6.8. TIEMPOS DE FRAGUADO

El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación tal y como se describió anteriormente; la fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por la transición del estado de la pasta, del estado fluido al estado sólido. Este proceso viene acompañado, a más del endurecimiento de la masa, por el desarrollo de la resistencia mecánica del hormigón.

Esta propiedad física del hormigón es muy importante desde el punto de vista constructivo puesto que una reacción rápida de hidratación y endurecimiento puede dificultar su transporte y su colocación en obra, mientras que un fraguado lento puede afectar el desarrollo de la resistencia normal del hormigón.

Según la bibliografía un hormigón portland normal en condiciones normales comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado después de las 10 o 12 horas (Manobanda, 2013). Por otro lado, tanto la Norma NTE INEN 2380: Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos, como la norma NTE INEN 490: Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos, establecen los lineamientos a seguir en cuanto a tiempo de fraguado inicial respecta; este parámetro determinado por el método de Vicat, debe ser de al menos 45 minutos y no debe exceder los 420 minutos para hormigones sin influencia de aditivos.

Los parámetros que inciden en mayor porcentaje sobre los tiempos de fraguado son: el tipo de cemento, la temperatura ambiente y la temperatura interna del

hormigón; si bien, el tiempo de fraguado del hormigón no se ve afectado por el agregado, existen ciertas sales solubles o materia orgánica que puede alterar esta propiedad acelerando o no, el tiempo de fraguado (ASOCRETO, 2010).

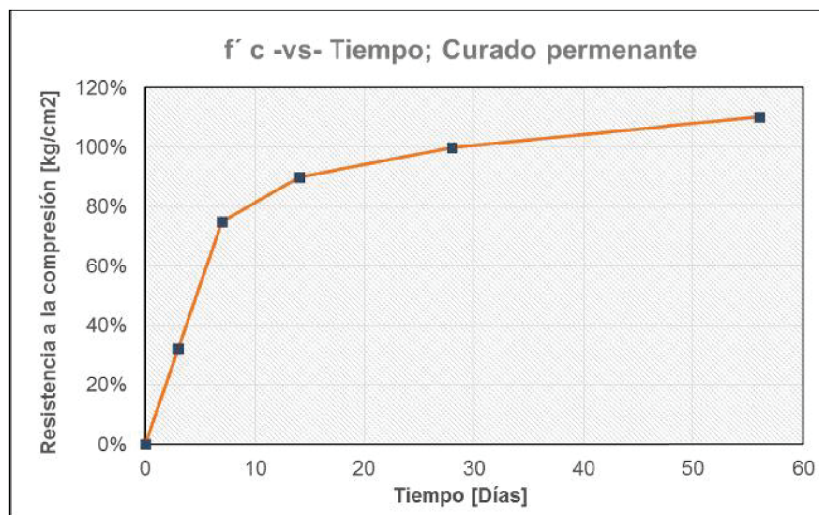
2.7. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

2.7.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

La resistencia a la compresión es la propiedad más importante del hormigón endurecido, pues es la condición de carga en la que el hormigón presenta mayor capacidad. Comúnmente representada como $f'c$, se expresa en unidades de esfuerzo (kg/cm^2 o MPa) y se calcula dividiendo la carga de ruptura para el área de la sección transversal del espécimen.

Aunque una propiedad importante del hormigón es que su resistencia vaya aumentando con el tiempo, la resistencia característica que se utiliza en el diseño es la obtenida a los 28 días puesto que posterior a esta edad el crecimiento es lento y con un comportamiento asintótico.

FIGURA 2. 6. CRECIMIENTO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.



FUENTE: Luna, G. (2014). Estudio del Hormigón.

La resistencia que se utilizan en las obras civiles va desde 170 [kg/cm²] para uso no resistente hasta 280 [kg/cm²] y más para usos en edificaciones. Para determinadas aplicaciones se especifican hormigones de alta resistencia, es decir con resistencias superiores a 420 [kg/cm²].

2.7.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

Debido a la naturaleza del hormigón, este material es débil a esfuerzos de tracción; la tracción se relaciona con el agrietamiento del hormigón y generalmente se controla con el acero de refuerzo, con el objetivo de evitar fisuras visibles o problemas en los elementos.

Los esfuerzos de tracción pueden ser causados por la contracción inducida por el fraguado o por cambios de temperatura, también son el resultado de acciones en el elemento como: flexión, corte, torsión y otras; se debe resaltar que en la práctica no se aconseja considerar la resistencia a estos esfuerzos y por ello generalmente este parámetro no se considera muy relevante en comparación de la resistencia a la compresión.

Existen tres formas de obtener la resistencia a la tracción, entre ellas: obteniendo el módulo de rotura -por flexión- y correlacionando los resultados con ecuaciones empíricas; por hendimiento o también conocido como ensayo de tracción indirecta y, finalmente, por tracción axial (tracción directa); la última mencionada no es muy utilizada debido a la dificultad que presenta en la aplicación de las fuerzas de tracción.

2.7.3. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Los elementos sometidos a flexión presentan dos zonas de esfuerzos, delimitados por el eje neutro, estas son: la zona superior sometida a compresión y la inferior sometida a esfuerzos de tracción.

La capacidad del hormigón simple sometido a flexión se evalúa por medio del ensayo de elementos prismáticos –vigas-. Esta capacidad a la flexión del hormigón se representa por el módulo de rotura (MOR), este valor es importante

especialmente para el diseño y control de calidad de estructuras como pisos y pavimentos de hormigón.

2.8. ECUACIONES DE CORRELACIÓN PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

Debido a que la dosificación para una mezcla de hormigón se la realiza con base al parámetro de resistencia a la compresión, es común en el diseño de mezclas para pavimentos rígidos por ejemplo, hacer uso de equivalencias y relaciones entre distintas propiedades mecánicas del hormigón. Estas relaciones son útiles también para llevar un control de calidad del hormigón en obra.

Con respecto a la resistencia a la compresión (f'_c), módulo de rotura (MR) y resistencia a la tracción por compresión diametral (ft), las ecuaciones de correlación más conocidas y que se considerarán en el presente estudio son las que constan en las Notas Técnicas "Control de calidad en el hormigón, Control por resistencia Parte 1" del INECYC (2009), y que se muestran a continuación.

Adam M. Neville

$$ft = 0.3 * \sqrt[3]{f'_c} \quad (2.10)$$

$$MR = 1.333 * (ft) \quad (2.11)$$

$$MR = 0.399 * \sqrt[3]{f'^2_c} \quad (2.12)$$

American Concrete Institute (ACI)

$$MR = 0.392 * \sqrt[3]{f'^2_c} \quad (2.13)$$

Burg y Ost (1992)

$$ft = 0.61 * \sqrt{f'_c} \quad (2.14)$$

Burg y Ost / Adam Neville

$$MR = 1.333 * 0.61 * \sqrt{f'_c} \quad (2.15)$$

Dónde,

f'_c = Resistencia a la compresión [MPa].

MR = Resistencia a tracción por flexión [MPa].

f_t = Resistencia a la tracción por compresión diametral [MPa].

Además de las ecuaciones anteriormente mostradas, se utilizó la siguiente expresión de correlación entre el f_t y f'_c , la cual es proveniente del ACI 353 (1984).

$$f_t = 0.5616 * \sqrt[9]{f'^5_c} \quad (2. 16)$$

Dónde,

f'_c = Resistencia a la compresión [MPa].

f_t = Resistencia a la tracción por compresión diametral [MPa].

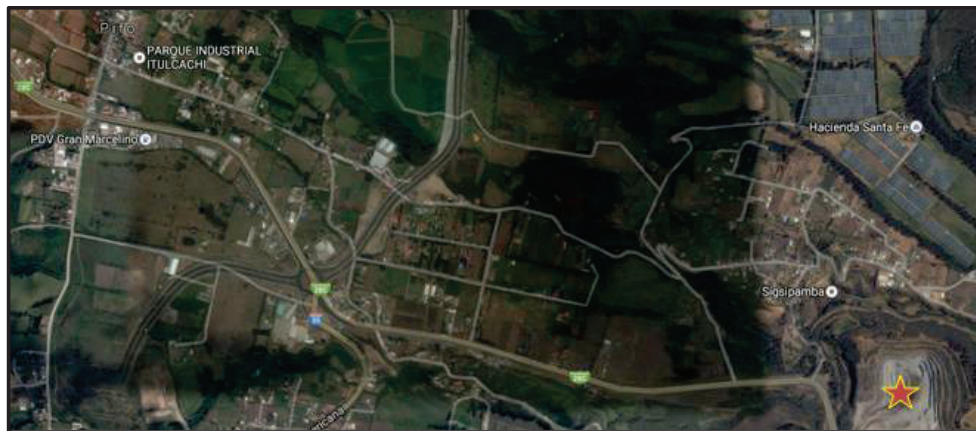
CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA, MATERIALES, ENSAYOS Y NORMAS

3.1. AGREGADOS

Los agregados fino y grueso utilizados en el presente estudio provienen de la mina de Holcim-Pifo ubicada al Noroccidente de Quito en la parroquia Pifo. A estos agregados se les ha realizado los ensayos pertinentes para su caracterización, cuyos resultados sirvieron para comprobar su cumplimiento con los requisitos de las normas nacionales y su posterior uso en el diseño de hormigones.

FIGURA 3. 1. UBICACIÓN DE LA MINA DE PIFO.



FUENTE: Recorte de la pantalla de Google Maps (Google Maps, 2016).

Entre los requisitos que deben cumplir los áridos están: límite de gradación, impurezas orgánicas, resistencia a la abrasión, pesos específicos, entre otros. Para verificar el cumplimiento de estos requisitos se usa la norma INEN 872: “Áridos para hormigón. Requisitos.” y ASTM C33: “Standard Specification for Concrete Aggregates.”

El proceso de obtención de la muestra se lo realiza en base de la norma INEN 0695: “Áridos. Muestreo.” y ASTM D75: “Standard Practice for Sampling

Aggregates.”, esta norma permite seleccionar un lote adecuado de agregados, finos y gruesos, representativos de la fuente es decir que refleje de mejor forma sus características, por tanto no debe ser excesivamente grande como para evitar los efectos de variabilidad o por lo contrario demasiado pequeña como para que pueda verse afectada. El material obtenido in situ, que compone el lote, puede estar constituido de más de tres porciones seleccionadas aleatoriamente.

Respecto al almacenamiento del agregado fino y grueso deberá realizarse por separado con el objetivo de no alterar las características o calidad de éstos y los ensayos puedan reflejar una información correcta.

3.1.1. GRANULOMETRÍA

La granulometría o análisis granulométrico consiste en determinar el tamaño de las partículas de las cuales están formados los agregados y sus respectivos porcentajes en peso que representan de la masa total. El ensayo se lo realiza haciendo pasar determinada masa de material por una serie de tamices con aberturas ordenadas en forma descendente. Los resultados se presentan en una gráfica en escala semilogarítmica con el tamaño de la abertura de tamiz en el eje de las abscisas (escala logarítmica) y el porcentaje que pasa en el eje de las ordenadas (escala natural); todo el procedimiento se lo realizó en base a la Norma INEN 0696: “Áridos, Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.” y ASTM C136: “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.”

Un parámetro importante en la caracterización de los agregados, para tener una idea del grosor o finura de los mismos, se denomina módulo de finura (MF); este valor es el resultado de sumar los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie de módulo de finura dividido para 100. Cuanto mayor es el valor de MF, más grueso es el agregado.

TABLA 3. 1. SERIE MÓDULO DE FINURA (DUFF ABRAMS).

SERIE MÓDULO DE FINURA (DUFF ABRAMS).											
SERIE MÓDULO DE FINURA											
TAMIZ No.	6"	3"	1 1/2"	3/4"	3/8"	4	8	16	30	50	100
Abertura [mm]	150	75	38	19	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15

FUENTE: Monroy, C., & Luna, G. (1985). Cementos y hormigones. Instructivo de Laboratorio.

3.1.1.1. AGREGADO GRUESO

Para el agregado grueso, la serie de tamices y el tamaño de la muestra que se utiliza depende del tamaño máximo nominal del agregado (T_{mn}) que se define como la menor abertura de la malla que retiene de 5% a 15% de la masa.

La serie adecuada que debe ser usada en el ensayo, se elige de la Tabla 2. Requisitos de gradación para áridos gruesos de la Norma NTE INEN 872, mientras que para seleccionar el tamaño de la muestra se debe utilizar la Tabla 1. Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso de la Norma NTE INEN 696. Previamente a la realización del ensayo, la muestra debe ser secada al horno por 24 horas a una temperatura de 110 °C.

FOTOGRAFÍA 3. 1. GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESO

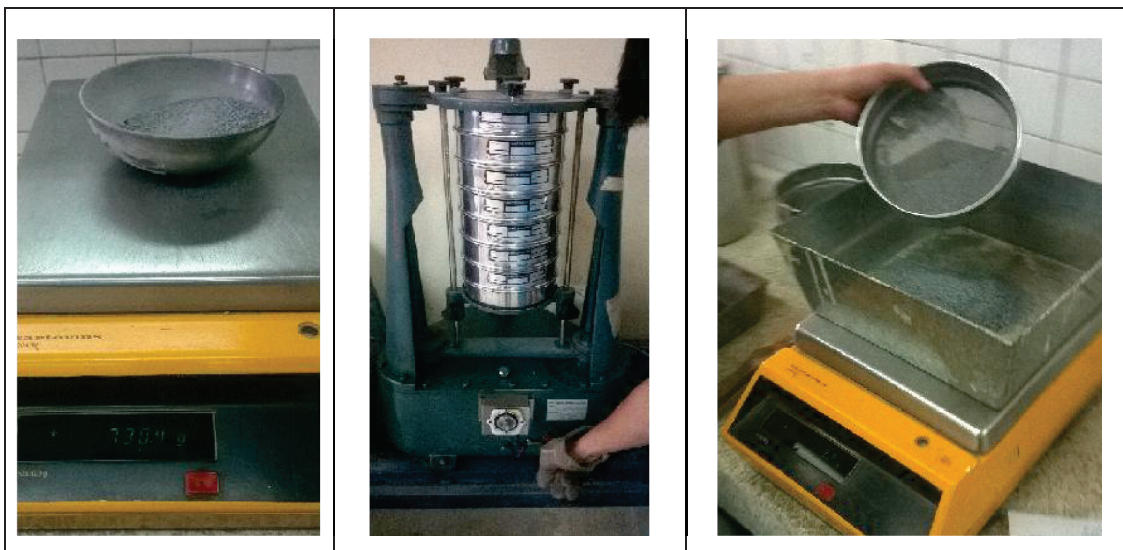


ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

3.1.1.2. AGREGADO FINO

El tamaño de la muestra seca para el agregado fino, según establece la Norma NTE INEN 696, debe ser de mínimo 300 g, y la serie de tamices que se debe utilizar es: 3/8' (9,5 mm), #4 (4,75 mm), #8 (2,36 mm), #16 (1,18 mm), #30 (600 μm), #50 (300 μm), #100 (150 μm), de acuerdo a la Norma NTE INEN 872.

FOTOGRAFÍA 3. 2. GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINO



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

$$\% \textit{retenido} = \frac{\textit{peso retenido en cada tamiz} \times 100}{\textit{peso de muestra total}} \quad (3.1)$$

$$\% \textit{retenido acumulado} = \sum \% \textit{retenidos hasta ese tamiz} \quad (3.2)$$

$$\% \textit{que pasa} = 100\% - \% \textit{retenido acumulado} \quad (3.3)$$

$$\textit{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \textit{retenidos acumulados de los tamices serie de Abrams}}{100} \quad (3.4)$$

3.3.2. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

El peso específico, está definido como la relación entre la masa y el volumen del agregado cuando éste se encuentra en condiciones de Superficie Saturada Seca

(SSS), es decir, que las partículas del agregado contendrán sus poros llenos de agua pero no su superficie.

En cuanto a la absorción, se la comprende como la relación en porcentaje del cambio de peso de una masa al ser sumergida en agua por un tiempo establecido de 24 horas (saturación), y su posterior peso al encontrarse en su condición seca.

Estas propiedades son muy importantes en el diseño de mezclas de hormigón, puesto que intervienen tanto en la determinación de la cantidad de material pétreo que se debe emplear, como en la corrección de la cantidad de agua de mezclado, lo que influye directamente en la resistencia que puede alcanzar la mezcla.

3.3.2.1. AGREGADO GRUESO

Para la realización de este ensayo el agregado grueso debe estar limpio, es decir lavado y libre de cualquier recubrimiento en la superficie de las partículas y la muestra de ensayo debe sumergirse en agua por al menos 24 horas para garantizar que todos sus poros estén saturados. El material saturado, debe secarse con la ayuda de un paño hasta que haya perdido su brillo. Se pesa la masa mínima de agregado grueso para el ensayo, que dependerá del Tamaño máximo nominal (Tmn) y finalmente se determinan el peso sumergido, o peso aparente en agua, y el peso seco de la muestra de agregado.

El procedimiento y el equipo utilizados en el ensayo se describen en la Norma INEN 0857: "Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido grueso." y ASTM C127: "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate".

Las ecuaciones empleadas son las siguientes:

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{B-C} \quad \left[\frac{g.}{cm^3} \right] \quad (3.5)$$

$$\text{Peso específico S.S.S.} = \frac{B}{B-C} \quad \left[\frac{g.}{cm^3} \right] \quad (3.6)$$

$$\text{Absorción de agua} = \frac{(B-A)}{A} \times 100 \quad [\%] \quad (3.7)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en aire [g].

B = Peso de muestra saturada en superficie seca [g].

C = Peso aparente en agua de la muestra saturada [g].

FOTOGRAFÍA 3. 3. ENSAYO PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

3.3.2.2. AGREGADO FINO

El agregado fino debe ser lavado y sumergido en agua por un periodo de al menos 24 horas, éste proceso se denomina saturación. El objetivo es que el material llegue a la condición de superficie saturada seca (SSS), esta condición se logra mediante el secado paulatino del agregado y con la debida comprobación a través del proceso de compactación correspondiente del material, en un molde tronco cónico que verifica la pérdida del agua superficial. Este proceso se muestra en la Fotografía 3.4.

Finalmente y después de conseguir la condición SSS, se pesa una cantidad suficiente de material y se lo coloca en un picnómetro con agua para someterlo al vacío. El peso específico y absorción del agregado fino se lo determina mediante el procedimiento descrito en la Norma INEN 856: "Áridos. Determinación de la

densidad, densidad relativa y absorción del árido fino.” y ASTM C 128 “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate”.

FOTOGRAFÍA 3. 4. ENSAYO PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Las ecuaciones empleadas son las siguientes:

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{B+S-C} \quad \left[\frac{g.}{cm^3} \right] \quad (3. 8)$$

$$\text{Peso específico S.S.S.} = \frac{S}{B+S-C} \quad \left[\frac{g.}{cm^3} \right] \quad (3. 9)$$

$$\text{Absorción de agua} = \frac{(S-A)}{A} \times 100 \quad [\%] \quad (3. 10)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en aire [g].

B = Peso del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de aforo [g].

S = Peso de muestra saturada en superficie seca [g].

C = Peso del picnómetro con agua y muestra hasta la marca de aforo [g].

3.3.3. DENSIDADES APARENTES

La densidad aparente, conocida también como Masa Unitaria de los agregados, está definida por el cociente entre la masa del agregado y el volumen que ocupa, considerando el volumen de las partículas, los vacíos entre partículas y los poros accesibles e inaccesibles.

En el ensayo se registra la densidad suelta por el método de paladas, que consiste en el llenado de un molde de volumen acorde al T_{mn} de la partícula en caso del agregado grueso, y la determinación del peso del mismo cuando está lleno de material; por otro lado, la densidad aparente compactada se obtiene mediante un proceso similar al anterior, con la diferencia de que en este caso se debe llenar cada tercio de la altura total del recipiente con agregado, para posteriormente compactarlo mediante el método de varillado. Este proceso se describe en la Norma INEN 0858: "Áridos. Determinación de la masa unitaria y el porcentaje de vacíos" y ASTM C 29: "Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weigth") and Voids in Aggregate".

Se emplea la siguiente ecuación para calcular las densidades aparentes de los agregados.

$$M = \frac{G-T}{V} \quad (3. 11)$$

Donde:

M = Densidad aparente (peso volumétrico) del agregado [g].

G = Peso del agregado más el molde [g].

T = Peso del molde [g].

V = Volumen del molde [cm³].

3.3.3.1. AGREGADO GRUESO

Tanto para agregado grueso, como para agregado fino la muestra debe estar seca, para lo cual se deja el material en un horno por un periodo de 24 horas, a una temperatura constante de 110 °C, el objetivo es obtener una masa invariable con la cual se puede iniciar el ensayo y obtener información cierta del material.

Como se ha mencionado anteriormente, el volumen del recipiente que se va a utilizar depende del T_{mn} del agregado y se lo puede elegir en la Tabla N 1. Capacidad de los moldes, de la Norma NTE INEN 858 y servirá tanto para el ensayo de densidad suelta, como para el de densidad compactada.

FOTOGRAFÍA 3. 5. DENSIDADES APARENTES DEL AGREGADO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

3.3.3.2. AGREGADO FINO

El ensayo para agregado fino se ejecuta de la misma forma que para agregado grueso; se seca el material durante 24 horas a 110 °C y se ejecuta el método de paladas y varillado para densidad suelta y compactada respectivamente. Es importante acotar que tanto para agregado grueso como para agregado fino es recomendable realizar por lo menos dos repeticiones de los ensayos para un mejor manejo de la información.

FOTOGRAFÍA 3. 6. DENSIDADES APARENTES DEL AGREGADO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

3.3.4. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Este ensayo se emplea como indicador de la calidad del agregado grueso empleado en la elaboración de mezclas de hormigón, redundando en su durabilidad.

Su objetivo es obtener una medida de la dureza de las partículas, que constituyen la muestra de agregado grueso, mediante la pérdida de masa de las mismas por degradación, es decir, que se somete una muestra con gradación específica a una carga abrasiva normalizada. La carga de abrasión, está constituida por un número definido de esferas de acero.

El desgaste o degradación, consiste en un proceso de impacto, trituración o molienda entre las partículas y las esferas de acero que giran en un tambor de acero, a un número de revoluciones por minuto adecuado. El número de revoluciones que debe dar el tambor dependen de la gradación de la muestra. Este tambor se denomina Máquina de Los Ángeles.

El ensayo se realizó bajo el procedimiento de la NTE INEN 860: “Áridos. Determinación del valor de la degradación del agregado grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles.” y ASTM

C131: “Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine”.

FOTOGRAFÍA 3. 7. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES LEMSUR.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

A continuación se presentan las ecuaciones utilizadas para calcular el porcentaje a la abrasión y su coeficiente de uniformidad:

$$A = \frac{B - C}{B} * 100 \quad (3. 12)$$

$$Cu = \frac{B - D}{B - C} \quad (3. 13)$$

Donde:

A = Porcentaje de desgaste [%]

B = Peso original de la muestra antes del ensayo [g].

C = Peso de la muestra retenida en el tamiz #12, a las 500 revoluciones [g].

D = Peso de la muestra retenida en el tamiz #12, a las 100 revoluciones [g].

Cu = Coeficiente de Uniformidad.

3.3.5. CONTENIDO ORGÁNICO

Los agregados finos naturales pueden presentar impurezas orgánicas, que afectan el proceso de hidratación del cemento, influyendo directamente en la resistencia y durabilidad del hormigón. Es por lo tanto, un requisito indispensable para el agregado fino que va a ser utilizado en la fabricación del hormigón, estar libre de materia orgánica o contener ciertos niveles que sean inofensivos para el hormigón.

El grado de materia orgánica contenida en la arena puede ser determinado mediante el ensayo de colorimetría, el que consisten en sumergir una muestra de aproximadamente 450 g de arena en una solución formada por 3 partes de reactivo hidróxido de sodio y 97 partes de agua, por un periodo de 24 horas.

El resultado se obtiene de la comparación del color del líquido sobrenadante de la muestra con la escala de colores de Gardner. Para que el agregado sea considerado como apto para su utilización en la fabricación de hormigón, debe presentar una coloración inferior o igual a tres.

El contenido orgánico del agregado fino utilizado en el presente estudio se lo determinó mediante el procedimiento detallado en la Norma INEN 0855: "Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón" y ASTM C 40 – 04. "Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete".

FOTOGRAFÍA 3. 8. DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN AGREGADO FINO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

3.2. AGUA

En esta investigación, el agua es el aspecto central, debido a que el objetivo es valorar el efecto que tiene la calidad de agua -pH y nitratos- en las propiedades físicas - mecánicas del hormigón.

Como se ha indicado en el Capítulo 1, el agua utilizada en la fabricación del hormigón debe ser cuidadosamente analizada, en unos casos será suficiente con saber que se trata de agua potable pero de ser otra fuente la que provee el agua de mezclado se debe considerar que ciertos niveles de impurezas, no superen los límites establecidos; la información obtenida en el libro de Tecnología del Concreto - Tomo 1 (ASOCRETO, 2010), muestra una tabla resumen con las concentraciones tolerables de las impurezas en el agua de mezclado recopiladas

según la literatura técnica, la tabla incluye límite de pH pero no indica límites en cuanto a los nitratos.

TABLA 3. 2. LÍMITES MÁXIMOS RECOMENDADOS DE IMPUREZAS PARA EL AGUA DE MEZCLADO.

Tipo de Impureza	Valor máximo recomendado
Agua de mar para concreto no reforzado	35.000 ppm
Agua de mar para concreto pre tensado o reforzado	No recomendable
Cloruro de calcio	30.000 ppm
Cloruro de magnesio	40.000 ppm
pH	6 - 8
Sulfato de Magnesio	25.000 ppm
Sulfato de Sodio	10.000 ppm
Nota: El contenido máximo de iones combinados de Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Bicarbonato, Sulfato, Cloruro, Nitrato y Carbonato es de 20.000 ppm.	

FUENTE: Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2010). Tecnología del Concreto – Materiales, Propiedades y Diseños de Mezclas (Tercera edición, Vol. 1).

En base a lo mencionado en el Capítulo II, los valores de pH y concentraciones de nitratos que se pueden encontrar en el agua, en estado natural, varían en el rango de 5 a 10 unidades de pH y de 0 a 40 [mg/litros] respectivamente, por ello se considera adecuado en el presente estudio analizar la influencia de las variaciones de pH y nitratos dentro del rango mencionado en el agua de mezclado para la fabricación de hormigón.

Esta investigación se desarrolló en primer término buscando una dosificación patrón, es decir que se busca una base con la que se puedan relacionar los resultados de las mezclas con variación de parámetros de pH y nitratos. Esta mezcla fue fabricada con agua potable, es decir que el agua de mezclado “patrón” presenta un valor de pH de 6,8 y una concentración de nitratos de 2,3 [mg/litros], éste, entonces, se define como el punto de partida.

A partir de esta mezcla y con el objetivo de cubrir el rango mencionado en el párrafo anterior, se plantean 4 mezclas con variación de pH y 3 mezclas

adicionales con variación de nitratos; para las mezclas con variación de pH, se consideran dos unidades bajo y sobre el valor de la mezcla patrón. Para lograr el aumento de este parámetro se utiliza una solución de hidróxido de sodio (NaOH) en agua potable, consiguiendo entonces el incremento de sus unidades desde 6,8 a 8,5 y 10; la adición para conseguir las 8,5 y 10 unidades de pH fue de 428 mg y 1,08 g de NaOH respectivamente en un volumen de 40 litros de agua.

Por otro lado para conseguir la disminución de unidades de pH desde 6,8 a 5 y 6 se utilizó ácido sulfúrico (H_2SO_4) en concentración 0,5 normal, en 1 ml y 0,4 ml de este compuesto en el volumen de 40 litros de agua potable.

En cuanto al parámetro de estudio referido a las concentraciones de nitratos y dado que el intervalo de valores es muy amplio, se lo pretende cubrir con 3 concentraciones, el agua potable se modificó mediante la adición de 3,66g; 8,7 g y 15 g de nitrato de sodio ($NaNO_3$) grado reactivo –98% de pureza- con el objetivo de obtener 13,3; 22,7 y 40,4 [$mgNO_3$ /litro de agua] respectivamente; el resumen de los parámetros obtenidos en el agua de mezclado, utilizada en cada una de las dosificaciones realizadas en este estudio, se muestra en la Tabla 3.3.

TABLA 3. 3. VALORES DE PH Y NITRATOS EN EL AGUA UTILIZADA PARA LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN.

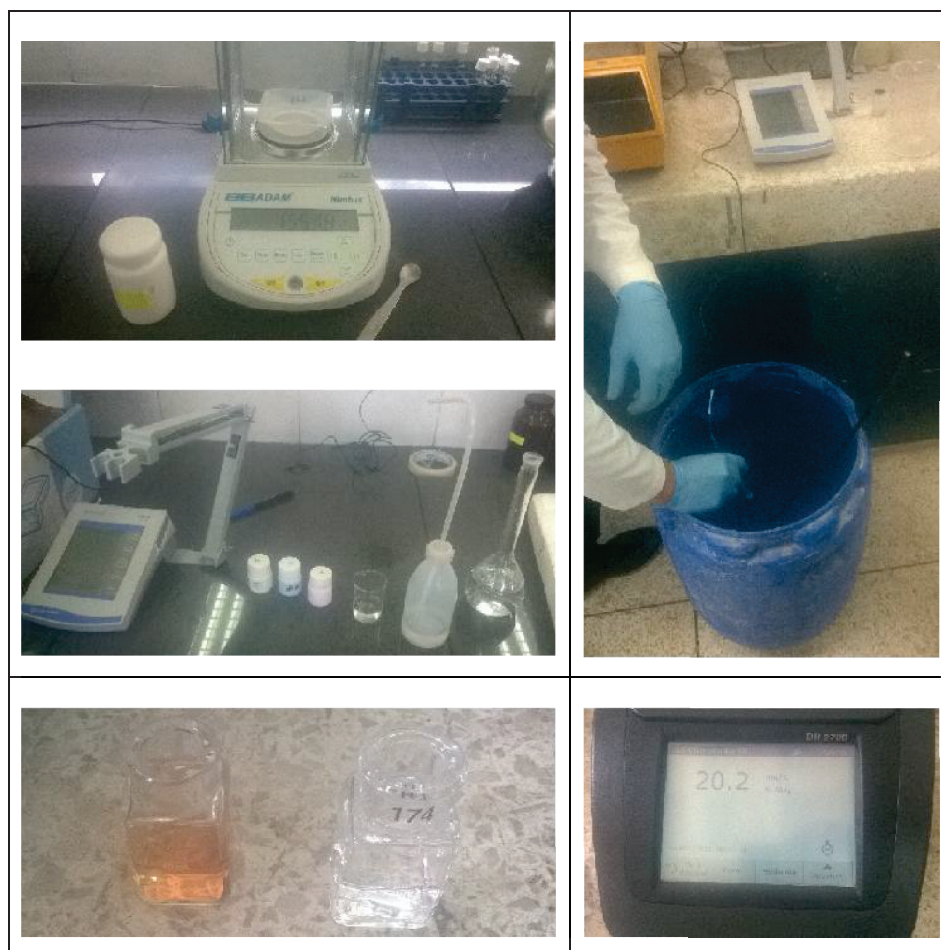
MUESTRA	PARÁMETRO	
	pH	Nitratos [mg/litro]
PATRÓN - AGUA POTABLE	6,8	2,3
2	8,5	2,3
3	10	2,3
4	5	2,3
5	6	2,3
6	6,8	22,7
7	6,8	40,4
8	6,8	13,3

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Las cantidades exactas de cada compuesto para ser diluidas en el agua de mezclado fueron determinadas con la ayuda del equipo técnico del Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental.

La constatación de los parámetros de pH y concentración de nitratos, fueron medidos mediante un Ph-metro y un espectrofotómetro (Hach/DR2700) respectivamente, instrumentos calibrados destinados a investigaciones realizadas en la Escuela Politécnica Nacional (Fotografía 3.9).

FOTOGRAFÍA 3. 9. DETERMINACIÓN DE PH Y NITRATOS.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

3.3. CEMENTO

Este estudio se basa en la fabricación de un hormigón convencional sin aditivos químicos u otras adiciones que influyan en sus propiedades de resistencia, trabajabilidad, etc., por otro lado las condiciones de fabricación, tanto de la mezcla, como de los especímenes de hormigón son de laboratorio, por lo que no se consideran condiciones climáticas que lo afecten y por ende requiera una condición especial en su elaboración, como consecuencia de lo expuesto anteriormente, este estudio se desarrolla con el uso de cemento Tipo GU: Cemento hidráulico para la construcción en general, de la marca Holcim, producto Holcim Fuerte.

El cemento al igual que los agregados debe ser sometido a ensayos de laboratorio, con el fin de verificar las características dadas por el fabricante y comprobar su aptitud para la fabricación de hormigón.

Los ensayos principales y que constituyen información necesaria para el diseño de mezclas, se detallan a continuación.

3.3.1. DENSIDAD REAL

La densidad real del cemento, se define como el peso de un volumen unitario del cemento sin tomar en cuenta el aire entre las partículas. El valor de densidad en el cemento puede ir de 3,0 a 3,25 [gr/cm³], de acuerdo a los requisitos de la Norma INEN 2380: "Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos". Este no es un indicador de la calidad del cemento pero es muy útil para el cálculo de las proporciones de la mezcla.

La densidad real del cemento se lo realiza midiendo el volumen de un líquido no reactivo que una determinada masa de cemento desplaza, para esto se utiliza el frasco de L'Chatelier. El ensayo se lo realizó siguiendo el procedimiento de la Norma INEN 0156: "Cemento hidráulico, Determinación de la densidad" y ASTM C188: "Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement".

FOTOGRAFÍA 3. 10. ENSAYO DE DENSIDAD REAL DEL CEMENTO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

A continuación se presenta la ecuación para calcular la densidad real:

$$D_{real} = \frac{P2 - P1}{L2 - L1} \quad (3. 14)$$

Donde:

D_{real} = Densidad real del cemento [g/cm^3]

$P1$ = Peso inicial del frasco con reactivo [g].

$P2$ = Peso final del frasco con reactivo y cemento [g].

$L1$ = Lectura inicial en un punto en la parte baja del cuello entre las marcas 0 y 1 [cm^3].

$L2$ = Lectura final en un punto en la parte alta del cuello entre las marcas 18 y 24 [cm^3].

3.3.2. DENSIDAD APARENTE

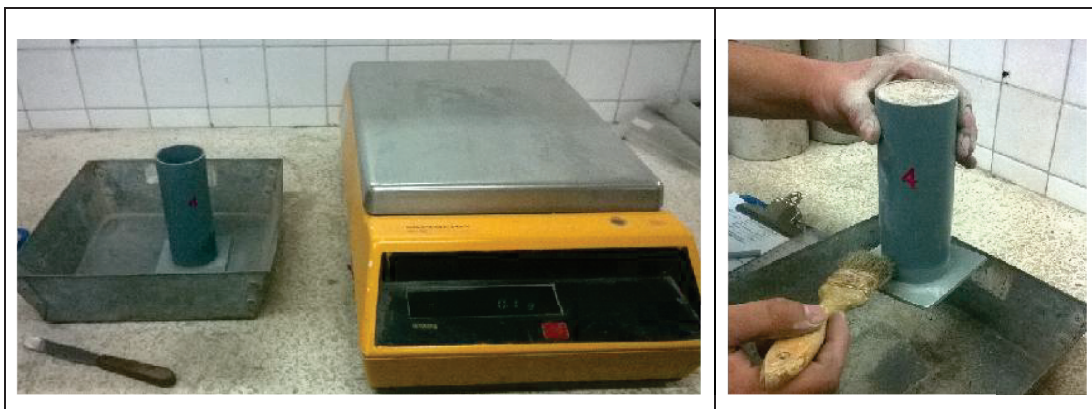
Como se ha definido anteriormente, la densidad aparente es la relación de la masa del material por unidad de volumen; esta propiedad se la utiliza con el propósito de conocer el volumen de almacenamiento del mismo, al igual que para

agregados, en este caso se determina también la densidad en condición suelta y compactada.

En el caso de la densidad aparente suelta, se determina el peso y volumen que ocupan las partículas de cemento por medio de un recipiente de dimensiones conocidas, en este proceso se procura colocar el material en el recipiente hasta llenarlo completamente, con la condición de no producir ningún tipo de vibración que pudiera compactarlo.

Para la densidad aparente compactada se utiliza de igual forma un molde de dimensiones y peso conocido, la única diferencia radica en que el material cementante debe ser colocado en tres capas y cada una debe ser compactada mediante el método de sacudidas, es decir que se permitirá la caída del molde desde una altura de 20 mm por 25 ocasiones. El proceso de este ensayo se realizó en base al proceso detallado en el libro Estudio del Hormigón del Ing. Luna, G. (2014).

FOTOGRAFÍA 3. 11. ENSAYO DE DENSIDADES APARENTES DEL CEMENTO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

La ecuación utilizada se muestran a continuación:

$$\gamma_s, \gamma_c = \frac{(P_2 - P_1)}{V} \text{ [g./cm}^3\text{]} \quad (3. 15)$$

Donde,

γ_s, γ_c = Densidad suelta o compactada del cemento [g/cm³]

W_s, W_c = Peso del cemento suelta o compactado = (P₂-P₁) [g]

P_1	=	Peso del molde vacío [g.]
P_2	=	Peso del molde + cemento suelto o compactado [g.]
V	=	Volumen interno del molde [cm ³]

3.3.3. CONSISTENCIA NORMAL

La consistencia normal se define como la cantidad de agua necesaria para que la masa de cemento adquiera una fluidez óptima y una plasticidad ideal, estas características aparecen cuando con la cantidad justa de agua se hidratan todas las partículas de cemento. Se expresa como un porcentaje de la masa de cemento; Según el Manual de Tecnología del Hormigón (ASOCRETO, 2010) los valores de consistencia del cemento varían entre 23% y 33%, y depende de las características de éste, por ejemplo el valor de consistencia normal en un cemento fino es mayor, para cementos portland los valores de consistencia normal pueden diferir entre sí, el requerimiento de agua es mucho mayor para cementos con adiciones por el aumento de su superficie específica, etc.

Este ensayo se ejecuta con una cantidad determinada de cemento y una cantidad de agua seleccionada en base al peso de cemento, esta masa de agua se elige por experiencia del técnico o tomando como guía los valores presentados en la literatura técnica, es decir que se realizará una serie de ensayos hasta determinar el valor correcto de la consistencia, es un proceso de prueba/error; cuando se ha obtenido la masa de agua y con la ayuda de una batidora, se prepara la pasta de cemento que se colocará en un molde tronco cónico bajo la sonda Tetmayer (varilla móvil de 10 mm de diámetro), la cual debe penetrar $10\text{mm} \pm 1\text{ mm}$ en 30 segundos luego de liberar la varilla, cuando estas condiciones se cumplan, se ha conseguido la consistencia normal de la muestra de cemento.

Este procedimiento se encuentra detallado en la Norma INEN 0157: "Cemento hidráulico: Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat" y ASTM C187 "Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement".

FOTOGRAFÍA 3. 12. ENSAYO DE CONSISTENCIA NORMAL.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

La ecuación que se presenta a continuación permite calcular la consistencia normal:

$$C\% = \frac{M_a}{M_c} \times 100 \quad (3. 16)$$

Donde:

C = Consistencia normal [%]

Ma = Peso del agua [g].

Mc = Peso del cemento [g].

3.3.4. TIEMPOS DE FRAGUADO

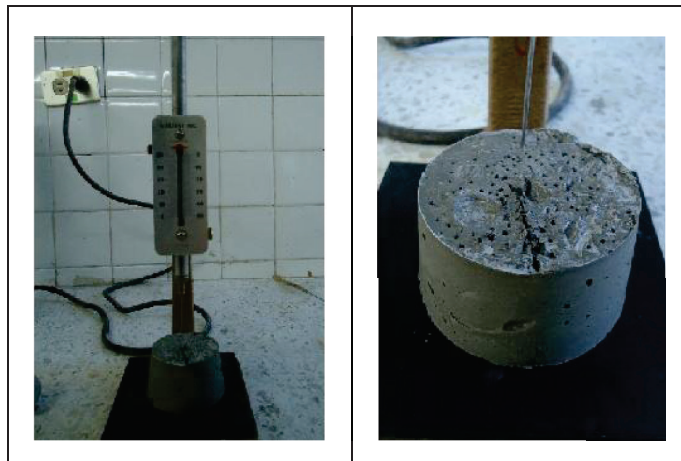
El ensayo de tiempos de fraguado sirve para determinar el tiempo que transcurre desde la adición de agua al cemento hasta que la pasta pierde fluidez y deja de ser plástica (tiempo de fraguado inicial) y hasta que la pasta alcanza cierta dureza (tiempo de fraguado final). La realización de este ensayo y al igual que para el ensayo de consistencia normal, se utiliza el aparato de Vicat, éste interviene primero en la obtención de la consistencia normal de la pasta de cemento, ya que es un requisito para realizar este ensayo; cuando se tiene la pasta lista se debe

almacenar en la cámara de curado y solamente se la debe sacar para tomar las medidas de penetración con las agujas de Vicat.

Se dice que ha empezado el fraguado cuando la aguja de Vicat ha penetrado 25 mm en 30 segundos, esta medida debe ser obtenida por interpolación, por lo que se deben registrar varias medidas de penetración a intervalos de tiempo prudentes. Por otro lado, el tiempo transcurrido desde el contacto del agua con el cemento hasta la penetración de 25 mm se considera como el tiempo de fraguado inicial Vicat. El fraguado final de la pasta se presenta cuando al soltar la aguja no se registra señal, es decir que la pasta se ha vuelto indeformable. El tiempo total transcurrido desde que el cemento entró en contacto con el agua hasta la última medida tomada sin marca perceptible en la pasta se denomina, tiempo final de fraguado Vicat.

Este ensayo se ejecutó siguiendo el procedimiento de la Norma INEN 0158: "Cemento hidráulico: Determinación de tiempo de fraguado. Método de Vicat" y ASTM C191: "Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle".

FOTOGRAFÍA 3. 13. ENSAYO DE TIEMPOS DE FRAGUADO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

3.4. DOSIFICACIÓN

En el diseño de mezclas de hormigón, dosificación es el término asignado para una serie de actividades que se realizan con la finalidad de encontrar las proporciones adecuadas en las que hay que mezclar los diferentes componentes del hormigón, y así conseguir mezclas que posean determinadas características de consistencia, resistencia y durabilidad.

Uno de los aspectos más relevantes en la dosificación de un hormigón es la caracterización de los agregados, cemento y agua, en algunos casos se contemplan aditivos químicos u otras, dado que de estos componentes depende la calidad del hormigón que se obtiene. Respecto a los agregados y cemento, se ejecutan ensayos normalizados de laboratorio con el fin de cotejar la información obtenida con los requisitos de las normas para el diseño de hormigones; cuando se presenten situaciones en las que los agregados disponibles no cumplan con todos estos lineamientos y sean provenientes de una fuente cercana al lugar de obra, se pueden ejecutar pruebas para comprobar el comportamiento del hormigón en estado endurecido. En cuanto al componente agua, se debe analizar que cumpla con los parámetros mínimos para que sea considerada como apta para ser utilizada en la fabricación del hormigón, sin embargo y como nuestro objeto de estudio indica, se puede realizar el análisis de mezclas elaboradas con agua de diferentes concentraciones y características, de modo que se pueda evaluar el comportamiento del hormigón en estado endurecido.

Al referir una evaluación en estado endurecido, lo que se pretende es verificar si la resistencia específica de diseño ha sido alcanzada o ha sido afectada de alguna forma por las características de los componentes, sean agregados, cemento y/o agua. Uno de los objetivos, sino el principal, es conseguir una resistencia específica o esfuerzo de compresión simple en un determinado diseño de hormigón, información que es necesaria para el diseño de estructuras.

En síntesis, lo que una dosificación busca es lograr un hormigón de una determinada resistencia a la compresión, durable y principalmente económico.

A continuación se presenta una tabla con el resumen de las condiciones generales para dosificación y el parámetro que condiciona dicha característica.

TABLA 3. 4. CONDICIONES GENERALES PARA DOSIFICACIÓN.

Tipo de condición	Características que deben considerarse	Parámetros condicionantes
Diseño	Resistencia	Tipo de cemento / Relación a/c.
Uso en obra	Tabajabilidad: Fluidéz y Consistencia Características del elemento estructural	Dosis de agua y granulometría Tamaño máximo
Durabilidad	Condiciones ambientales Ataques agresivos	Tipo de cemento Uso de aditivos Dosis mínima de cemento

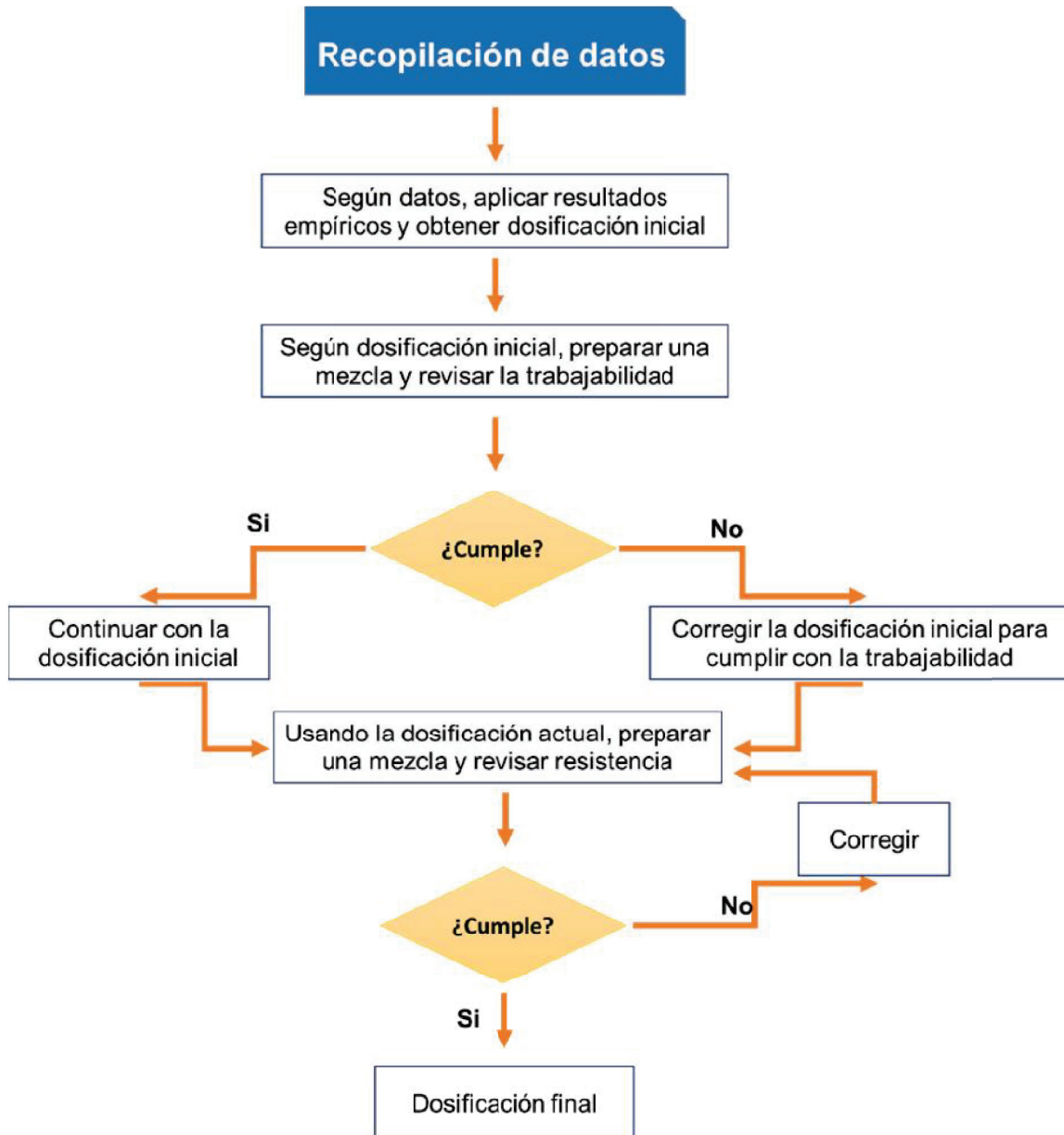
FUENTE: Videla, C. (1 de Febrero de 2014). *Wordpress*. Obtenido de ingjeltoncalero.files.wordpress.com/2014/02/dosificaciones-de-hormigon.pdf

En la bibliografía existen algunos métodos teóricos para obtener mezclas de hormigón con características deseadas; sin embargo, ningún método teórico exime de la comprobación experimental puesto que a más de los factores que influyen en la diseño de la mezcla, existen muchos otros que intervienen en el la fabricación del hormigón en sí, tales como las condiciones climáticas, contaminación, exposición al sol y viento y otras fuentes que ocasionen la evaporación rápida del agua de la mezcla como se menciona en la norma NTE INEN 1763, 2010 y ASTM C 172/172M-14, 2014.

El procedimiento adecuado es obtener una dosificación inicial en base al cálculo recomendado por el método seleccionado, y a partir de ésta ir realizando las correcciones pertinentes, de acuerdo a los resultados experimentales realizados en la mezcla cuando se encuentra en estado fresco y en los especímenes cilíndricos y/o prismáticos cuando se encuentra en condición endurecido, de modo que se va realizando el ajuste de las cantidades de los componentes, hasta obtener las características o diseño deseado.

El proceso que se sigue generalmente en el diseño de hormigones se presenta a continuación mediante un diagrama de flujo que sintetiza y facilita la visualización de dicho proceso (Figura 3.2).

FIGURA 3. 2. ALGORITMO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

En la presente investigación se realizó el diseño del hormigón en base al método planteado por el American Concrete Institute (ACI) Comité 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, Reapproved 2002.

3.5. ENSAYOS EN EL HORMIGÓN FRESCO

La evaluación de la mezcla de hormigón en estado fresco, es importante para analizar si las características que tiene son las deseadas para su transporte o colocación en obra; resulta necesario que ciertas ocasiones la mezcla sea sustancialmente trabajable sin afectar negativamente su resistencia a la compresión, para el vertido en elementos con armado masivo, por ejemplo.

Es otro punto válido también, la determinación de ensayos como contenido de aire, trabajabilidad, temperatura, etc. para hacer una evaluación preliminar del comportamiento de la mezcla en estado endurecido y como una medida para el control de calidad del hormigón.

Por esta razón, se realizaron estos ensayos en el hormigón fresco, con la intención de comparar la variación de estas propiedades en cada una de las mezclas, en las que se ha modificado la variable agua de mezclado.

Todos los ensayos son realizados con una muestra de hormigón obtenida en base a la norma

3.5.1. ASENTAMIENTO

El ensayo de asentamiento tiene como objetivo determinar la consistencia del hormigón en estado fresco. Se procura tener un control de la incorporación de agua en la mezcla a través de este procedimiento ya que influirá directamente en la variación de su consistencia. No es aplicable para hormigones plásticos o con asentamientos menores 1,5 cm, ni tampoco para hormigones no cohesivos o con asentamientos mayores a 23 cm.

Se ejecuta haciendo uso del denominado cono de Abrams, que es un molde metálico normalizado con forma de un cono truncado. Luego de obtener una

muestra de hormigón en base a las normas INEN 1763, (2010) y ASTM C 172/172M-14, (2014), se humedece el equipo con el que se realizará el ensayo, se ejerce presión sobre el molde con ayuda de los pies y se procede con el llenado del molde en tres capas de igual volumen, las mismas que se irán compactando con 25 golpes de la varilla normada.

La compactación debe hacerse desde el contorno del molde hacia el centro en forma de una espiral, además la capa siguiente debe ser compactada de modo que la varilla no penetre más de 25 mm la capa anterior; para la capa final se coloca el hormigón de modo que con el proceso de compactación finalizado el molde quede lleno, es decir sin carencia de mezcla. Se enrasa con el rodado de la varilla y se limpia los residuos de hormigón alrededor del molde. Se levanta el molde y se invierte colocándolo junto a la mezcla de ensayo, con la ayuda de la varilla y un flexómetro se determina cuanto descendió la mezcla, a este valor se lo denomina asentamiento. A mayor asentamiento, mayor fluidez y más trabajable resulta la mezcla.

Este proceso se ha realizado según lo indica la Norma INEN 1578: "Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento." y ASTM C 143 – 08. "Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete".

FOTOGRAFÍA 3. 14. ENSAYO DE ASENTAMIENTO EN MUESTRA PATRÓN.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

3.5.2. CONTENIDO DE AIRE

El aire es un elemento contenido en cualquier hormigón ya sea de forma intencional por medio de cementos o aditivos incorporadores de aire o por el aire

atrapado durante el mezclado. Por cualquiera de estas dos formas, el aire disminuye los requerimientos de agua para una misma trabajabilidad y brinda mayor cohesión a la mezcla.

Para hormigones fabricados sin agentes incorporadores, se han registrado valores entre 1% y 2% del volumen de la mezcla, para hormigones con agentes inclusores se registran valores entre el 4% y el 8%.

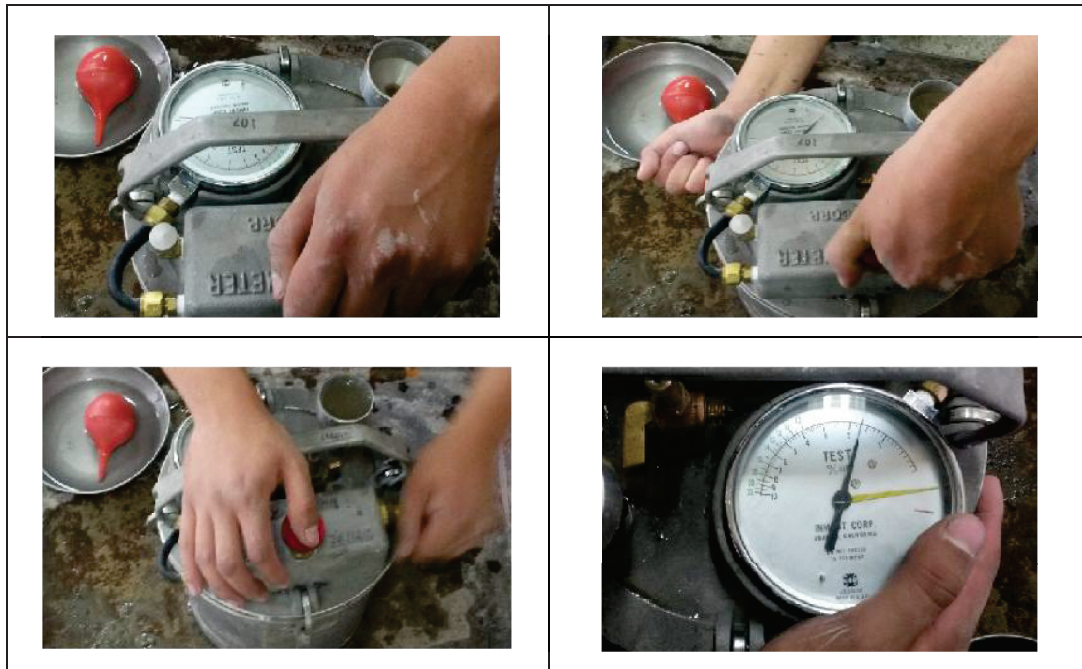
Dos factores que pueden influir la variación del contenido de aire en una mezcla pueden ser la presencia de material más fino que la malla N° 200, ocasionando la disminución de éste, y la materia orgánica presente en los agregados, que puede ocasionar un aumento de burbujas de aire que inciden directamente en el aumento de la capilaridad del hormigón. Por otro lado, la resistencia a compresión puede verse afectada por el contenido de aire, ya que los vacíos dejados tienen diámetros mayores a 1 mm, disminuyen la sección efectiva por el aumento de porosidad, además de ser un hormigón de mal aspecto. (ASOCRETO, 2010).

El procedimiento para determinar experimentalmente el contenido de aire en la mezcla de hormigón, está basado en el método volumétrico, el cual requiere de un volumen conocido de hormigón, para esto se utiliza un recipiente de dimensiones conocidas, en el cual se compacta el hormigón por el método más adecuado, mismo que se elige en función del asentamiento obtenido en la mezcla, en este caso se ha realizado la compactación por varillado, es decir, tres capas de igual volumen con 25 golpes y 10 o 15 golpes del mazo de goma. Posteriormente se realiza el acople de la tapa del medidor, verificando cuidadosamente que el borde del recipiente se encuentre perfectamente limpio, se cierra la llave de desfogue de presión y se abren las llaves de drenaje/ llenado de agua. Se llena el recipiente con agua, se examina la salida de aire atrapado y se cierran las llaves. Mediante el incremento de presión, se desaloja el aire atrapado en la mezcla. El medidor entrega directamente el valor desalojado de aire en porcentaje.

Este proceso se especifica en la Norma ASTM C 231: "Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method". Se utilizó el medidor tipo B que se indica en la norma antes mencionada. El contenido de aire

a través de este método de ensayo se lo determina a partir del cambio de volumen en el hormigón fresco causado por un cambio de presión.

FOTOGRAFÍA 3. 15. ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE, MÉTODO VOLUMÉTRICO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

3.5.3. PESO UNITARIO

El peso unitario, masa unitaria o densidad, como se ha mencionado anteriormente, está definida como la relación entre el peso del concreto por unidad de volumen. Esta propiedad varía en función del Tamaño Máximo, granulometría y densidad de los agregados, cantidad de aire atrapado o incluido intencionalmente, cantidad de cemento, cantidad de agua y también por el grado de saturación de las partículas de agregados antes del mezclado, lo que está relacionado con el grado de porosidad de las mismas.

El ensayo consiste en seleccionar un recipiente de volumen y peso conocidos, el cual dependerá del T_{mn} del agregado grueso y puede ser elegido de la Tabla N° 1 de la norma ASTM C 138 que muestra el volumen de los recipientes. Posterior a este paso, se obtiene una muestra de hormigón, en base al procedimiento de la

norma ASTM C 172 y con previo conocimiento del valor de asentamiento, se elige el método de compactación:

- Hormigones con asentamiento de 7.5 o mayor se realizará varillado.
- Hormigones con asentamientos de 7.5 a 2.5 se varillarán o vibrarán, mientras que,
- Hormigones con asentamientos menores a 2.5 deberán ser vibrados.

Con la muestra de hormigón lista se procede al vertido de la misma en el recipiente y se compacta, en este caso se ha elegido el proceso de varillado, es decir que se colocará la muestra en tres capas de igual volumen con 25 golpes de la varilla; cada capa se golpeará de 10 a 15 veces con el mazo de goma para cerrar los espacios dejados por la varilla. En la compactación de la primera capa, se debe procurar que no golpee el fondo del recipiente y las sucesivas deben procurar no penetrar la anterior en más de 25 mm; para la tercera y última capa se coloca el hormigón de modo que rebose el recipiente en máximo 3 mm, se enrasa y se limpia el exceso del borde y de los alrededores del recipiente para determinar la masa.

Este ensayo se describe en la Norma ASTM C 138: "Density (Unit Weight), Yield and Air Content (Gravimetric) of Concrete".

El peso unitario del cemento, se calcula de la siguiente forma:

$$D = \frac{Mn}{Vm} = \frac{(Mc - Mm)}{Vm} \quad (3. 17)$$

Donde:

D = Densidad [kg/m³]

Mn = Masa Neta [kg]

Vm = Volumen del molde [m³]

Mc = Masa del molde más masa del hormigón compactado [kg]

Mm = Masa del Molde [kg]

3.5.4. TEMPERATURA

La temperatura de una mezcla puede ser determinada en el equipo de transporte, al momento de vertido en el encofrado etc., la única condición a cumplir es que el sensor que determine la temperatura, debe estar cubierto por al menos 75 mm en todas las direcciones.

Las medidas de temperatura pueden variar con el transcurso del tiempo, por lo que se aclara que el registro de la lectura de esta propiedad es en momento del ensayo mismo, es decir dentro del intervalo de tiempo de 2 a 5 minutos, después de haber formado la muestra compuesta de hormigón, según indica el procedimiento de la norma ASTM C 172.

Se introduce el sensor o termómetro en la mezcla y se presiona ligeramente con los dedos alrededor del sensor de modo que la medida obtenida no sea influenciada por el ambiente. Se permite que la mezcla se estabilice por al menos dos minutos y se registra la lectura.

En el caso de trabajar con agregados de T_{mn} mayor a 75 mm (3 pulgadas), se debe permitir un tiempo de estabilización de la mezcla, de aproximadamente 20 minutos para registrar la lectura.

Se registraron lecturas de temperatura en todas las mezclas realizadas en esta investigación, con la ayuda de un termómetro de 0.5 °C de precisión, tal como lo exige la Norma ASTM C1064: "Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete". El resultado registrado fue el definido por el promedio de todas las lecturas realizadas.

3.5.5. EFLORESCENCIA Y APARIENCIA SUPERFICIAL

La eflorescencia es un fenómeno ocasionado por la pérdida de agua por la cristalización de una sal hidratada expuesta al ambiente.

En el hormigón, este fenómeno aparece cuando las sales de calcio del cemento son diluidas por la humedad presente y por capilaridad asciende a la superficie, donde reaccionan al entrar en contacto con el CO₂ presente en el aire; al

evaporarse, éstas dejan un depósito mineral de carbonato de calcio de textura polvosa de color blanco. Para determinar este efecto en las diferentes mezclas se almacenan los especímenes, en condiciones ambientales naturales, por un período de tiempo no menor a 90 días, luego de los cuales se evalúa el porcentaje de área superficial afectado con relación al área total del espécimen.

3.6. ENSAYOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

3.6.1. PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

Una parte fundamental y de la que dependen en gran parte los resultados que se obtengan del comportamiento del hormigón en estado endurecido, es la elaboración de las probetas o especímenes.

En este estudio se han elaborado 8 mezclas: La mezcla base o patrón, 4 para el parámetro pH, 3 para concentraciones de Nitratos, las mismas que han sido detalladas en párrafos anteriores.

Generalmente y como una medida de control, se han establecido ciertas edades del hormigón en las que se puedan realizar ensayos, para que el técnico responsable de esa mezcla pueda evaluar su desarrollo. Por esta razón, en la presente investigación se han definido cuatro edades: 7, 14, 28 y 56 días; en cada una de estas edades se han ensayado cinco especímenes, cilíndricos y/o prismáticos, de modo que se pueda presentar un desglose de resultados acordes a la realidad; generalmente la literatura técnica recomienda el ensayo de mínimo dos especímenes para un mismo resultado, sin embargo se ha establecido el ensayo de cinco probetas con el objetivo de realizar un análisis que arroje valores característicos de resistencia por medio de la eliminación de valores atípicos, descartando todos los valores alejados de la media aritmética y que se encuentren fuera del intervalo limitado por una desviación estándar.

Cada una de las mezclas será evaluada con los siguientes ensayos para hormigón en estado endurecido: Resistencia a la Compresión Simple, Tracción por Compresión Diametral y Resistencia a la Flexión.

3.6.1.1. ESPECÍMENES CILÍNDRICOS

Para la determinación del esfuerzo a compresión y la tracción por compresión diametral del hormigón se fabricaron especímenes cilíndricos. En cuanto a dimensiones de las probetas, la relación altura/diámetro se encuentre en relación 2 a 1, además el diámetro del cilindro debe ser de por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado, en este caso de estudio el material grueso utilizado tiene un T_{mn} de 19 mm, por lo que acorde a la norma es válido utilizar un molde de 100 mm de diámetro y una altura de 200 mm.

Los moldes utilizados pueden ser de cualquier material no absorbente que garantice la estanqueidad del agua vertida en su interior, además deben mantener su forma a pesar de cualquier condición de uso, deben ser indeformables y cumplir con las tolerancias establecidas en la norma.

En cada mezcla de estudio, se fabricaron aproximadamente 45 probetas cilíndricas de hormigón, las mismas que fueron moldeadas sobre una base firme y nivelada. El método de compactación fue seleccionado en función del asentamiento de la mezcla, dado que es mayor a 25 mm se procede a aplicar el método de varillado; de la misma manera se selecciona el número de capas en las que se colocará el hormigón, debido a que la altura del cilindro es de 200 mm se colocará en 2 capas.

El proceso consiste en la colocación de cada capa de hormigón con una compactación de 25 golpes de la varilla normada y 10 o 15 golpes del mazo de goma, esto con el fin de cerrar los vacíos formados por la varilla de compactación y evitar burbujas de aire en el hormigón.

En la compactación de la primera capa se debe evitar golpear el fondo del molde con la varilla, mientras que para la segunda la varilla no debe penetrar la capa inferior más de 25 mm, además el hormigón debe rebosar el borde del molde de modo que al finalizar la compactación quede totalmente lleno y listo para ser enrasado.

Cada probeta debe ser terminada con la mínima manipulación de su superficie, la cual debe ser plana, nivelada y sin ninguna protuberancia que afecte los

resultados del ensayo. Los especímenes moldeados son almacenados en laboratorio.

Posterior a un periodo de 24 horas después de la elaboración de los especímenes, se desencofran con cuidado para evitar daños en la superficie de las mismas. Finalmente son sometidos a un proceso de curado por inmersión en agua, las probetas son retiradas de las piscinas de curado solamente cuando han cumplido la edad correspondiente de ensayo y según la tolerancia indicada de la norma, se extraen solamente unas horas antes del ensayo respectivo.

Los moldes utilizados y el moldeo de los especímenes están regulados bajo las especificaciones de la Norma INEN 1576: "Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo." y ASTM C 31 – 09. "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the field."

3.6.1.2. ESPECÍMENES PRISMÁTICOS

Para el ensayo a flexión del hormigón y según indican las normas mencionadas en el párrafo anterior, los especímenes deben ser de forma prismática.

En vigas, las normas NTE INEN 1576 / ASTM C 31 – 09, establecen que la longitud debe ser al menos 50 mm mayor que tres veces la altura, además la relación ancho/altura no debe ser superior a 1,5. Bajo estos requisitos, se utilizaron moldes de acero de 40 cm de longitud con una sección transversal cuadrada de 10 cm, al igual que los moldes cilíndricos cumplen con lo estipulado en la norma respecto a estanqueidad, perpendicularidad entre los lados, etc.

Para el ensayo de flexión se requirieron fabricar aproximadamente 21 especímenes por cada mezcla analizada, considerando al igual que en el caso de cilindros, 5 especímenes para edades de 7, 14, 28 y 56 días.

El moldeo se realiza por varillado, ya que el asentamiento de las mezclas se registró con valores mayores a 25 mm; el compactado se efectuará por medio del llenado de 2 capas de hormigón uniformemente distribuido, cada una de las cuales se compactará con un golpe por cada 14 cm² de área superficial de la viga

y con 10 o 15 golpes del mazo de goma para evitar burbujas atrapadas en el hormigón.

En la primera capa se debe evitar que la varilla golpee el fondo del molde y la capa siguiente puede penetrar la anterior en no más de 25 mm, además debe colocarse el hormigón de modo que al finalizar la compactación el molde quede lleno. Finalmente se enrasa, se da el terminado con ayuda de una llana o paleta y se retira el resto de hormigón de alrededor del molde.

Luego de finalizar el proceso de fabricación de los especímenes, se los reserva bajo condiciones de laboratorio y en un lugar cercano al lugar en el que se van a almacenar hasta el día del ensayo correspondiente.

Estos especímenes, al igual que los cilindros, fueron desencofrados 24 horas después de su elaboración, con la precaución necesaria para evitar daños en los especímenes. El proceso de curado se realiza por inmersión permanente en agua, es decir que los especímenes se conservarán en las piscinas de curado hasta el día del ensayo, se pueden extraer de las piscinas solamente unas horas antes del ensayo para evitar que pierdan humedad, la norma establece ciertas tolerancias para este proceso.

3.6.2. COMPRESIÓN SIMPLE

El ensayo de compresión simple en cilindros de hormigón, tiene la finalidad de determinar el Esfuerzo a Compresión $f'c$, denominado también Resistencia a la Compresión del Hormigón.

La información que brinda este ensayo es de mucha importancia, ya que se ha constituido como un parámetro de control de la calidad del hormigón que se suministra en obra, puesto que el diseño estructural está basado en un valor de resistencia específica. En obra el hormigón debe ser sometido a este ensayo, para comprobar que la resistencia que exige el diseño sea la correcta, de lo contrario, el constructor se expone a que la estructura sea derrocada; otra razón del ensayo es porque los tiempos de ejecución de obra así lo exigen, así se puede determinar el retirado de las cimbras o encofrado a una edad temprana del

hormigón, siempre y cuando la resistencia a esa edad así lo garantice (IMCYC, 2006).

Normalmente, la resistencia de una mezcla de hormigón está diseñada para ser alcanzada a los 28 días de su fabricación, sin embargo existen otras edades para determinar si el desarrollo del hormigón es el adecuado; las edades más comunes son 7, 14 y 21 días, a las cuales está asociado un porcentaje de resistencia que debe ser alcanzado.

Cada resultado obtenido debe ser por lo menos el promedio de dos ensayos realizados en especímenes fabricados con la misma mezcla.

El procedimiento consiste en ensayar especímenes previamente moldeados y curados bajo los métodos normados, los cuales deben ser preparados, es decir que se deben registrar al menos 3 lecturas de sus dimensiones (diámetro y altura) y el peso, además se debe revisar que las caras del cilindro sean paralelas y libre de protuberancias que pudieran afectar negativamente el ensayo. Posteriormente y en el menor tiempo posible después de sacarlo del curado, de manera que el espécimen sea ensayado en húmedo, se debe colocar en la máquina de compresión o prensa hidráulica, se debe centrar la probeta y aprisionarla con los platos de carga. Cuando el espécimen esté listo se aplica la carga de forma constante, a una velocidad de $0,25 \pm 0,05$ [MPa/s], el ensayo finalizará cuando la carga disminuye constantemente y la probeta muestra una fractura definida. Es importante recalcar que para máquinas de aplicación de carga manual, se debe evitar la manipulación de la válvula de carga en la etapa final del ensayo.

Este procedimiento se encuentra detallado en la norma NTE INEN 1573: "Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico" y la norma ASTM C 39 – 05: "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens."

Las siguientes expresiones han sido utilizadas:

$$F'_c = \frac{Q}{At} \quad (3. 18)$$

Donde:

F_c = Resistencia a compresión [kg/cm^2]

Q = Carga de rotura [kg]

A_t = Área transversal de la probeta [cm^2]

$$D_c = \frac{W}{V} \quad (3. 19)$$

Donde:

D_c = Densidad del hormigón [g/cm^3]

W = Masa de la probeta [g]

V = Volumen de la probeta [cm^3]

3.6.3. COMPRESIÓN DIAMETRAL (TRACCIÓN INDIRECTA)

El ensayo es utilizado para obtener el valor de la resistencia a tracción del hormigón como una medida indirecta, ya que éste consisten en la aplicación de una carga a lo largo de dos líneas generatrices opuestas en la probeta cilíndrica de hormigón, es decir a lo largo de su eje longitudinal, de modo que con la aplicación de la carga diametral, se genere una distribución uniforme de esfuerzos de tensión en la sección transversal a lo largo del eje, ocasionando la rotura del espécimen por tracción. Se considera también como un valor de correlación para obtener el Módulo de Ruptura por Flexión (MR) mediante ciertas expresiones como las mencionadas en el Capítulo 2

La tracción indirecta es generalmente mayor que el valor de resistencia a la tracción obtenido de forma directa, y menor que el valor determinado para resistencia a flexión o Módulo de Ruptura. El valor obtenido de resistencia a la tracción pura representa el 85% del valor obtenido por tracción indirecta. Con el

conocimiento previo de esta información, obtenida de la literatura técnica, y con la aplicación de este ensayo, dado que su ejecución es más sencilla inclusive por que la manipulación y transporte de probetas cilíndricas es más factible que en el caso de probetas prismáticas, se obtiene un parámetro de control de calidad del hormigón en casos particulares como pavimentos, pisos industriales, etc., donde la influencia de resistencia a la Tracción es imperativa.

Primero se deben trazar líneas diametrales en las caras paralelas del cilindro, este paso se debe ejecutar de modo que se garanticen que dichas líneas se encuentren en el mismo plano axial. Se determina las dimensiones del espécimen de prueba, en el caso de los diámetros se deben registrar tres lecturas, una de cada extremo en el plano que contiene las líneas trazadas y una en el centro, además se deben tomar al menos dos lecturas de su longitud en el plano que contiene las líneas de referencia. El promedio de estos valores representará los valores de diámetro y altura utilizados en los cálculos de la Tracción Indirecta.

Posteriormente, se coloca el espécimen en el aparato que generará la aplicación de la carga, el mismo que se compone de un marco con una placa superior e inferior, todo de acero, que sujetarán la probeta. Las líneas marcadas en la probeta servirán de guía para que el plano axial formado por ellas interseque en el centro del plato de carga superior e inferior. Cuando el cilindro está ubicado correctamente, se procede a la aplicación de la carga, de manera constante y evitando saltos bruscos, la velocidad de carga debe mantenerse dentro del rango de 0,7 a 1,4 MPa/min hasta que la probeta falle, finalmente se debe registrar la carga máxima de rotura.

La ejecución de este ensayo se ha realizado en base a la norma ASTM C 496/496M – 11: “Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens”.

La Resistencia a Tracción Indirecta se determina mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{2P}{\pi ld} \quad (3. 20)$$

Donde:

T = Esfuerzo de Tracción Indirecta [MPa]

P = Carga máxima aplicada, registrada en la máquina [N]

L = Longitud de la probeta cilíndrica [mm]

D = Diámetro de la probeta cilíndrica [mm]

3.6.4. FLEXIÓN.

La determinación de la Resistencia a Flexión, representado por el Módulo de Ruptura, se realiza mediante el ensayo de vigas sometidas a dos tipos de esfuerzos: compresión y tensión. Este parámetro es de importancia para el control de calidad del hormigón en estructuras, en pavimentos, pisos industriales, etc.

Para este ensayo, se prepara el espécimen marcando su centro y los tercios medios, ya que en estos puntos se aplicará la carga y se colocarán los apoyos respectivamente, además se registran las dimensiones, alto, largo y ancho, de modo de obtener un valor promedio por cada una, así también de la luz libre de la viga.

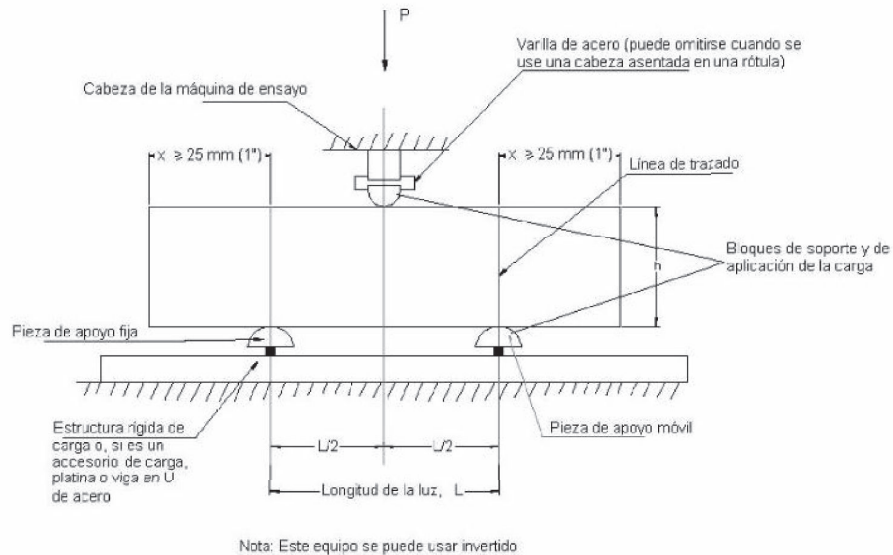
Cuando el espécimen esté preparado y sin dejar que pase mucho tiempo después de extraer la probeta del curado, se debe colocar en la máquina de ensayo, girando la cara de fundición, es decir que la carga se aplicará en la cara lateral; la probeta debe estar centrada respecto a la colocación de la carga. Se debe poner especial cuidado para que los apoyos y la barra de aplicación de carga tengan un contacto total con las caras de la viga, de lo contrario se debe tomar medidas como el lijado, colocación de franjas de cuero u otras acordes para que los resultados no se vean afectados.

Cuando el espécimen está colocado y centrado se inicia con la aplicación de la carga, de manera constante y evitando saltos bruscos, así se irá incrementando constantemente la tensión en la fibra extrema entre 0,9 Mpa/min y 1,2 Mpa/min, hasta llegar a la rotura.

Este procedimiento está basado en la norma ASTM C 293/C293M - 16: "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center – Point Loading)

El esquema del ensayo de la viga se muestra en la Figura

FIGURA 3. 3. ESQUEMA DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO A FLEXIÓN.



FUENTE: I.N.V.E. - 415 - 07 / ASTM C 293 - 11.

Las ecuaciones utilizadas para este procedimiento son:

$$v = \frac{2Sbd^2}{3L} \quad (3. 21)$$

Donde:

v = Tasa de Carga, N/min, [lb/min]

S = Tasa de incremento de la Tensión en la fibra extrema Mpa/min, [psi/min].

b = Ancho promedio de la probeta, mm, [pulg]

d = Altura promedio de la probeta, mm, [pulg]

L = Longitud de la probeta, mm, [pulg]

$$R = \frac{3Pl}{2bd^2} \quad (3. 22)$$

Donde:

R = Módulo de Rotura, MPa, [psi]

P = Máxima carga aplicada indicada en la máquina de ensayo, N [lbf].

l = Longitud de la luz, mm, [pulg]

b = Ancho promedio de la probeta en el punto de fractura, mm, [pulg]

d = Altura promedio de la probeta en el punto de fractura, mm, [pulg]

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de los ensayos de laboratorio, realizados para determinar las propiedades de los agregados y del cemento, materiales involucrados en la elaboración del hormigón, se presentan en esta sección; con dichos resultados se pretende demostrar que los materiales utilizados en el desarrollo experimental de este estudio, son aptos para ser empleados en la fabricación de mezclas de hormigón, ya que sus propiedades cumplen con los requisitos establecidos en la normativa.

Con el propósito de cumplir el objetivo general del presente proyecto de investigación, se presentan los resúmenes de las tablas de resultados de los ensayos de las propiedades físicas - mecánicas del hormigón y se realiza un análisis comparativo de dichos valores, además se correlaciona las ecuaciones empíricas de las propiedades mecánicas del hormigón. Por otro lado, los datos obtenidos de todas las probetas y ensayos realizados en laboratorio, se presentan en Anexos.

4.1. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

4.1.1. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO Y FINO

Los resultados del ensayo de granulometría de los agregados y los límites de gradación correspondientes al T_{mn} en el caso de agregado grueso y los definidos para arenas o agregado fino se presentan a continuación, y han sido establecidos acorde con lo indicado en el apartado 3.1.1.

En lo que respecta al agregado grueso, se trabajó con material triturado de tamaño máximo nominal de 3/4", que influye en el tamaño de muestra mínima a elegir, para este caso particular es de 5 kg, sin embargo el tamaño de muestra con el que se trabajó en este proyecto fue de aproximadamente 10 kg.

Se realizaron dos ensayos, con el objetivo de obtener un valor promedio, con el que se realiza la evaluación, de modo que se obtenga una información más real sobre el material. En la Tabla 4.1 se presentan los resultados del ensayo de granulometría para agregado grueso y en la Figura 4.1 la curva granulométrica representativa del mismo.

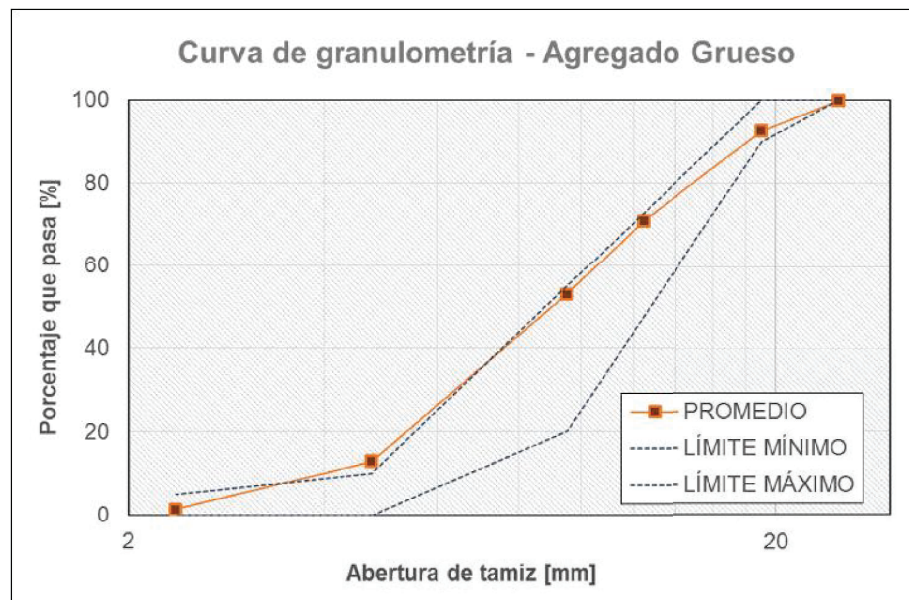
TABLA 4. 1. RESULTADOS Y REQUISITOS DE GRADACIÓN PARA AGREGADOS GRUESO.

TAMIZ	ABERTURA	PORCENTAJE ACUMULADO EN MASA QUE PASA				
No.	[mm]	Ensayo 1	Ensayo 2	PROMEDIO	LÍMITE MÍNIMO	LÍMITE MÁXIMO
[plg.]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	25	100,0	99,5	99,7	100	100
0,75	19	92,6	92,6	92,6	90	100
0,5	12,5	70,0	71,6	70,8	--	--
0,375	9,5	52,4	53,5	53,0	20	55
4	4,75	13,0	13,0	13,0	0	10
8	2,36	1,5	1,4	1,5	0	5
BANDEJA		0,0	0,0	0,0	--	--

MF =	6,41	6,39	6,40
------	------	------	------

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FIGURA 4. 1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

En cuanto al agregado fino, según el procedimiento indica, se debe realizar con una muestra mínima de 300 g., en esta investigación se ha ejecutado el proceso con una muestra de aproximadamente 500 g. Los resultados obtenidos de dos ensayos realizados consecutivamente se presentan a continuación, conjuntamente con la curva granulométrica que lo representa.

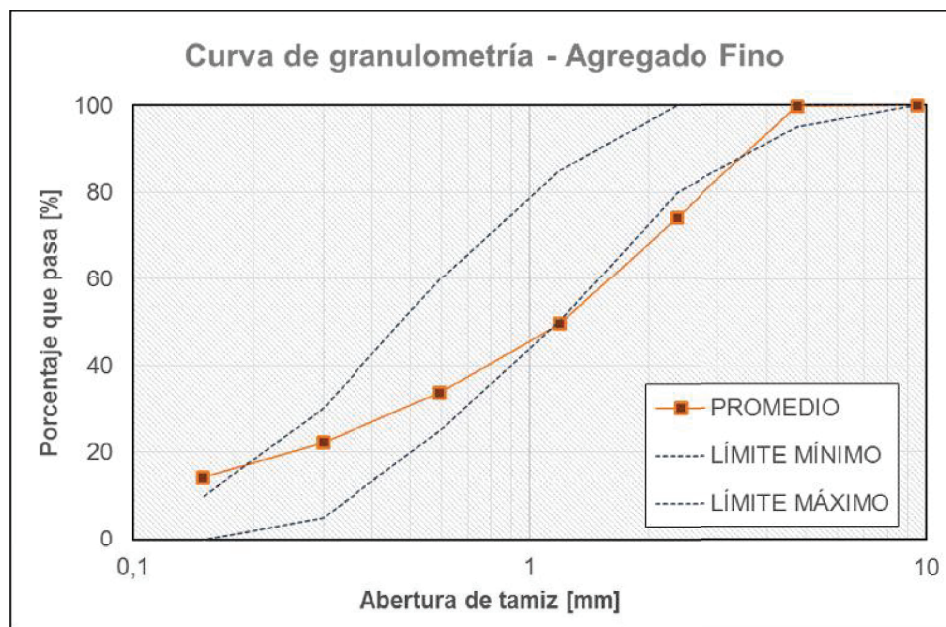
TABLA 4. 2. RESULTADOS Y REQUISITOS DE GRADACIÓN PARA AGREGADOS FINO.

TAMIZ	ABERTURA [mm]	PORCENTAJE ACUMULADO EN MASA QUE PASA				
		Ensayo 1 [%]	Ensayo 2 [%]	PROMEDIO [%]	LÍMITE MÍNIMO [%]	LÍMITE MÁXIMO [%]
3/8	9,5	100,0	100,0	100,0	100	100
4	4,75	99,7	99,9	99,8	95	100
8	2,36	71,9	76,7	74,3	80	100
16	1,19	45,9	53,1	49,5	50	85
30	0,594	30,4	36,9	33,7	25	60
50	0,3	19,7	24,6	22,2	5	30
100	0,15	12,5	16,0	14,3	0	10
BANDEJA		0,0	0,0	0,0	--	--

MF =	3,20	2,93	3,1
------	------	------	-----

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FIGURA 4. 2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Mediante este ensayo se puede observar que las curvas granulométricas de los materiales se ajustan a los límites de gradación establecidos en la norma NTE INEN 872; se muestran pequeños tramos que se encuentran fuera de mencionados límites, sin embargo, y como la misma norma expresa, si se demuestra mediante pruebas que no afecta el comportamiento del hormigón, éste puede ser utilizado.

En cuanto al módulo de finura del agregado fino (MF), se obtiene que la arena utilizada posee un MF de 3,1 que corresponde límite superior del rango establecido en la norma que es de 2,3 a 3,1. Por lo tanto y en función de los resultados mostrados anteriormente, se establece que los agregados utilizados en esta investigación, presentan una granulometría aceptable para la fabricación de hormigón.

4.1.2. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Tanto para agregado fino, como para agregado grueso fueron obtenidos los valores de peso específico, peso específico en condición S.S.S., peso específico aparente y absorción, de acuerdo al procedimiento establecido para cada agregado en el apartado 3.3.2. Los resultados representan el promedio de los valores obtenidos de tres ensayos consecutivos.

Para el ensayo del agregado grueso, se utilizó una muestra de 3 kg de masa, acorde a su T_{mn}. La Tabla 4.3 muestra los resultados obtenidos de cada ensayo y el promedio de los mismos.

TABLA 4. 3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO.

Parámetro de estudio	Unidad	1	2	3	Promedio
Peso específico:	[g/cm ³]	2,57	2,57	2,58	2,58
Peso específico S.S.S :	[g/cm ³]	2,63	2,63	2,63	2,63
Peso específico aparente:	[g/cm ³]	2,72	2,74	2,72	2,73
Absorción de agua:	[%]	2,08	2,31	1,97	2,12

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Para el agregado fino, se utilizó una muestra de 500 g. de arena en condición de superficie saturada seca, la cual fue determinada mediante el procesos ya mencionado, con ayuda de un molde tronco cónico. Los resultados obtenidos, se muestran en la Tabla 4.4.

TABLA 4. 4. RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO.

Parámetro de estudio	Unidad	1	2	3	Promedio
Peso específico:	[g/cm ³]	2,51	2,66	2,54	2,57
Peso específico S.S.S :	[g/cm ³]	2,59	2,76	2,63	2,66
Peso específico aparente:	[g/cm ³]	2,74	2,95	2,79	2,83
Absorción de agua:	[%]	3,40	3,81	3,48	3,56

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Se registra que el resultado obtenido para el agregado grueso es de 2,58 g/cm³ y la absorción es de 2,12%, mismos se encuentran dentro de los rangos encontrados en la literatura técnica, que indica que los valores típicos para el peso específico del agregado grueso varían entre 2,3 y 2,8 g/cm³ dependiendo de la roca de procedencia, mientras que la absorción oscila entre 0,2 y 4,0%. El valor de absorción es importante tanto para la corrección de agua en la mezcla como para evaluar si el agregado presenta una adecuada resistencia mecánica, ya que a mayor porosidad, mayor absorción, menos compacto es el material y por tanto menor resistencia mecánica posee (ASOCRETO, 2010).

En cuanto al agreado fino, se obtiene un peso específico de 2,57 g/cm³ y absorción de 3,56% y los rangos recomendados presentan valores entre 2,30 y 2,70 g/cm³, mientras que para absorción presentan valores entre 0,2 y 2,0%. Respecto a éste último, se debe a la presencia de una cantidad considerable de partículas finas tal como se puede apreciar en la curva granulométrica, sin embargo en las pruebas realizadas para obtener la mezcla definitiva o patrón, se observó que no afecta las características de mezcla en estado fresco, ni en estado endurecido, y se ha tenido especial cuidado en las correcciones por agua debido a esta propiedad, mismas que han sido resueltas, obteniendo así la mezcla patrón con la que se ha realizado este estudio.

4.1.3. DENSIDAD APARENTE DE LOS AGREGADOS

El ensayo de densidad aparente para agregado grueso, fue realizado con un molde con capacidad nominal de 9,3 litros que corresponde a Tmn de 25 mm o 1 pulgada, sin embargo la Tabla N°1 de la NTE INEN 858 expresa que se puede utilizar el molde para el Tmn listado o uno menor, ya que no todos los tamaños se encuentran listados en dicha tabla.

Los resultados obtenidos de los ensayos de densidad aparente para agregado grueso se presentan a continuación.

TABLA 4. 5. RESULTADOS DE DENSIDADES APARENTES DE AGREGADO GRUESO.

Parámetro de estudio	Unidad	1	2	3	Promedio
Densidad suelta:	[g/cm ³]	1,39	1,41	1,37	1,39
Densidad compactada:	[g/cm ³]	1,54	1,55	1,53	1,54

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

En el caso del agregado fino se ha realizado el ensayo con un molde de capacidad nominal de 9,3 litros, como una medida de control y debido a que es fácilmente manipulable. En la siguiente tabla se presentan los resultados de los ensayos de densidades aparentes para agregado fino.

TABLA 4. 6. RESULTADOS DE DENSIDADES APARENTES DE AGREGADO FINO.

Parámetro de estudio	Unidad	1	2	3	Promedio
Densidad suelta:	[g/cm ³]	1,62	1,61	1,63	1,62
Densidad compactada:	[g/cm ³]	1,76	1,74	1,78	1,76

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Los resultados obtenidos de agregado grueso son para densidad suelta de 1,39 g/cm³ y para densidad compactada de 1,54 g/cm³. Esta propiedad es de importancia en el diseño de hormigones, en particular la densidad aparente compactada debido a que mantiene una estrecha relación con la granulometría

del material, ya que si presenta una buena distribución de los tamaños de las partículas mayor será el valor de densidad compactada.

La clasificación de los agregados según la densidad, presenta que para agregados normales se tienen valores entre 1,3 a 2,0 g/cm³ (ASOCRETO, 1997).

4.1.4. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE AGREGADO GRUESO

El ensayo de abrasión se lo realiza en agregado grueso, para lo cual según el análisis de la granulometría del material, se establece que la gradación que corresponde es la C, con una carga abrasiva de 8 esferas y 500 revoluciones del Tambor de los Ángeles. La masa de la muestra acorde a la gradación fue de aproximadamente 5 kg. En la siguiente tabla se muestran los resultados del ensayo de abrasión del agregado grueso.

TABLA 4. 7. RESULTADOS DE ABRASIÓN Y COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DEL AGREGADO GRUESO.

Gradación:	C
Número de esferas:	12
Número de revoluciones:	500
Peso inicial [gr]:	5006,9
Peso retenido en el tamiz # 12	4756,10
Luego de 100 revoluciones [g]:	
Peso retenido en el tamiz # 12	3802,20
Luego de 500 revoluciones [g]:	
Porcentaje de pérdida 100 rev. [%]:	5,01
Porcentaje de pérdida 500 rev. [%]:	24,06
Coeficiente de uniformidad:	0,21

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

El ensayo de abrasión del agregado grueso, presenta un valor de desgaste de 24%, menor al 50% establecido en la Tabla 4 de la norma NTE INEN 872: "Aridos para hormigón. Requisitos." y ASTM C 33: "Standard Specification for Concrete

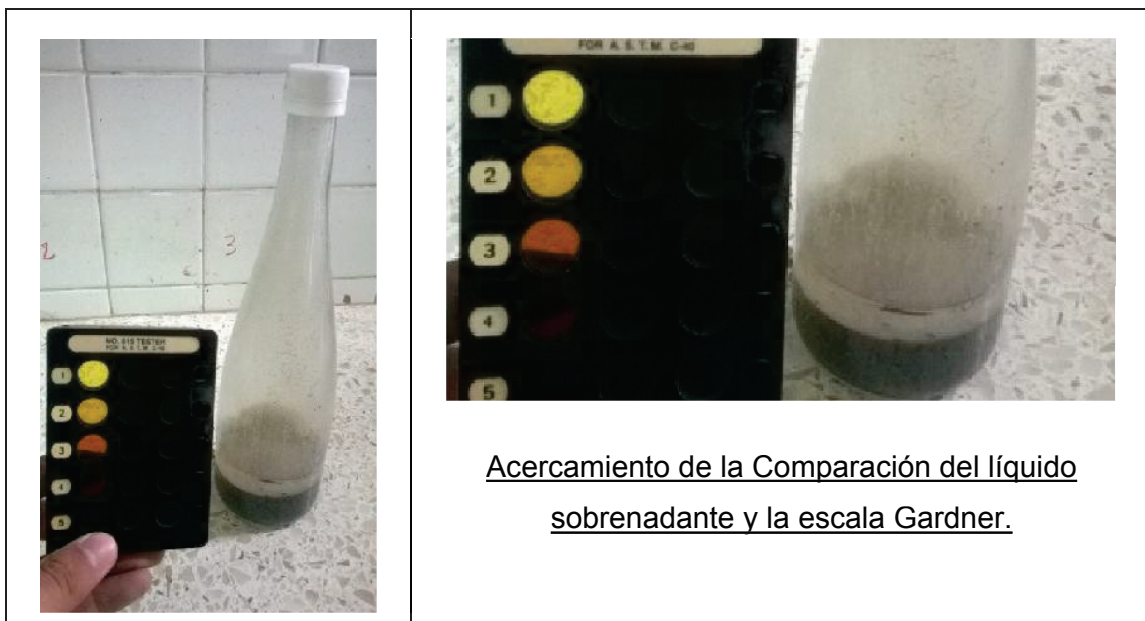
Aggregates.” y en las Especificaciones Técnicas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, en su apartado 803-2.03.

La relación de porcentajes de desgastes de 100 revoluciones sobre el porcentaje de desgaste de 500 revoluciones, determina la uniformidad de dureza del agregado, este valor se denomina coeficiente de uniformidad y debe ser menor que 0,2; en este caso, el material tiene un coeficiente de uniformidad de 0,21 que es muy aproximado al límite recomendado por las norma NTE INEN 860: “Áridos. Determinación del Valor de la Degradación del Árido Grueso de Partículas Menores a 37,5 mm mediante el Uso de la Máquina de Los Ángeles.” y ASTM C 131: “Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine”.

4.1.5. CONTENIDO ORGÁNICO EN EL AGREGADO FINO

La determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino se realizó mediante tres ensayos, siguiendo el procedimiento indicado en el apartado 3.3.5.

FOTOGRAFÍA 4. 1. CONTENIDO ORGÁNICO DE AGREGADO FINO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

El líquido sobrenadante, después de un período de 24 horas de realizado el ensayo, presenta un color más claro que el espejo N°1 de la escala normalizada de Gardner, por lo que se determina que el agregado fino presenta un bajo contenido orgánico y por lo tanto no supone problemas para su uso en la fabricación de la mezcla; el límite recomendado en la escala normalizada es menor o igual a la tonalidad del espejo N°3, según la norma NTE INEN 855: “Áridos. Determinación de las Impurezas Orgánicas en el Árido Fino para Hormigón” y ASTM C40: “Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete”

TABLA 4. 8. RESULTADO DE ENSAYO DE MATERIA ORGÁNICA EN AGREGADO FINO.

Escala de Gardner	1
-------------------	---

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

4.2. CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO

En el diseño de mezclas, la información de los materiales es imprescindible, por lo que se ha ensayado también el cemento en laboratorio. El cemento empleado en la elaboración del hormigón para todas las mezclas bajo influencia de los parámetros de pH y concentración de Nitratos, es cemento Holcim Tipo GU, producto Holcim Fuerte. Los resultados de sus propiedades se muestran a continuación.

4.2.1. DENSIDAD REAL Y APARENTE

Se realizan estos ensayos para verificar la información proporcionada por los fabricantes, mediante la ficha técnica del producto, además porque los valores obtenidos de estas propiedades son útiles en el diseño de mezclas.

Para la densidad aparente del cemento al igual que para el resto de ensayos, se efectuaron tres procedimientos, de los cuales los resultados se muestran a continuación.

TABLA 4. 9. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD REAL DEL CEMENTO.

Parámetro de estudio	Unidad	1	2	3	Promedio
Densidad real:	[g/cm ³]	3,10	3,01	3,08	3,06

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

El valor de densidad real del cemento estuvo dentro del rango normal establecido en la bibliografía 2,9 - 3,1 g/cm³.

Para el caso del cemento Portland normal o puro, este valor se encuentra cercano a 3,15 g/cm³, mientras que para aquellos cementos con adiciones, este valor disminuye debido a que el contenido de clinker por tonelada de cemento es menor, y oscila alrededor de 2,90 g/cm³, ya que depende del porcentaje de adiciones, en algunos casos el clinker es reemplazado parcialmente por mezclas minerales puzolánicas (ASOCRETO, 1997).

En cuanto a las densidades aparentes, suelta y compactada del cemento, se realizaron tres ensayos, de modo que se pueda obtener un valor promedio que represente esta propiedad, estos valores no son relevantes para la dosificación de la mezcla, sin embargo fueron determinados y los resultados obtenidos se presentan a continuación.

TABLA 4. 10. RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDADES APARENTES DEL CEMENTO.

Parámetro de estudio	Unidad	1	2	3	Promedio
Densidad suelta:	[g/cm ³]	1,00	1,02	0,97	1,00
Densidad compactada:	[g/cm ³]	1,27	1,12	1,18	1,19

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

4.2.2. CONSISTENCIA NORMAL Y TIEMPOS DE FRAGUADO

Estas propiedades son importantes para determinar plasticidad de la mezcla con cierta cantidad de agua, se la puede considerar como la mínima cantidad de agua

requerida para hidratar todas las partículas de cemento. Por otro lado la determinación del tiempo de fraguado inicial y final es útil para estimar el tiempo del que dispone el operador para mezclar, transportar, colocar, vibrar y dar el acabado al hormigón, esta propiedad toma relevancia en obra. En la Tabla 4.11 y Tabla 4.12 se muestran los resultados de la consistencia normal y los tiempos de fraguado del cemento utilizado en el presente estudio, respectivamente.

TABLA 4. 11. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO.

Parámetro de estudio	Unidad	1	2	3	Promedio
Consistencia normal:	[%]	26,60	25,80	27,10	26,50

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

El valor de la consistencia normal obtenido para el cemento utilizado en esta investigación es de 26,5%, que se encuentra dentro del rango de valores típicos para cemento hidráulico que es del 23% al 33%.

TABLA 4. 12. TIEMPOS DE FRAGUADO DEL CEMENTO.

Parámetro de estudio	Unidad	1
Tiempo inicial:	[min]	140
Tiempo final:	[min]	550

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Los resultados obtenidos para tiempo de fraguado, se muestran en la tabla anterior, los mismos presentan 140 minutos para el tiempo inicial y 550 min para el final, determinando que cumplen con lo establecido que indica que el tiempo inicial de fraguado no será menor a 45 minutos, ni mayor a 420 minutos, según lo establecido en la norma NTE INEN 2380: “Cemento Hidráulico. Requisitos de Desempeño para Cementos Hidráulicos” y ASTM C 1157: “Standard Performance Specification for Hydraulic Cement”.

A continuación, en la Tabla 4.13 se muestra un resumen de los resultados obtenidos de las propiedades del agregado grueso, agregado fino, cemento y

agua, información que se constituye como datos de entrada para el diseño de hormigón.

TABLA 4. 13. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.

COMPONENTE	INFORMACIÓN REQUERIDA	
Agregado grueso:	Peso específico (D _{ss}):	2,63 [g/cm ³]
	Densidad aparente suelta:	1,40 [g/cm ³]
	Densidad aparente compactada:	1,55 [g/cm ³]
	Tamaño máximo del agregado:	1 "
	Tamaño máximo nominal:	3/4"
	Módulo de finura:	6,4
	Absorción:	2,10%
	Humedad:	0,00%
Agregado fino:	Peso específico (D _{ss}):	2,60 [g/cm ³]
	Densidad aparente suelta:	1,62 [g/cm ³]
	Densidad aparente compactada:	1,76 [g/cm ³]
	Módulo de finura:	3,1
	Absorción:	3,56%
	Humedad:	0,00%
Cemento:	Holcim Rocafuerte	
	Tipo:	GU
	Para construcción en general.	
	Densidad real:	3,06 [g/cm ³]
Agua	Peso específico:	1,00 [g/cm ³]

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

4.3. DOSIFICACIÓN

En esta sección se realiza un ejemplo de la dosificación de la mezcla de hormigón diseñada para este proyecto de investigación, en la cual se han realizado las correcciones pertinentes para obtener la mezcla patrón.

Los pasos han sido sintetizados, de modo que se han destacado los aspectos más importantes del método recomendado por el ACI 211.1, para facilidad y mejor comprensión de todo el proceso.

- **Paso 1:** Determinación del asentamiento de la mezcla, en función del tipo de construcción.

TABLA 4. 14. ASENTAMIENTO RECOMENDADO.

Vibradores de alta frecuencia:	No
Tipo de estructura a fabricar:	Construcción general
Asentamiento máximo [cm]:	7,60
Asentamiento mínimo [cm]:	2,50
Asentamiento propuesto [cm]:	7,60
Ok - Se encuentra entre de los límites recomendados.	

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

- Paso 2:

TABLA 4. 15. TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO RECOMENDADO.

Tipo de estructura a fabricar:	Paredes, vigas y columnas
Dimensión mínima de la sección [cm]:	28,00
Tamaño máximo - Límite inferior:	3/4"
Tamaño máximo - Límite superior:	1 1/2"
Tamaño máximo propuesto:	1 "
Ok - Se encuentra entre de los límites recomendados.	

Recomendaciones adicionales - El tamaño máximo del agregado deber ser menor que:

- 1/5 de la menor dimensión del elemento.
- 3/4 de la menor distancia entre varillas de la armadura del elemento.
- 1/3 del espesor de las losas.

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

- Paso 3: En función del asentamiento propuesto y tamaño máximo del agregado que se utilizará, junto con la decisión de incorporar o no aire a la mezcla, se determinar la cantidad de agua requerida.

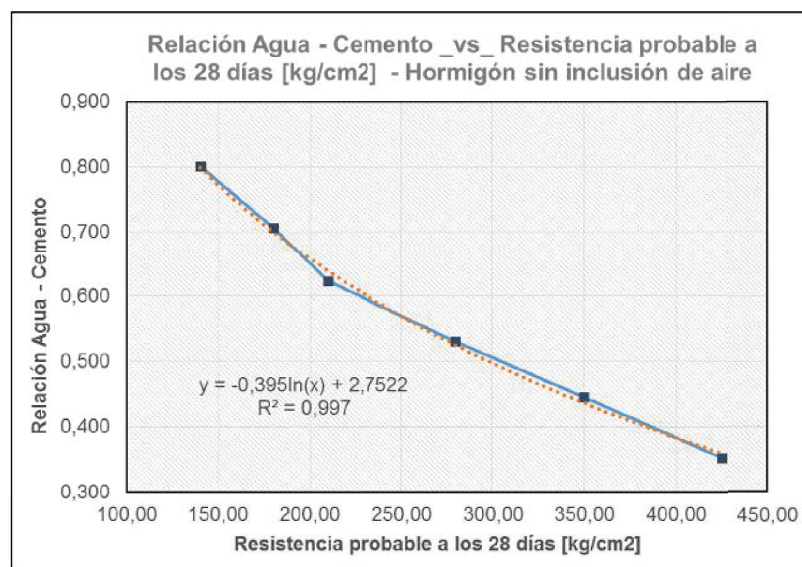
TABLA 4. 16. CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO.

Hormigón con inclusión de aire:	No
Cantidad agua =	193 [litros/m ³]
Porcentaje de aire atrapado =	1,50%

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

- Paso 4:** Seleccionar la relación agua / cemento de acuerdo con la resistencia requerida a los 28 días; en este estudio se desea una resistencia a la compresión de 210 [kg/cm²], por lo que se realizan mezclas de prueba con una relación a/c de 0,623 que es la recomendada en la tabla correspondiente del método del ACI, misma que se muestra a continuación, sin embargo, de los ensayos para determinar la resistencia a compresión a los 28 días se comprueba que dicha resistencia es inferior al valor esperado o 210 [kg/cm²]. En consecuencia y después de haber realizado varias mezclas de prueba se decide trabajar con una relación a/c de 0,55 muy cercana a la utilizada para obtener una resistencia de 280 [kg/cm²] según el método del ACI, pero que en esta investigación ha arrojado resistencias del valor propuesto.

FIGURA 4. 3. RESISTENCIA ESPERADA EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO.



FUENTE: Luna, G. (2014). Estudio del Hormigón.

TABLA 4. 17. RELACIÓN AGUA - CEMENTO (A/C) RECOMENDADA.

Resistencia probable requerida 28 días [kg/cm ²]:	280
Relación Agua - Cemento (a/c) [litros-agua / kg-cemento]	0,550
Litros de agua por cada saco de 50 kg de cemento	26,50
Nota: Algunos valores son calculados con una línea de tendencia (verificar).	

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

- **Paso 5:** La cantidad necesaria de agregado grueso se determina en función del módulo de finura y tamaño máximo nominal del agregado.

TABLA 4. 18. CANTIDAD DE AGREGADO GRUESO.

AGREGADO GRUESO SECO Y COMPACTADO	
VOLUMEN DE AGREGADO POR M ³ DE HORMIGÓN	0,58 [m ³]

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

- **Paso 6:** Se determina la cantidad de agregado fino necesaria para completar 1 m³ de hormigón y se presenta un resumen de las cantidades obtenidas.

TABLA 4. 19. CANTIDADES EN VOLUMEN DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN.

Dosificación para 1 m³ de hormigón.

Asumiendo que se encuentra los materiales en condición SSS.

COMPONENTE	CANTIDAD EN VOLUMEN REAL [dm ³]	CANTIDAD EN PESO [Kg]	CANTIDAD RELATIVA EN PESO
AGUA	193,00	193,00	0,53
CEMENTO	119,00	364,15	1,00
ARENA	331,17	861,05	2,36
RIPIO	341,83	899,00	2,47

$$1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ litro}$$

$$1 \text{ dm}^3 = 0,001 \text{ m}^3$$

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

- **Paso 7:** Efectuar las correcciones debido al contenido de humedad y la absorción de los agregados.

TABLA 4. 20. CANTIDADES CORREGIDAS DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN.

Dosificación para 1 m³ de hormigón.

Corrección por humedad y absorción de los materiales. / Agregados secos.

ΔW arena =	30,65 [kg]	ΔW ripio =	18,88 [kg]
--------------------	-------------------	--------------------	-------------------

COMPONENTE	CANTIDAD EN VOLUMEN REAL [dm ³]	CANTIDAD EN PESO [Kg]	CANTIDAD RELATIVA EN PESO
AGUA	242,53	242,53	0,67
CEMENTO	119,00	364,15	1,00
ARENA	319,38	830,39	2,28
RIPIO	334,65	880,12	2,42

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

TABLA 4. 21. CANTIDADES REQUERIDAS DE HORMIGÓN.

# de cilindros	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [dm ³]
12,00	10,00	20,00	22,62
Nota: Se considera un 20% adicional de volumen.			
Volumen de hormigón total a realizar =			22,62 [dm³]

COMPONENTE	CANTIDAD EN PESO [g]
AGUA	5486
CEMENTO	8237
ARENA	18783
RIPIO	19908

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

- **Paso 9:** Ensayos de compresión simple de los especímenes de prueba fabricados con la mezcla definida como patrón y diseñada mediante la hoja de cálculo, cuyos pasos han sido sintetizados en el ejemplo anterior.

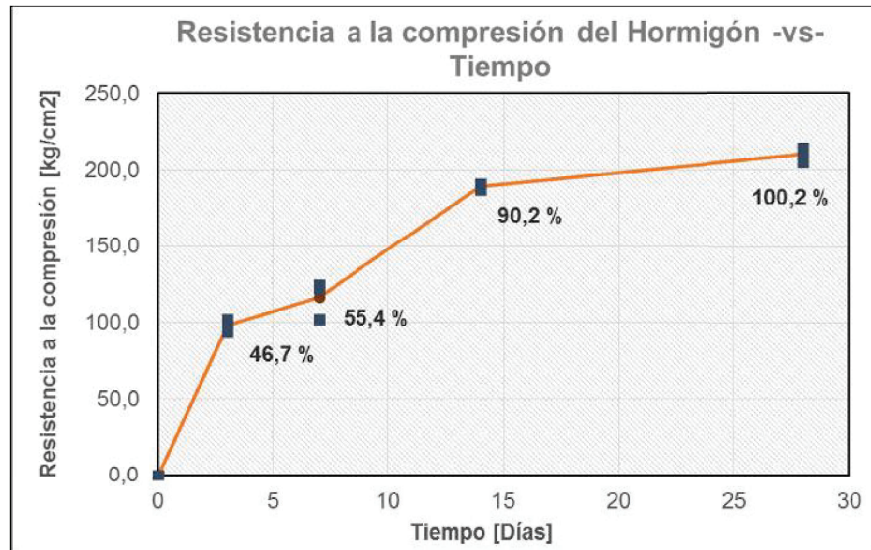
TABLA 4. 22. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN PATRÓN.

Tiempo [Días]	Resistencia a la compresión		
	Esfuerzo a la compresión [kgf/cm ²]	Porcentaje de resistencia respecto a 210 [kgf/cm ²]	
0	0,0	0,0%	0,0%
3	102,0	48,6%	46,7%
3	94,0	44,8%	
3	98,0	46,7%	
7	102,0	48,6%	55,4%
7	125,0	59,5%	
7	122,0	58,1%	
14	191,0	91,0%	90,2%
14	187,0	89,0%	
14	190,0	90,5%	
28	212,0	101,0%	100,2%
28	205,0	97,6%	
28	214,0	101,9%	
Esfuerzo de diseño =		210 [kgf/cm ²]	

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

La Tabla 4.22 muestra el desarrollo y/o crecimiento del hormigón fabricado con la mezcla patrón, la cual y como se realiza generalmente se evalúa como una medida de control de calidad del mismo a edades de 3, 7, 14, 28. Se constata por medio de dicha tabla que el comportamiento del hormigón es adecuado llegando a una resistencia de 210 kg/cm² a la edad de diseño, 28 días. A continuación se presenta la curva característica de crecimiento del hormigón correspondiente a la mezcla patrón.

FIGURA 4. 4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Con estos resultados se comprueba que las proporciones de materiales utilizadas son las ideales para obtener la resistencia deseada y se selecciona esta dosificación para la elaboración de los especímenes sometidos a los ensayos realizados para el presente estudio.

4.4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL HORMIGÓN

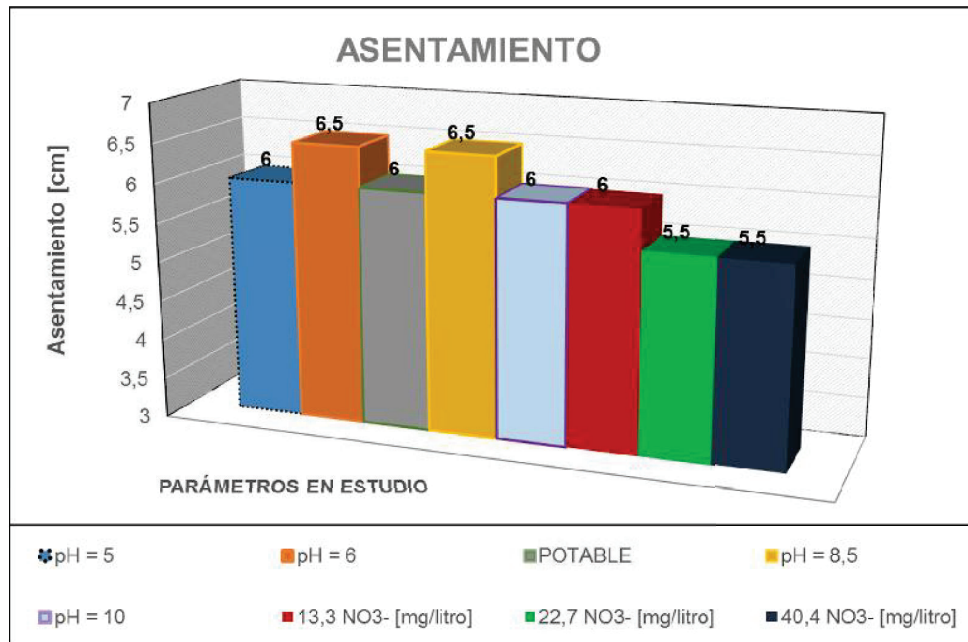
Una parte importante en este estudio, es la realización de ensayos en el hormigón cuando se encuentra en estado fresco y en estado endurecido; esto con el objetivo de evaluar su comportamiento y la variación de sus propiedades físico-mecánicas.

En el siguiente apartado, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos experimentales realizados en laboratorio para cada mezcla fabricada con los diferentes tipos de agua, además del análisis efectuado para comparar mencionados valores y los obtenidos por medio de ecuaciones empíricas que constan en la literatura técnica basada en investigaciones anteriores.

4.4.1. ASENTAMIENTO

Una de las propiedades representativas del comportamiento del hormigón en estado fresco, es el asentamiento. Este ensayo fue realizado en cada una de las mezclas evaluadas y se muestran los resultados obtenidos en la Figura 4.5.

FIGURA 4. 5. ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE AGUA DE MEZCLADO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Los valores de asentamiento determinado para las mezclas fabricadas con agua de diferentes unidades de pH, oscila entre 6,0 y 6,5 cm, presentando las mezclas con pH=5, pH=6,8 (Agua Potable) y pH=10 un valor de asentamiento igual a 6,0 cm, mientras que las mezclas con pH=6 y pH=8,5 presentan un valor de asentamiento de 6,5 cm. Dado que la dosificación fue diseñada para un asentamiento aceptable de 2,5 a 7,6 cm para construcción general, como se ha indicado en el apartado 4.3, esta variación no se considera significativa, pudiendo determinar que el asentamiento no sufre afectación en cuanto a la influencia de las unidades de pH en el agua.

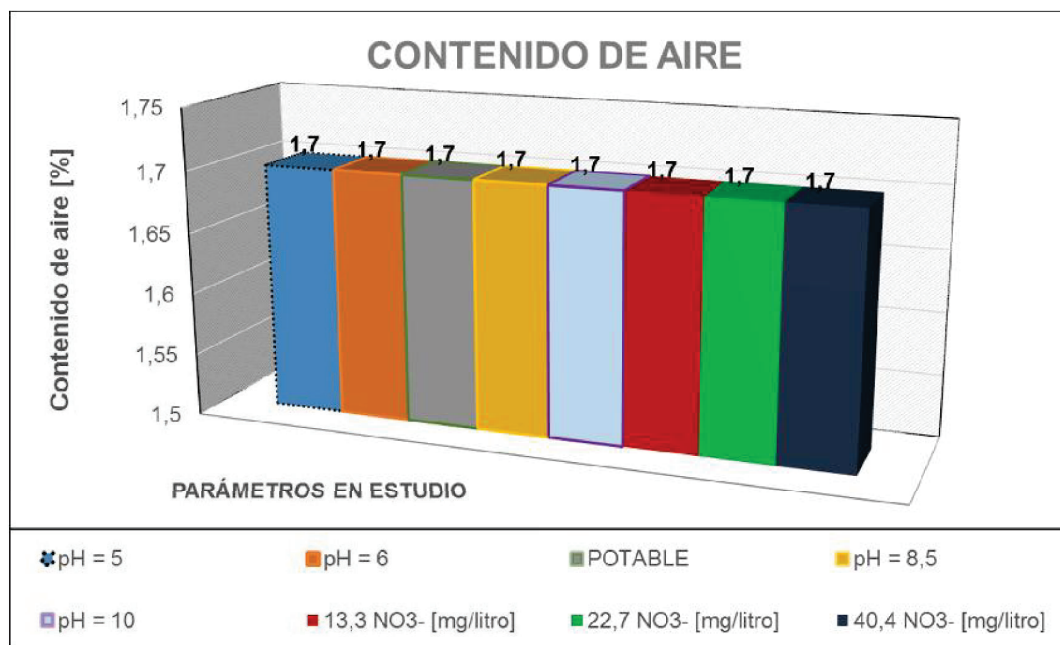
De la misma forma, se indica que las mezclas fabricadas con agua influenciada por el parámetro Nitratos, presentan para concentraciones de 13,3 mg/l un

asentamiento de 6,0 cm y para las concentraciones de 22,7 y 40,4 mg/l se obtiene un valor de asentamiento de 5,5 cm. Al igual que en mezclas elaboradas con agua afectada por el parámetro pH, se resuelve que la variación de asentamiento entre mezclas resulta despreciable.

4.4.2. CONTENIDO DE AIRE

Como se muestra en la Figura 4.6, el contenido de aire obtenido en las muestras de hormigón, de las mezclas realizadas con las variaciones de los niveles de potencial hidrógeno y concentraciones de nitrato, no presentó cambios, siendo 1,7 % el valor determinado en todos los casos.

FIGURA 4. 6. CONTENIDO DE AIRE DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE AGUA DE MEZCLADO.



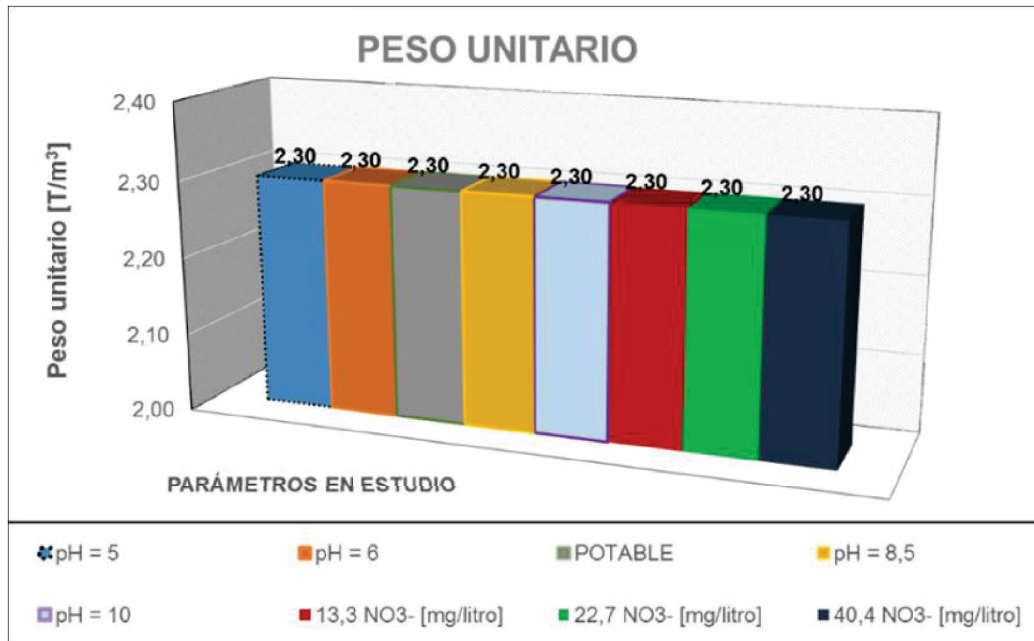
ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

4.4.3. PESO UNITARIO

El peso unitario de un hormigón convencional varía entre 2,2 y 2,4 T/m³ (Notas de Concretos, 2009); en la siguiente figura se puede observar que, en todas las

muestras de hormigón, el peso unitario es de aproximadamente $2,3 \text{ T/m}^3$ y no se evidencia variación entre las diferentes mezclas de hormigón realizadas.

FIGURA 4. 7. PESO UNITARIO DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE AGUA DE MEZCLADO.



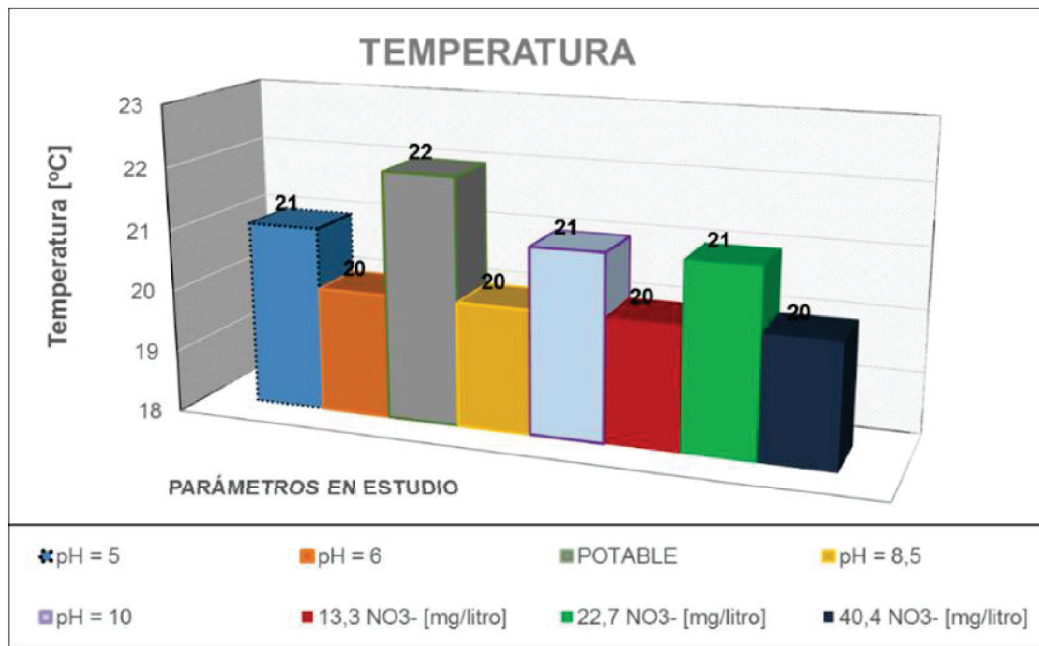
ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

4.4.4. TEMPERATURA

La temperatura de las mezclas de hormigón realizadas en este estudio, no tiene un patrón definido de variación, tal y como se muestra en la Figura 4.8. En general el rango de temperaturas de las muestras de hormigón, se encuentra entre 20 y $22 \text{ }^\circ\text{C}$, esta variación no es significativa y puede presentarse debido a las condiciones ambientales en las que se realizó el ensayo.

Las medidas de temperatura en el hormigón fresco pueden variar de una mezcla a otra, y dependen de factores inherentes al hormigón, como sus componentes, masa y calor específico, además de factores externos como las condiciones ambientales, temperatura ambiente, etc., ya que estas últimas actúan directamente sobre la mezcla de hormigón.

FIGURA 4. 8. TEMPERATURA DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE AGUA DE MEZCLADO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

4.4.5. EFLORESCENCIA Y APARIENCIA SUPERFICIAL

Este ensayo se realizó mediante un análisis cualitativo, para lo cual se almacenaron los especímenes por un período de aproximadamente 120 días. Posterior a este período de tiempo, se evaluaron visualmente todos los especímenes fabricados con todas las mezclas de estudio. Los resultados se muestran en las Fotografías de 4.2 a 4.9, mismas que constituyen las evidencias de este ensayo.

El hormigón no presentó ninguna anomalía visible, cambio de color o presencia de sustancias extrañas en los especímenes, en ninguno de los casos. La apariencia de los especímenes a una edad superior a los 90 días se aprecia idéntica en color y textura a la que se evidenció en los mismos especímenes a edades tempranas.

FOTOGRAFÍA 4. 2. MUESTRA PATRÓN: AGUA POTABLE CON 116 DÍAS AL AMBIENTE.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FOTOGRAFÍA 4. 3. MUESTRA: pH = 8,5 CON 115 DÍAS AL AMBIENTE.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FOTOGRAFÍA 4. 4. MUESTRA: pH = 10 CON 114 DÍAS AL AMBIENTE.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FOTOGRAFÍA 4. 5. MUESTRA: pH = 5 CON 113 DÍAS AL AMBIENTE.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FOTOGRAFÍA 4. 6. MUESTRA: pH = 6 CON 112 DÍAS AL AMBIENTE.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FOTOGRAFÍA 4. 7. MUESTRA: 22,7 [MG/L] CON 108 DÍAS AL AMBIENTE.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FOTOGRAFÍA 4. 8. MUESTRA: 40,4 [MG/L] CON 107 DÍAS AL AMBIENTE.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FOTOGRAFÍA 4. 9. MUESTRA: 13,3 [MG/L] CON 106 DÍAS AL AMBIENTE.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

4.5. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

Siguiendo los procedimientos y la metodología indicada en el apartado 3.6, se obtuvieron los siguientes resultados para la resistencia a compresión, tracción indirecta y flexión de los especímenes ensayados. Los resultados que se presentan en esta sección fueron sometidos al procedimiento de depuración indicado también en el apartado 3.6.1.

4.5.1. COMPRESIÓN SIMPLE

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los ensayos realizados de compresión simple en la Tabla 4.23.

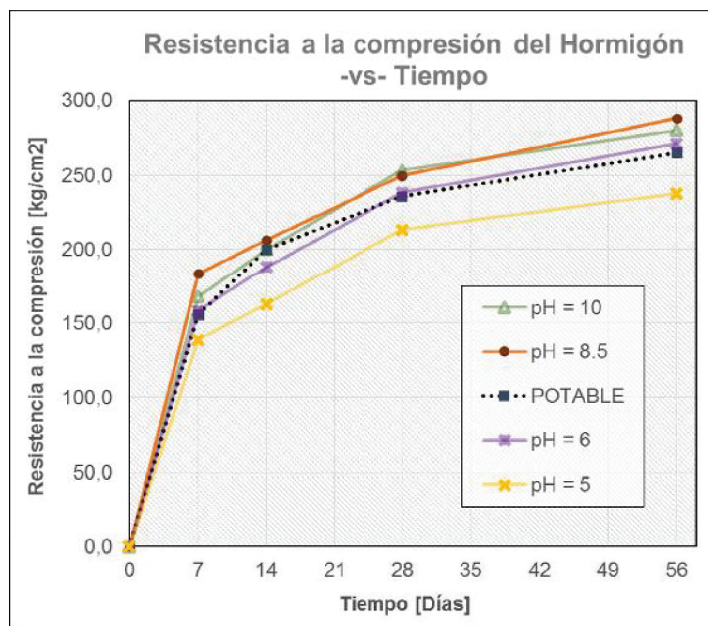
TABLA 4. 23. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

MUESTRA		EDAD [Días]				
		0	7	14	28	56
pH = 5	Resultados	0	139,1	163,9	209,2	230,0
		0	139,2	160,2	214,8	244,9
		0	138,1	164,1	215,3	
	Media:	0	139	163	213	237
pH = 6	Resultados	0	159,1	190,2	235,7	270,7
		0	159,9	185,6	238,2	273,6
		0	156,2		240,3	269,2
	Media:	0	158	188	238	271
POTABLE	Resultados	0	151,7	193,8	233,7	269,8
		0	157,1	203,8	239,1	267,8
		0	158,2	202,2	233,8	258,1
	Media:	0	156	200	236	265
pH = 8.5	Resultados	0	184,2	206,7	245,8	287,5
		0	182,3	205,1	248,4	288,7
		0	183,0	207,1	255,3	
	Media:	0	183	206	250	288
pH = 10	Resultados	0	164,9	198,5	246,8	289,6
		0	168,5	201,4	253,8	286,3
		0	169,8		259,1	264,2
	Media:	0	168	200	253	280
13.3 [mg/litro NO ₃ -]	Resultados	0	149,4	203,5	220,5	264,8
		0	154,1	198,1	225,9	286,9
		0	149,0	199,9	224,9	259,8
	Media:	0	151	200	224	276
22.7 [mg/litro NO ₃ -]	Resultados	0	139,9	165,4	216,2	270,2
		0	138,8	168,1	230,3	271,6
		0	140,6		234,1	
	Media:	0	140	167	228	271
40.4 [mg/litro NO ₃ -]	Resultados	0	139,1	168,6	217,1	248,7
		0	141,2	161,5	224,9	258,7
		0		163,0		247,2
	Media:	0	140	164	221	252

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

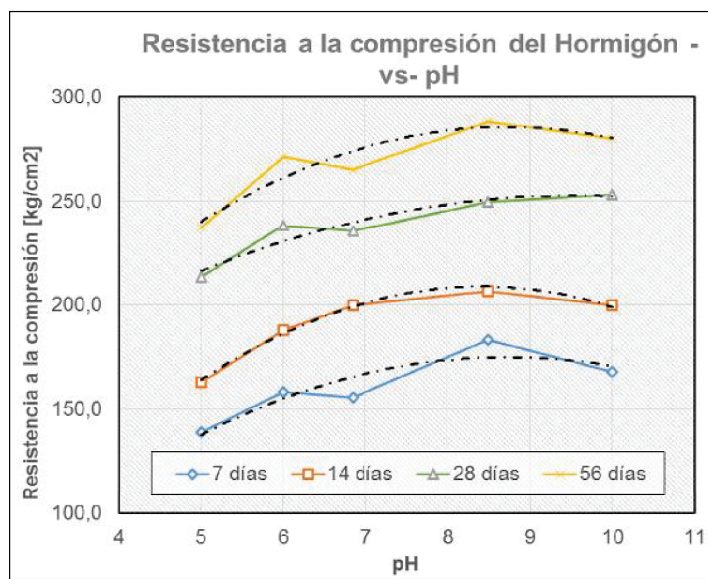
Para facilitar el análisis se presentan los resultados anteriores en las figuras mostradas a continuación.

FIGURA 4. 9. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FIGURA 4. 10. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL POTENCIAL HIDRÓGENO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Según la Figura 4.9, resistencia a compresión vs edad del hormigón, para los diferentes niveles de pH, el crecimiento en la resistencia se da a una velocidad muy similar en todos los casos.

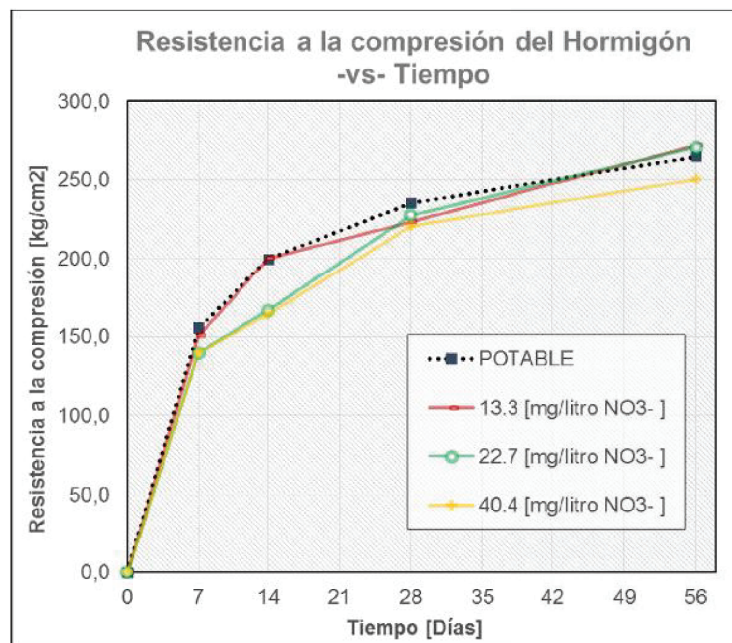
El nivel de pH 5 es el que más difiere de la resistencia del hormigón patrón, alrededor de un 11% por debajo de la misma a los 56 días. A los 28 días sin embargo, que es la edad usada generalmente en los diseños, la diferencia del pH 5 es similar (10% menos que el patrón). Las diferencias que presentan los demás niveles de pH son menores al 10%.

Las aguas alcalinas produjeron una resistencia mayor a la del agua potable, aunque en un porcentaje relativamente bajo, es decir de aproximadamente 7% mayor a los 28 días.

En el caso de los niveles de pH se puede apreciar una evidente tendencia de crecimiento de la resistencia a mayores niveles de pH para todas las edades estudiadas (Figura 4.10).

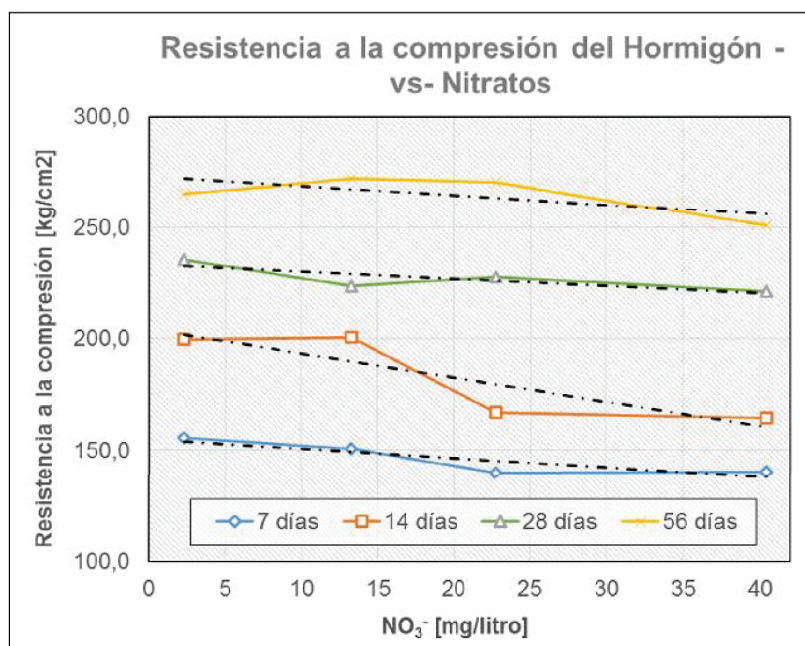
Se puede notar, en la Figura 4.10, una resistencia ligeramente mayor en el punto de pH 8,5. El rango de variación de la resistencia entre el nivel de pH más bajo que es de 5 hasta el más alto, de 10, es de alrededor del 17%, haciéndose algo considerable.

FIGURA 4. 11. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FIGURA 4. 12. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN EL AGUA.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

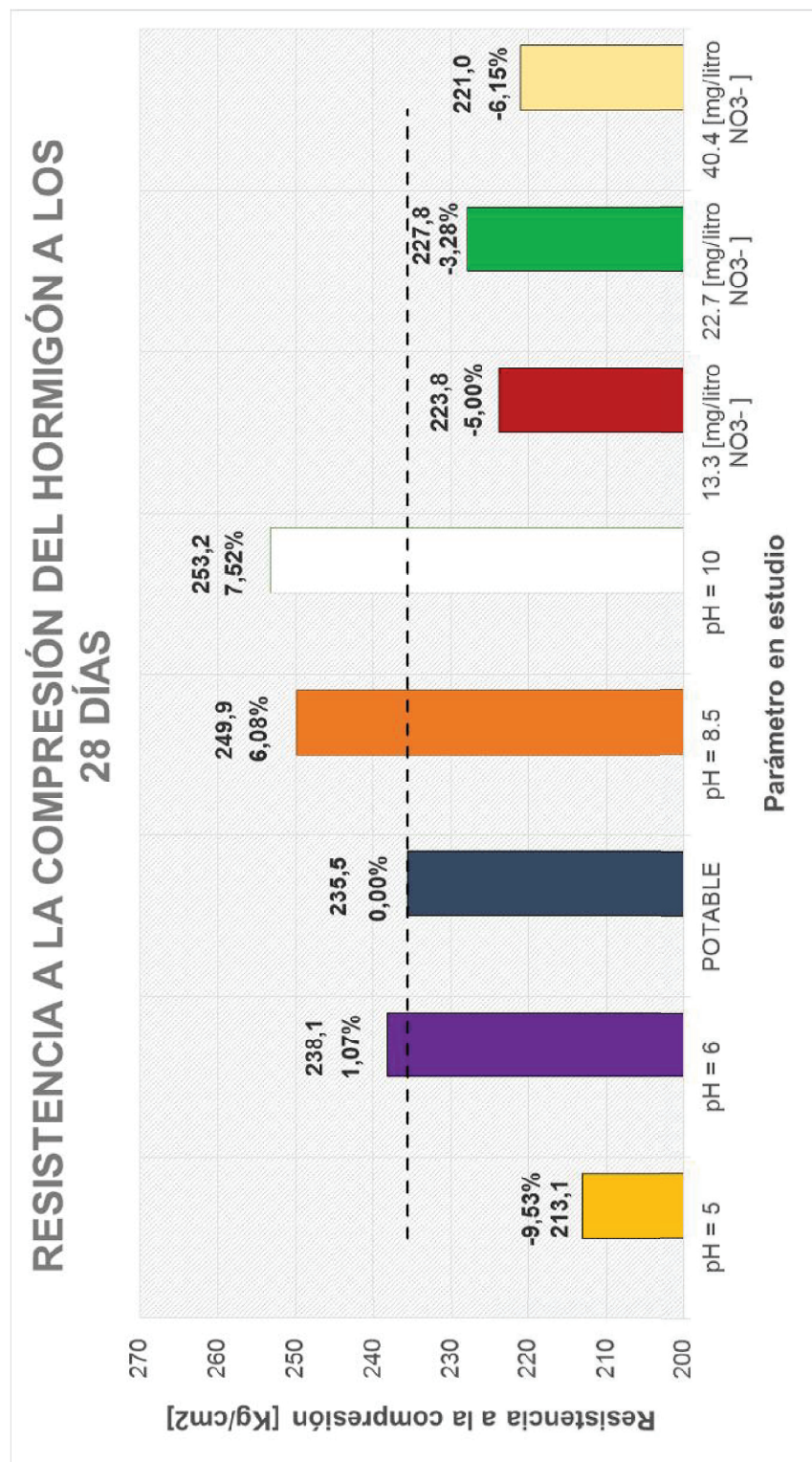
En la Figura 4.6 se muestra el efecto de los nitratos en la resistencia a compresión del hormigón sometido al ensayo. Se nota un crecimiento de la resistencia mas lento de los 7 a los 14 días en el hormigón fabricado con mayor concentración de nitratos, pero la resistencia a la que llegan los tres parámetros a los 28 y 56 días es prácticamente igual al parámetro referencial que es el hormigón fabricado con agua potable, difiriendo en apenas el 6% y el 7% respectivamente.

En el caso de los nitratos, la tendencia es, a diferencia del pH, a disminuir conforme aumenta la concentración, aunque a una razón considerablemente baja. A los 28 días, la resistencia bajó un 7% con la mayor concentración de nitratos que es de 40,4 mg/l.

En los dos casos, concentración de nitratos y niveles de pH, las tendencias de variación guardan relación en las diferentes edades.

Debido a que la resistencia a los 28 días es considerada como resistencia de diseño de las mezclas de hormigón, en la Figura 4.13, se ha representado la variación de la resistencia a la compresión respecto a la mezcla patrón de los especímenes a esa edad.

FIGURA 4. 13. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN A LOS 28 DÍAS.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

4.5.2. COMPRESIÓN DIAMETRAL (TRACCIÓN INDIRECTA)

Se muestran a continuación los resultados que se obtuvieron del ensayo de tracción por compresión diametral, depurados y tabulados.

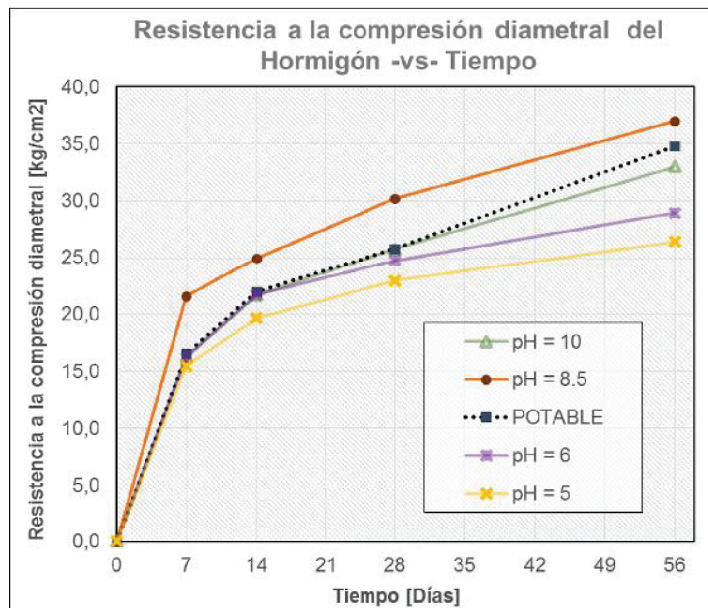
TABLA 4. 24. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

MUESTRA		EDAD [Días]				
		0	7	14	28	56
pH = 5	Resultados	0	15,3	19,6	22,7	26,9
		0	15,5	19,6	22,8	25,9
		0	15,5	19,7	23,3	
	Media:	0	15	20	23	26
pH = 6	Resultados	0	16,2	22,0	24,5	28,1
		0	16,2	21,3	24,9	29,8
		0				29,1
	0				28,7	
Media:	0	16	22	25	29	
POTABLE	Resultados	0	16,2	21,1	25,6	34,3
		0	16,9	22,6	26,0	35,3
		0		22,1		
	Media:	0	17	22	26	35
pH = 8.5	Resultados	0	22,3	24,9	30,7	37,1
		0	21,0	25,1	29,7	36,0
		0	21,3	24,8		37,8
	Media:	0	22	25	30	37
pH = 10	Resultados	0	16,5	21,7	25,3	32,4
		0	16,2	21,5	25,2	32,6
		0	16,1		26,8	34,5
	0				32,3	
Media:	0	16	22	26	33	
13.3 [mg/litro NO ₃ -]	Resultados	0	16,7	23,2	28,4	35,0
		0	16,6	22,2	29,5	35,1
		0			28,6	35,4
	Media:	0	17	23	29	35
22.7 [mg/litro NO ₃ -]	Resultados	0	15,4	21,0	26,1	32,6
		0	15,0	20,7	26,2	32,0
		0		20,0	25,9	32,0
	Media:	0	15	21	26	32
40.4 [mg/litro NO ₃ -]	Resultados	0	14,4	21,7	26,2	32,7
		0	15,2	22,6	25,9	31,7
		0				32,9
	Media:	0	15	22	26	32

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

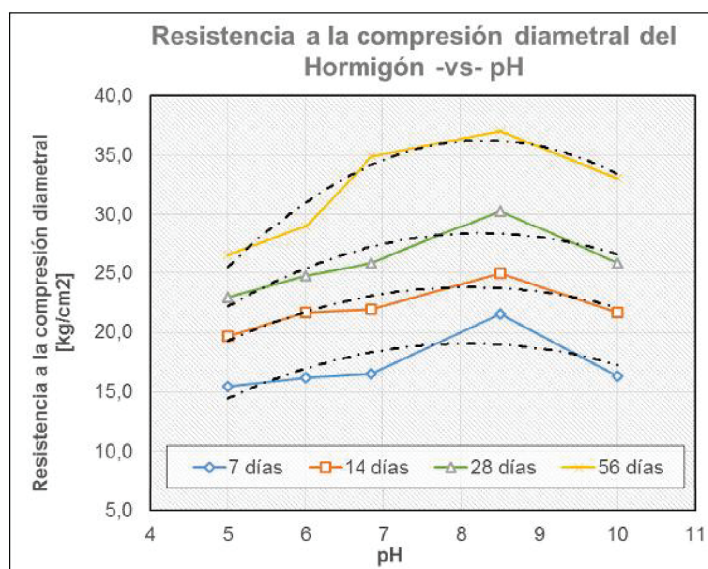
Estos resultados se los ha presentado gráficamente para facilitar su análisis.

FIGURA 4. 14. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FIGURA 4. 15. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL POTENCIAL HIDRÓGENO.

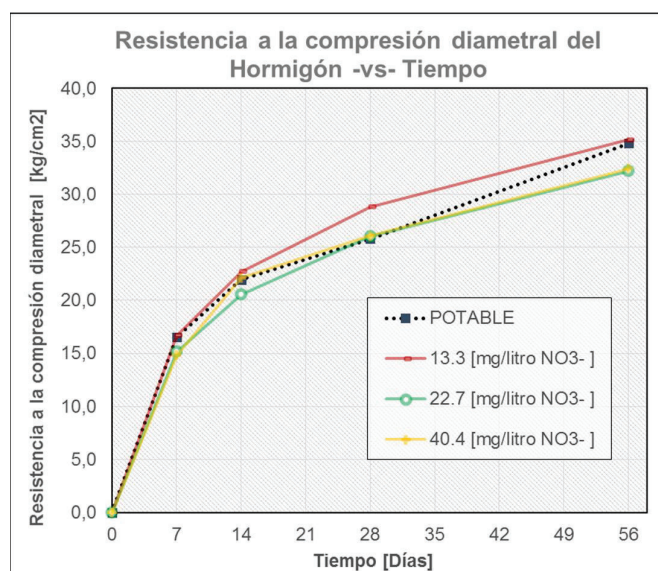


ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

En la figura 4.14, resistencia a la tracción indirecta vs edad, para los diferentes niveles de pH en el agua, se evidencia un crecimiento mayor para el hormigón fabricado con un nivel de pH en el agua de 8,5 en todas las edades; aunque a los 56 días la diferencia fue de 6%, con respecto al patrón, a los 28 días, que es la edad más relevante, la diferencia aumentó a 17%. El pH 5, por el contrario fue el que menor resistencia a la tracción indirecta produjo, con una reducción con respecto al agua potable de 11% a los 28 días y aun duplicándose este porcentaje a los 56 días. Los otros dos niveles de pH, sin embargo, presentaron valores prácticamente iguales a la resistencia patrón a los 28 días.

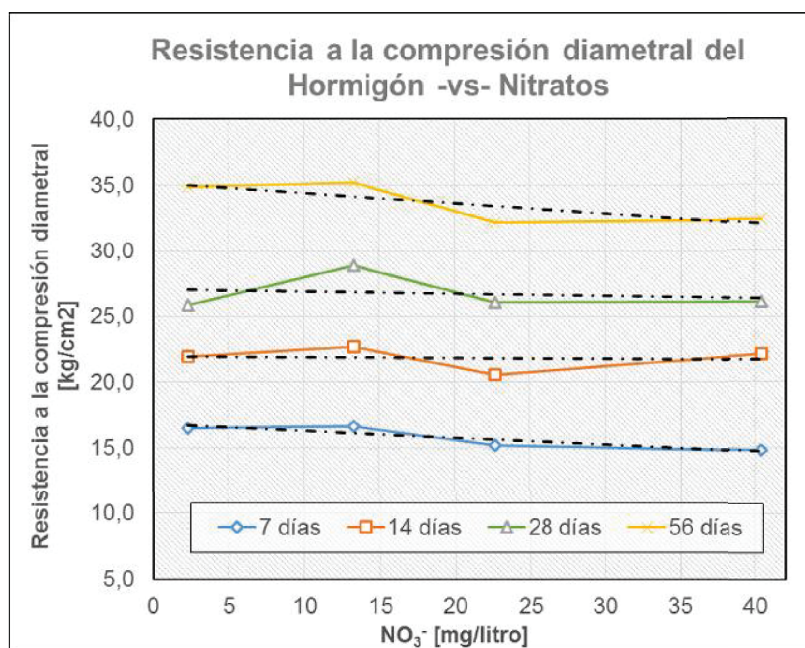
La tendencias que se muestran en la figura 4.14 son similares para todas las edades, lo que indica que no hubo mayor diferencia en la velocidad de crecimiento de la resistencia a la compresión diametral para cada uno de los parámetros analizados. La resistencia tiende a ser menor en la mezcla elaborada con pHs bajos, incrementándose hasta llegar a un máximo alrededor del pH 8,5, donde la resistencia que se analiza tiende a decrecer nuevamente conforme el nivel de pH aumenta; esta tendencia se ve mucho más marcada a la edad de 56 días. A los 28 días se tiene un rango de variación, entre el máximo y el mínimo valor, del 27%, lo que podría resultar considerable en el diseño.

FIGURA 4. 16. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FIGURA 4. 17. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN EL AGUA.

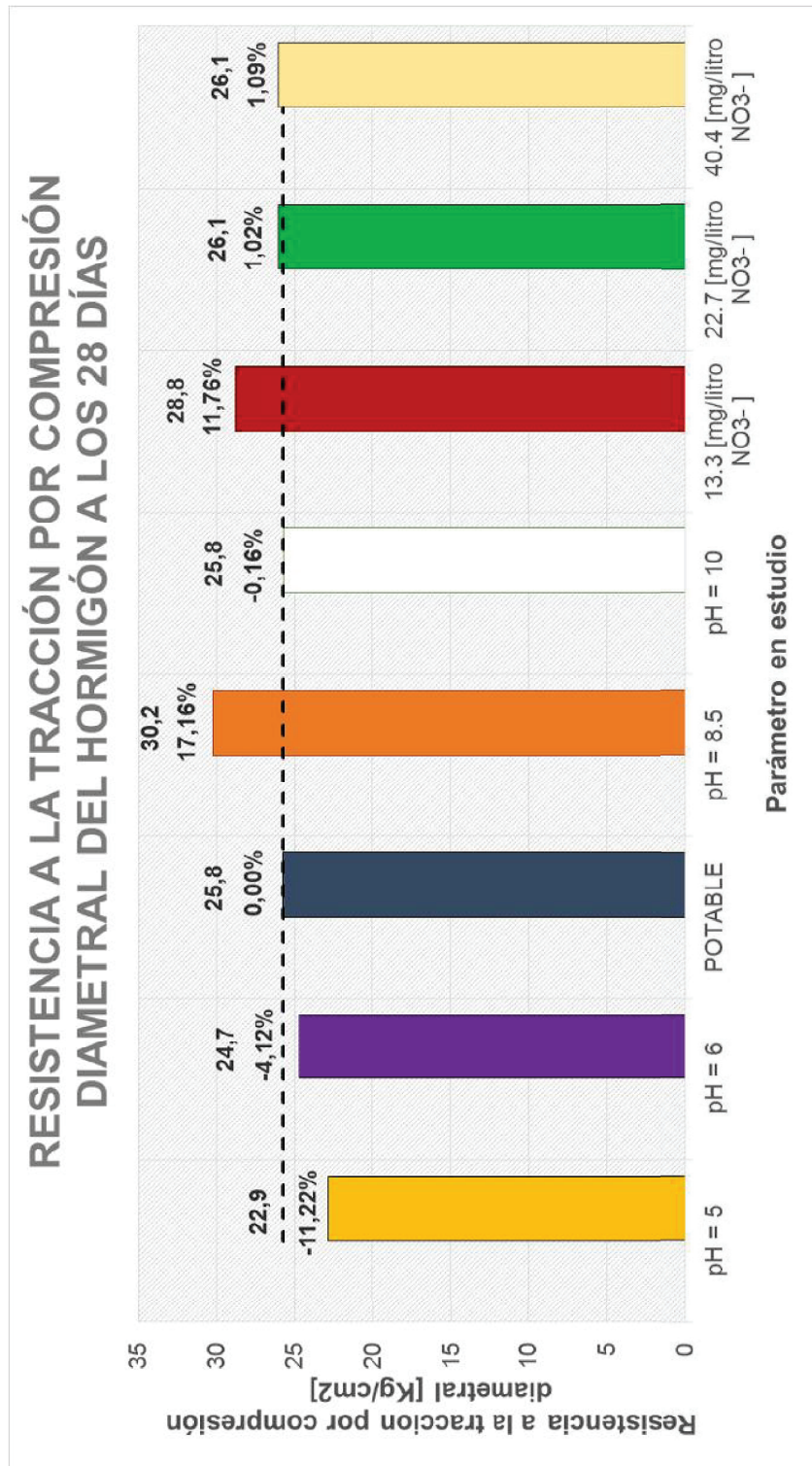


ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Con respecto a la concentración de nitratos, la tendencia que se nota en las cuatro edades de ensayo (Figura 4.17) es lineal con una ligera pendiente negativa. Con el 13,3 mg/l de nitratos, la resistencia a la tracción parece mostrar un pico que se aleja un poco de la tendencia y que es más evidente a la edad de 14 y 28 días; esta concentración de nitratos produjo una resistencia mayor a la mezcla patrón en un 12% y fue la única que presentó diferencia a esta edad. A los 56 días el contenido de nitratos de 22,7 y 40,4 mg/l generaron una resistencia del 9% menor con respecto al agua potable. No se aprecia ninguna diferencia en la velocidad de crecimiento de la resistencia a las edades de 7 y 14 días.

En la Figura 4.18, se puede observar la variación de la resistencia a la tracción por compresión diametral respecto a la mezcla patrón de los especímenes a una edad de 28 días.

FIGURA 4. 18. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL HORMIGÓN A LOS 28 DÍAS.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

4.5.3. FLEXIÓN

Siguiendo con el análisis de las propiedades mecánicas del hormigón, fabricado con agua de diferentes características, se compara a continuación los resultados obtenidos del módulo de rotura de cada mezcla.

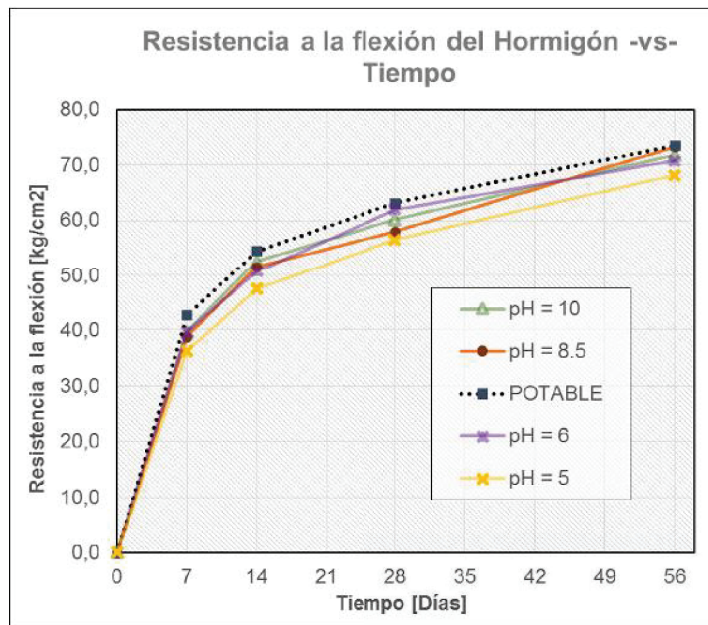
TABLA 4. 25. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

MUESTRA		EDAD [Días]				
		0	7	14	28	56
pH = 5	Resultados	0	35,8	47,9	56,9	68,0
		0	36,7	47,1	56,1	68,3
		0			56,4	
	Media:	0	36	48	56	68
pH = 6	Resultados	0	39,8	51,0	62,1	71,0
		0	39,5	50,4	61,8	70,6
		0				
	Media:	0	40	51	62	71
POTABLE	Resultados	0	42,5	53,7	61,6	73,4
		0	42,9	55,3	64,6	73,8
		0		54,3		
	Media:	0	43	54	63	74
pH = 8.5	Resultados	0	39,6	51,4	53,7	73,4
		0	38,0	51,8	62,2	73,1
		0				
	Media:	0	39	52	58	73
pH = 10	Resultados	0	40,1	52,1	59,7	71,8
		0	39,2	53,0	62,2	71,6
		0			58,5	71,9
	Media:	0	40	53	60	72
13.3 [mg/litro NO ₃ -]	Resultados	0	42,7	51,6	61,3	71,2
		0	42,9	52,0	62,2	68,5
		0				71,9
	Media:	0	43	52	62	71
22.7 [mg/litro NO ₃ -]	Resultados	0	39,7	47,5	54,5	70,6
		0	43,6	47,3	55,3	69,5
		0	42,7			68,6
	Media:	0	42	47	55	70
40.4 [mg/litro NO ₃ -]	Resultados	0	40,9	43,7	51,4	58,7
		0	40,0	43,9	51,1	59,2
		0	40,1			63,0
	Media:	0	40	44	51	61

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

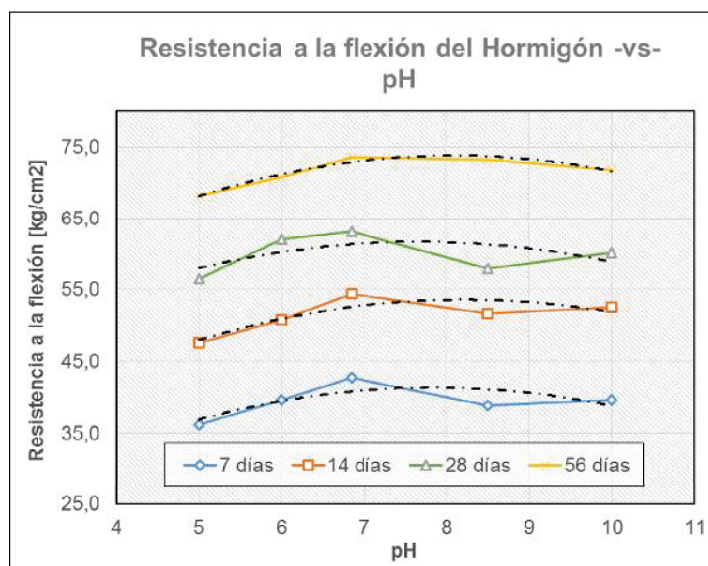
La representación gráfica de estos resultados se muestran a continuación.

FIGURA 4. 19. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FIGURA 4. 20. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL POTENCIAL HIDRÓGENO.

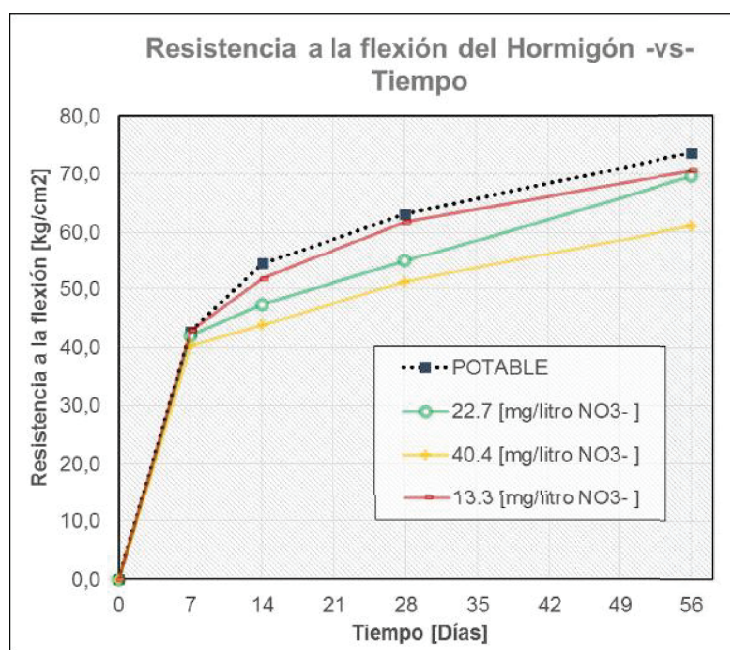


ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

En la figura 4.19. se nota que los resultados del hormigón fabricado con agua potable es ligeramente mayor a los obtenidos con los demás niveles de potencial hidrógeno. A los 28 días, el pH 5, que fue el que menor resistencia produjo en todas las edades de ensayo, difirió de la mezcla patrón en un 11% y a los 56 días en apenas un 8%.

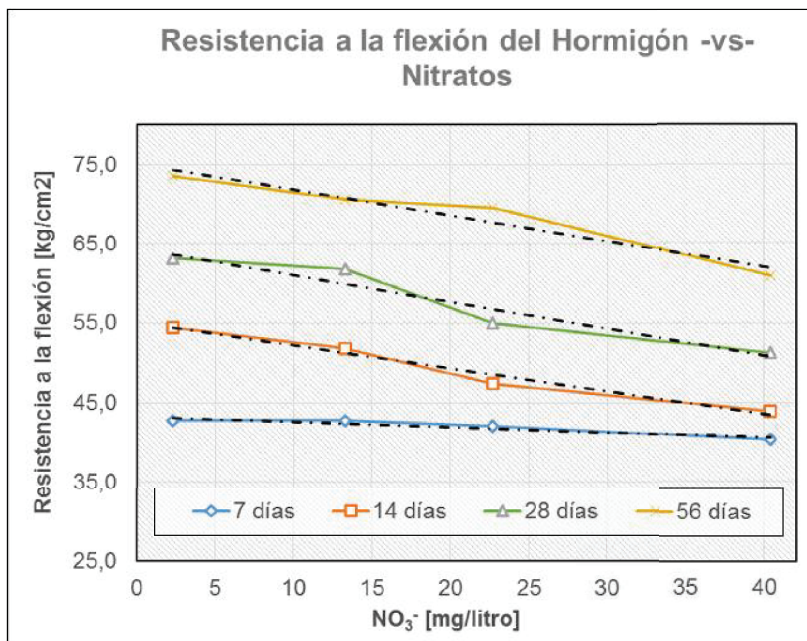
Como se aprecia en la Figura 4.20, la resistencia a la flexión crece mientras el nivel de pH aumenta desde 5 hasta el pH que presenta el agua potable, donde empieza a decrecer hasta el pH 8,5 y sube ligeramente otra vez con un pH de 10. El incremento de resistencia que se da con un pH de 10 con respecto al de 8,5 es, a los 28 días, de 3%, lo que resulta insignificante.

FIGURA 4. 21. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

FIGURA 4. 22. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN EL AGUA.

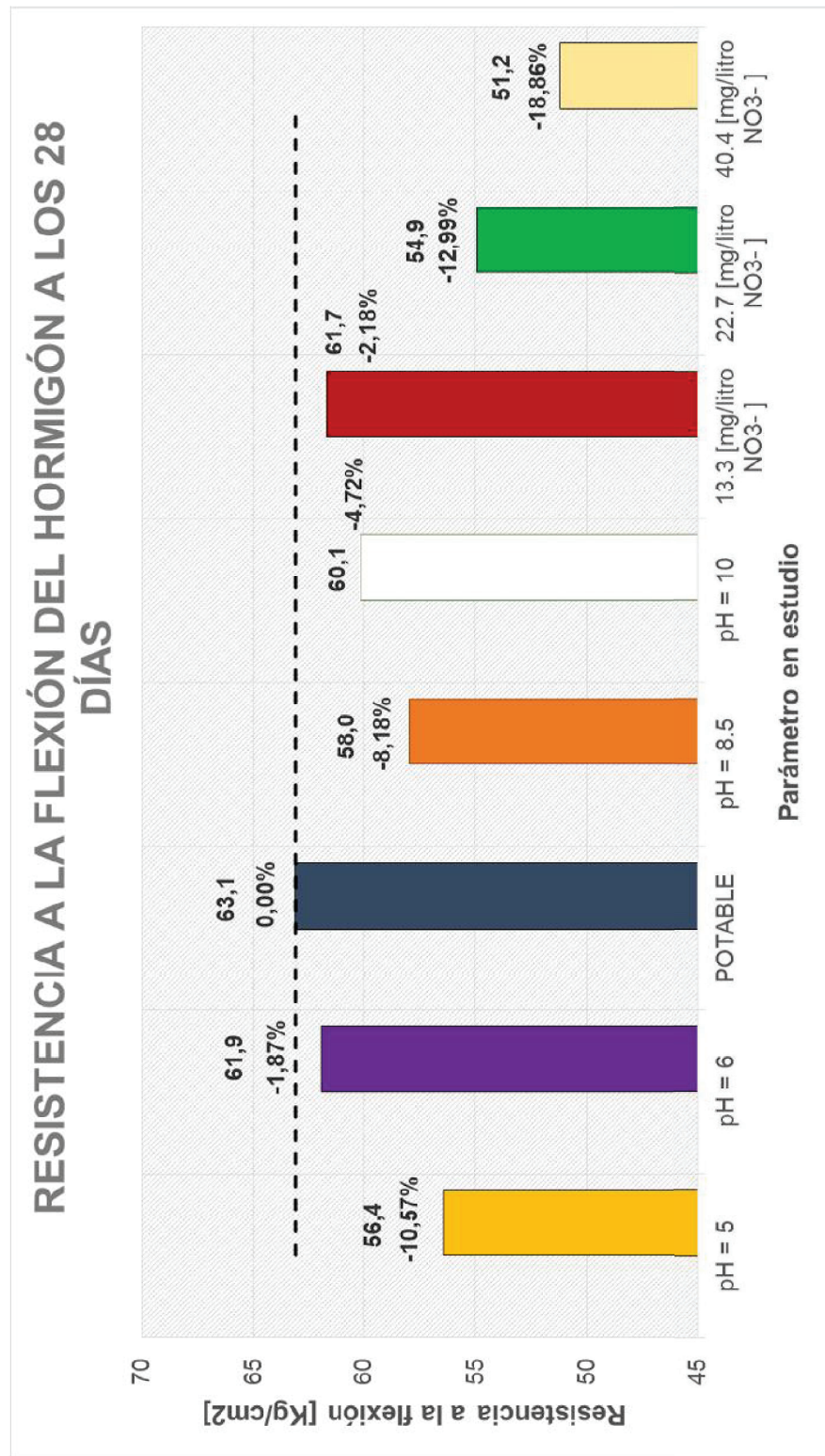


ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

En los nitratos se obtuvo algo parecido a lo que se presentó con los diferentes niveles de pH, el hormigón patrón alcanzó una mayor resistencia a la flexión en todas las edades, sin embargo, los valores difirieron en mayor proporción. El hormigón fabricado con agua con una concentración de nitratos de 40,4 mg/l, fue el que obtuvo los resultados más bajos; este a los 28 días evidenció una reducción de la resistencia del 19% y a los 56 días del 17,5% con respecto al fabricado con agua potable. Se puede observar también que a edades tempranas, es decir, a los 7 días de ensayo, todos los parámetros tuvieron un crecimiento idéntico, alcanzando resistencias muy similares, con una variación de prácticamente el 0%.

En la figura 4.21 se evidencia que hasta los 7 días, las mezclas fabricadas con aguas con diferentes concentraciones de nitratos, presentaron la misma velocidad de crecimiento de la resistencia a la flexión. Sin embargo para edades posteriores la resistencia a la flexión empieza a crecer con una velocidad menor en las mezclas con mayor contenido de nitratos. La tendencia es que la resistencia a la flexión disminuya a mayor concentración de nitratos.

FIGURA 4. 23. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DEL HORMIGÓN A LOS 28 DÍAS.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

4.6. COMPARACIÓN DE LAS ECUACIONES DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

Con los valores promedio de resistencia a la compresión, tracción indirecta y flexión, determinados experimentalmente a la edad de 28 días se realiza la comparación de dichas propiedades mecánicas con los obtenidos mediante las ecuaciones empíricas propuestas en el apartado 2.8. En la siguiente tabla se presenta los resultados de las ecuaciones y su variación porcentual respecto a los valores experimentales.

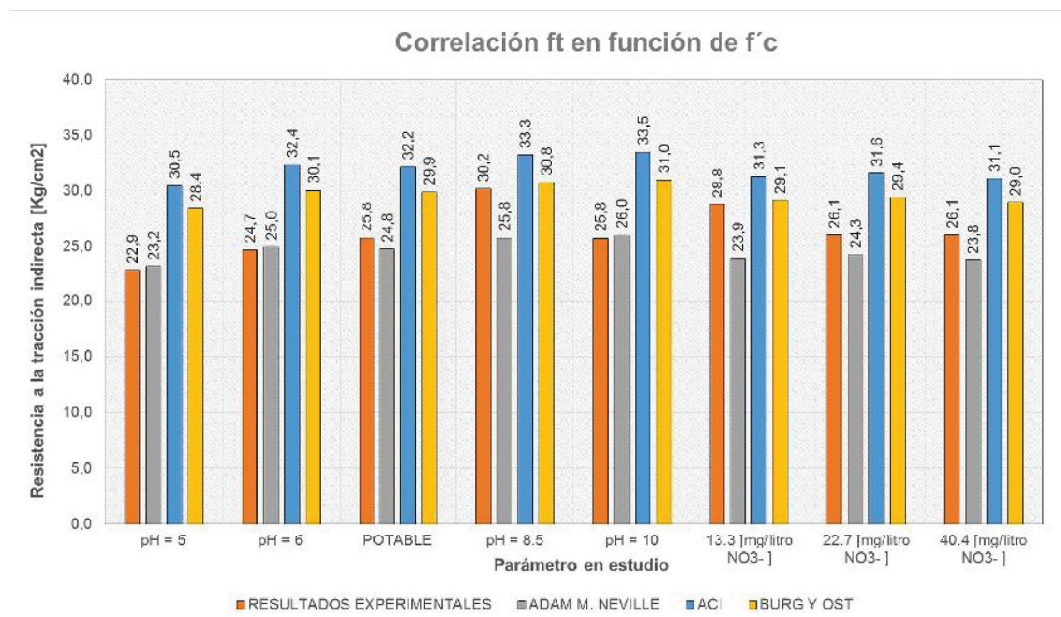
TABLA 4. 26. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN Y FLEXIÓN CALCULADOS MEDIANTE ECUACIONES EMPÍRICAS.

MUESTRA	RESULTADOS EXPERIMENTALES				ADAM M. NEVILLE		ACI		BURGO Y OST		BURGO Y OST + ADAM M. NEVILLE	
	f_c (kg/cm^2)	f_t (kg/cm^2)	MOR (kg/cm^2)	f_c (kg/cm^2)	MR (kg/cm^2)	MR (kg/cm^2)	f_t (kg/cm^2)	MR (kg/cm^2)	f_t (kg/cm^2)	MR (kg/cm^2)	MR (kg/cm^2)	
PH = 5	213.1	22.9	56.4	23.2	30.5	30.9	30.5	30.3	28.4	37.9		
	% DE VARIACIÓN RESPECTO AL EXPERIMENTAL											
PH = 6	238.1	24.7	61.9	25.0	33.0	33.2	32.4	32.7	30.1	40.1		
	% DE VARIACIÓN RESPECTO AL EXPERIMENTAL											
POTABLE	235.5	25.8	63.1	24.8	34.4	33.0	32.2	32.4	29.9	39.8		
	% DE VARIACIÓN RESPECTO AL EXPERIMENTAL											
PH = 6.8	249.9	30.2	58.0	25.8	40.3	34.3	33.3	33.7	30.8	41.0		
	% DE VARIACIÓN RESPECTO AL EXPERIMENTAL											
PH = 10	253.2	25.8	60.1	26.0	34.3	34.6	33.5	34.0	31.0	41.3		
	% DE VARIACIÓN RESPECTO AL EXPERIMENTAL											
14.3 [mg/litro NO ₂ -]	223.8	26.8	61.7	23.9	38.4	31.8	31.3	31.3	28.1	38.8		
	% DE VARIACIÓN RESPECTO AL EXPERIMENTAL											
22.7 [mg/litro NO ₂ -]	227.8	26.1	54.9	24.3	34.7	32.3	31.6	31.7	29.4	38.2		
	% DE VARIACIÓN RESPECTO AL EXPERIMENTAL											
46.4 [mg/litro NO ₂ -]	221.0	26.1	51.2	23.8	34.8	31.6	31.1	31.1	28.0	25.7		
	% DE VARIACIÓN RESPECTO AL EXPERIMENTAL											

ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

A continuación se presenta gráficamente los resultados de la Tabla 4.26 para mayor facilidad de análisis.

FIGURA 4. 24. COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A TRACCIÓN EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN.

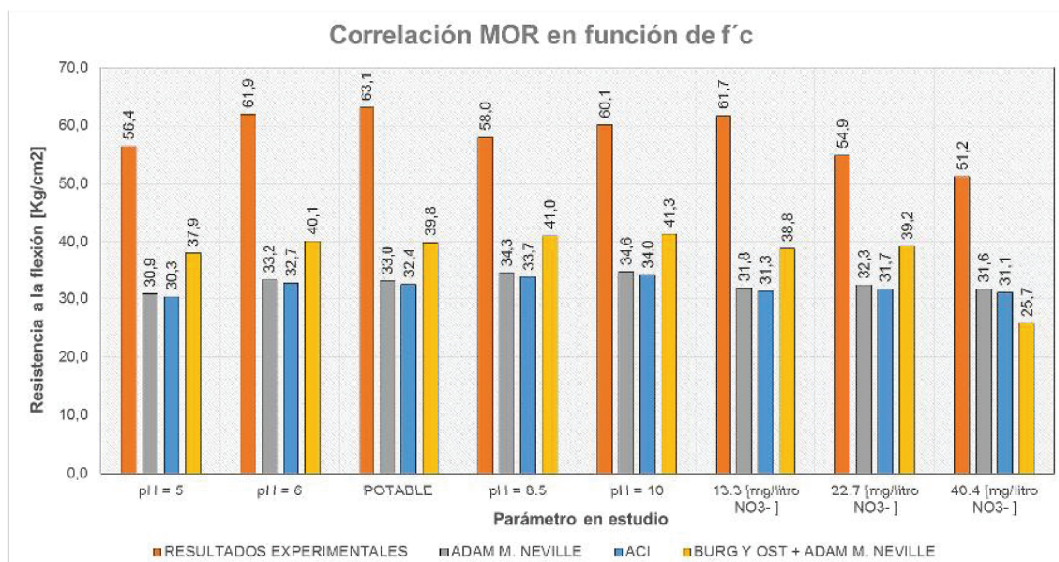


ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Para el análisis de los diferentes niveles de pH en el agua de mezclado, los resultados obtenidos con la ecuación propuesta por Adam Neville no difirieron en más del 4% con respecto a los valores experimentales excepto para el pH 8,5, parámetro en el cual la diferencia es del 14%. Para este nivel de pH la ecuación de Burg y Ost fue la que mejor se ajustó, presentando una diferencia del 2% sobre el valor experimental. La expresión propuesta por el ACI y Burg-Ost dan resultados por encima del valor experimental para todos los niveles de pH en más del 20%.

Para las diferentes concentraciones de nitratos en el agua de mezclado, la ecuación de Adam Neville da resultados por debajo del resultado experimental en todos los casos, difiriendo hasta en un 16% del experimental. La ecuación del ACI y la de Burg y Ost por el contrario presentan resultados siempre mayores que los valores experimentales con diferencias, en el ACI hasta del 21% y con la de Burg y Ost de hasta el 13%.

FIGURA 4. 25. COMPARACIÓN DEL MODULO DE ROTURA EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN.



ELABORADO POR: Brian Cagua & David Nates.

Con respecto a la resistencia a la flexión, según se observa en esta Figura, los resultados de la ecuación de Neville y la del ACI fueron prácticamente iguales para todos los casos, tanto en el análisis con diferentes niveles de pH y con diferentes concentraciones de nitratos. Estos resultados estuvieron por debajo de las resistencias determinadas experimentalmente en alrededor de un 40%. En cambio la ecuación propuesta por Adam en conjunto con Burg-ost presentan resultados de aproximadamente el 30% por debajo del valor experimental, excepto para una concentración de nitratos de 40,4 mg/l donde la diferencia fue del 50%.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los agregados utilizados en la fabricación del hormigón estudiado en este proyecto cumplieron con los requisitos comprendidos en las normas vigentes, por lo tanto se descarta cualquier posible afectación en las propiedades físico-mecánicas de la mezcla por cuenta de la calidad de los mismos.
- La relación agua cemento recomendada por el método ACI 211.1 fue deficiente para lograr una resistencia de 210 kg/cm^2 a los 28 días, por lo tanto fue necesario mediante pruebas de laboratorio realizar un ajuste en la misma, determinando una nueva relación agua cemento menor en un 13% a la recomendada. Esto puede deberse a que el ACI proporciona valores referenciales de relación agua-cemento sin considerar las condiciones ambientales bajo las cuales se realizan las mezclas de hormigón.
- La variación del nivel de pH y la concentración de nitratos en el agua de mezclado del hormigón no afecta significativamente las propiedades físicas de la mezcla en estado fresco, es decir que la trabajabilidad, el contenido de aire, el peso unitario y la temperatura de la mezcla no se altera por el cambio de los parámetros mencionados en el agua usada para su fabricación.
- El pH y los nitratos no contribuyen a que se dé el fenómeno de eflorescencia en el hormigón, por lo menos con los niveles analizados en este proyecto (pH de 5-10 y nitratos hasta $40,4 \text{ mg/l}$) el hormigón no presenta anomalías físicas a edades de hasta 120 días.
- Los niveles de pH ácidos (hasta de $\text{pH}=5$) en el agua de mezclado afectan la resistencia a compresión del hormigón a la edad de 28 días en un rango

de 0 a 10% con respecto al agua potable que circula en la red de la ciudad de Quito.

- Las aguas alcalinas, al ser usadas como agua de mezclado, no afectan negativamente la resistencia a compresión del hormigón, por el contrario producen un aumento de la misma de hasta un 8% con respecto al agua con pH cercano al neutro.
- La resistencia a la compresión del hormigón decrece conforme aumenta la concentración de nitratos, sin embargo la tasa de decrecimiento es tan baja que se puede usar agua con un contenido de nitratos de alrededor de 50 mg/l, que fue aproximadamente el máximo valor de este parámetro analizado en este estudio, sin tomar ninguna consideración en la dosificación de la mezcla.
- Un nivel de pH igual a 8,5 en el agua de mezclado produce en el hormigón una resistencia a tracción de hasta el 15% mayor que el agua potable, con un pH de alrededor de 7.
- Los niveles de pH menores a 7, en el agua de mezclado, reducen la resistencia a la tracción, a mayor acidez, menor resistencia a la tracción. La reducción en esta resistencia es del 12% para un pH 5 a la edad de 28 días.
- El contenido de nitratos en el agua de mezclado no disminuye sustancialmente la resistencia a la tracción en el hormigón, esto considerando que en este proyecto se analizó sólo hasta un contenido de nitratos de 40,4 mg/l.
- El hormigón presenta su mayor resistencia a la flexión, en cuanto al potencial hidrógeno en el agua de mezclado, con un pH neutro como al que se aproxima el agua potable, sufriendo una disminución en esta resistencia con aguas más ácidas y más alcalinas. Un pH de 5 reduce en un 11% la resistencia a la flexión del hormigón mientras que en el rango alcalino, con un pH de hasta igual a 10 la reducción es de apenas el 8%.

- La resistencia a la flexión disminuye conforme aumenta la concentración de nitratos en el agua de mezclado del hormigón. Un contenido de 40,4 mg/l de nitratos disminuye la resistencia a la flexión en un 19% respecto a la mezcla fabricada con agua potable.
- Las ecuaciones empírica que relacionan la resistencia a tracción en función de la resistencia a compresión propuestas por el ACI y por Burg y Ost presentan resultados mayores a los experimentales en más del 10% mientras que la ecuación de Adam Neville presenta valores más cercanos y por debajo de los experimentales por lo que es la más recomendada para correlacionar estos dos parámetros.
- Las ecuaciones para correlacionar la resistencia a flexión con la resistencia a compresión del hormigón, estudiadas en este proyecto no se ajustan adecuadamente a los valores obtenidos experimentalmente, presentando valores muy por debajo de estos. Para calcular este parámetro la ecuación más recomendada, entre las mencionadas anteriormente en la sección 2.8 es la propuesta por Burg y Ost en conjunto con Adam Neville, mostrando resultados del 15% más cercanos que las otras ecuaciones.

5.2. RECOMENDACIONES

- El número de probetas para un mismo ensayo debería ser de por lo menos 5, para garantizar un resultado representativo; esto debido a que se pueden presentar valores atípicos que reste confiabilidad al resultado.
- Puesto que la relación agua-cemento es tan influyente en la resistencia final de la mezcla, es recomendable para estudios futuros, trabajar con los agregados totalmente secos para evitar incertidumbres en la humedad natural de los mismos.
- Se recomienda realizar un estudio similar para niveles de nitrato mayores y evaluar si la resistencia a la compresión continua decreciendo con el incremento de nitratos a la misma tasa de variación.
- Es aconsejable realizar investigaciones adicionales que incorporen la interacción de estos parámetros con el acero de refuerzo y otros agentes que pueden intervenir en la elaboración de hormigón, tales como: fibras, aditivos, etc.
- Debido a que existen restricciones en las normas de calidad de agua empleada en la fabricación de hormigón y en ocasiones no es posible o resulta complicado cambiar de fuente de agua, se recomienda realizar un estudio similar para evaluar la influencia de otros parámetros en el agua de mezclado, como puede ser: Concentración de iones de cloruro, sulfatos, sólidos en suspensión, entre otros.
- En caso de utilizar agua de mezclado con un pH menor a 6 en la fabricación de hormigón se recomienda realizar ajustes en la dosificación para alcanzar la resistencia requerida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Committee 116. (1990). Cement and Concrete Terminology. Detroit, Mich: American Concrete Institute.
- ACI Committee 211.1. (1991, Reapproved 2002). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. U.S.A.
- ACI Committee 318. (2005). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural. Estados Unidos: American Concrete Institute.
- Agudelo, R. (2005). El agua, recurso estratégico del siglo XXI. Facultad Nacional de Salud Pública, 91-102.
- Alenezi, N. (2010). Evaluation and Assessment of Concrete Produced by Utilizing of Treated Wastewater. National Ready Mixed Concrete Association, 1 - 9. Disponible en: <http://www.nrmca.org/ctf/2010cscproceedings/documents/alenezi%20paper%204-13-10.pdf>.
- Arumil, J., Núñez, J., Salgado, L., & Claret, M. (2006). Evaluación del riesgo de contaminación con nitrato de pozos de suministro de agua potable rural en Chile. Revista Panamericana de Salud Pública, 20(6), 385-392. Disponible en: http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49892006001100004&lng=en&nrm=iso.
- Asociación Colombiana de Productores de Concreto – ASOCRETO, (2010). *Tecnología del concreto: Materiales, propiedades y diseño de mezclas* (3ª Ed.). Colombia: Nomos Impresores.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. Comité Técnico AEN/CTN 80 (1996). Cementos: Cementos comunes. Composición, especificaciones y criterios de conformidad.
- American Society for Testing and Materials (2009). *Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate*. (ASTM C 29 - 09). Philadelphia: ASTM.

- American Society for Testing and Materials (2009). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the field*. (ASTM C 31 - 09). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2008). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. (ASTM C 33 - 08). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2005). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. (ASTM C 39 - 05). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2004). *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*. (ASTM C 40 - 04). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2007). *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*. (ASTM C 127 - 07). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2007). *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*. (ASTM C 128 - 07). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2006). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. (ASTM C 131 - 06). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2006). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. (ASTM C 136 - 06). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2008). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*. (ASTM C143 - 08). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2014). *Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete*. (ASTM C138 - 14). West Conshohocken: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2014). *Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete*. (ASTM C172 - 14). West Conshohocken: ASTM.

- American Society for Testing and Materials (2004). *Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement*. (ASTM C187 - 04). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2003). *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*. (ASTM C188 - 03). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2007). *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*. (ASTM C191 - 07). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2010). *Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method*. (ASTM C231 - 10). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2016). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)*. (ASTM C293 - 16). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2011). *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. (ASTM C496 - 11). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2011). *Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic – Cement Concrete*. (ASTM C1064 - 11). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2010). *Standard Performance Specification for Hydraulic Cement*. (ASTM C1157 - 10). Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials (2009). *Standard Practice for Sampling Aggregates*. (ASTM D75 - 09). Philadelphia: ASTM.
- Bernal, J. (2009). El agua del Concreto. Disponible en: <http://elconcreto.blogspot.com/search/label/El%20Agua%20del%20Concreto>.
- Chang, R., & Goldsby, K. (2013). *Química* (Undécima ed.). México: McGraw-Hill.
- Construmática. (s.f.). Resistencia a la Flexión. Hormigón endurecido. (en línea) Disponible en: http://www.construmatica.com/construpedia/AP-_015._Resistencia_a_la_Flexi%C3%B3n._Hormig%C3%B3n_Endurecido.

- Dieguez, V. (2011). Propiedades Físicas Del Concreto Elaborado Con Agua Residual Tratada. Trabajo especial de grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas. Disponible en: <http://190.169.94.11:8080/jspui/bitstream/123456789/11109/1/PROPIEDADES%20F%C3%8DSICAS%20DEL%20CONCRETO%20ELABORADO%20CON%20AGUA%20RESIDUAL%20TRATADA.pdf>.
- Constructor Civil. (s.f). Concreto: Resistencia a la Flexión (en línea). Disponible en <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/concreto-resistencia-la-flexion.html>.
- Flores, J., González, F., Rocha, L., & Vázquez, A. (Abril de 2001). Elaboración de concretos con agua tratada. Disponible en: <http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/concretos.htm>.
- Flores, R., & Bonilla, P. (2010). Perfil de la Lluvia Ácida en la Ciudad de Quito (Ecuador). Química Central, pp. 27 - 34.
- Ibrahim, A.-G., & Mohammad J., T. (2003). Use of treated wastewater for concrete mixing in Kuwait. Kuwait University, 214 - 228. Disponible en: <http://pubcouncil.kuniv.edu.kw/kjs/files/13Feb2013093056Use%20of%20treated%20wastewater%20for%20concrete%20mixing%20in%20Kuwait..pdf>.
- Ibrahim, A.-G., & Mohammad J., T. (2003). Mechanical properties of concrete made with treated wastewater at ambient and elevated temperatures. Kuwait University, 229 - 243. Recuperado el 27 de Febrero de 2016, de <http://pubcouncil.kuniv.edu.kw/kjs/files/13Feb2013092156Mechanical%20properties%20of%20concrete%20made%20with%20treated%20wastewater%20at%20ambient%20and%20elevated%20temperatures..pdf>.
- Institute Of Environmental Science & Engineering (IESE), National University of Sciences & Technology (NUST). (2005). Use of municipal wastewater for plain cement concrete constructions. Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry. Recuperado el 27 de Febrero de 2016.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC). (2007). El concreto en la obra. Problemas, causas y soluciones. Disponible en: <http://www.imcyc.com/ct2007/oct07/PROBLEMAS.pdf>.

- Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón (INECYC). (2009). Control de calidad en el hormigón, Control por Resistencia (Primera ed.). Quito.
- Kirby, A. (2004). La crisis provocada por la falta de agua en el mundo es fácil de entender pero difícil de resolver. Disponible en: http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_4052000/4052657.stm
- Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. (2014). Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Disponible en: <http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELERA/Reforma%20Anexo%2028%20feb%202014%20FINAL.pdf>.
- Lenntech (s.f). *Nitratos*. Disponible en: <http://www.lenntech.es/nitratos.htm>.
- Lenntech (s.f). *Nitratos en las aguas subterráneas*. Disponible en: <http://www.lenntech.es/agua-subterranea/nitratos.htm>.
- López, S., Nevels, D. & Kading, T. (2012). Análisis de calidad de agua en las micro-cuencas de los ríos Pacayacu y Sacha en la Amazonía Ecuatoriana. Washington: Universidad de Washington Bothell. Disponible en: http://www.clinicambiental.org/docs/estudios_comunitarios/Informe_UW_A CCECOL_040412.pdf.
- Luna, G. (2014). Estudio del Hormigón. Quito: Edicumbre.
- Manobanda, C. (2013). El curado del hormigón y su incidencia en las propiedades mecánicas finales. Proyecto de Grado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Medina, C. (2013). Concreto confeccionado con aguas lluvia: Un aporte a la disminución del impacto ambiental generado por la industria de la construcción. Proyecto de Grado previo a la obtención del título de Máster en Construcción, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Monroy, C., & Luna, G. (1985). Cementos y hormigones. Instructivo de Laboratorio. Quito, Ecuador.

- Moore, HJ. (2011). *La importancia del curado en el concreto*. Disponible en: <http://civilgeeks.com/2011/08/17/la-importancia-del-curado-del-concreto/>.
- National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). (s.f.). Prueba de Resistencia a la Compresión del Concreto. Disponible en: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/cip35es.pdf>
- National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). (s.f.). Discrepancias con el Rendimiento. Disponible en: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP8es.pdf>
- National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). (s.f.). El concreto en la práctica, ¿Qué, por qué y cómo?. Disponible en: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP8es.pdf>
- Notas de Concretos. (2011). Peso unitario (Densidad del Concreto). Disponible en: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/peso-unitario-densidad-del-concreto.html>
- Ochoa, J. (2016). La Problemática del Agua en el Siglo XXI. Tekhné, 0 - 3. Disponible en: <http://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/temas/index.php/tekhne/article/view/2815>.
- Orié, O. U. (2012). Water Quality and the Compressive Strength of Concrete –A Case Study of Hydrogen Point Concentration. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series A: Physical Sciences, 169 - 171.
- Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. (2014). Manual del Concreto Estructural. Caracas: Sidetur.
- Rivera, G. (2013). Concreto simple. Cauca, Colombia: Universidad del Cauca.
- Rodríguez, C., Salazar, H., Escobar, J. & Ovalle, L. (1984). Efectos de la calidad del agua en la resistencia del concreto. (Ingeniería e Investigación, Dialnet) Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902873.pdf>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2010). *Cemento hidráulico. Definición de Términos*. (NTE INEN 151:2010). Quito: INEN.

- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2012). *Cemento Portland, Requisitos*. (NTE INEN 152:2012). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de la densidad*. (NTE INEN 156:2009). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2009). *Determinación de la Consistencia Normal. Método Vicat*. (NTE INEN 157:2009). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2009). *Determinación del Tiempo de Fraguado. Método de Vicat*. (NTE INEN 158:2009). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2011). *Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos*. (NTE INEN 490:2011). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2010). *Áridos. Muestreo*. (NTE INEN 695:2010). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2011). *Análisis Granulométrico en los Áridos Fino y Grueso*. (NTE INEN 696:2011). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2010). *Determinación de las Impurezas Inorgánicas en el Árido Fino para Hormigón*. (NTE INEN 855:2010). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2010). *Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Fino*. (NTE INEN 856:2010). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2010). *Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Grueso*. (NTE INEN 857:2010). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2011). *Determinación de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles*. (NTE INEN 860:2011).
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2011). *Áridos para Hormigón. Requisitos*. (NTE INEN 872:2011). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2011). *Agua potable. Requisitos*. (NTE INEN 1108:2011). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2010). *Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de*

Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico. (NTE INEN 1573:2010). Quito: INEN.

- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo.* (NTE INEN 1576:2011). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento.* (NTE INEN 1578:2010). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Muestreo.* (NTE INEN 1763:2010). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2002). *Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos.* (NTE INEN 1855-2:2002). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2011). *Cemento Hidráulico. Requisitos de Desempeño para Cementos Hidráulicos.* (NTE INEN 2380:2011). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2010). *Áridos. Reducción de Muestras a Tamaño de Ensayo.* (NTE INEN 2566:2010). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2012). *Hormigón de Cemento Hidráulico / Agua para Mezcla, Requisitos.* (NTE INEN 2617:2012). Quito: INEN.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización (2012). *Hormigón de Cemento Hidráulico. Refrentado de Especímenes Cilíndricos para la Determinación de la Resistencia a la Compresión.* (NTE INEN 2649:2012). Quito: INEN.
- Sorgato, V. (s.f.). *La huella de nitrógeno fue calculada.* Disponible en: http://edicionimpresa.elcomercio.com/es/xml_noticia/4566110
- Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ingeniería. (1994). *Manual de Tecnología del Concreto.* México: Limusa.
- Universidad Nacional Autónoma de Honduras/Biblioteca Médica Nacional (CIDBIMENA). (2002). *Análisis Físico Químico de Agua Potable en el DMQ.* Disponible en: http://www.desastres.hn/docum/crid/CD_Agua/pdf/spa/doc14592/doc14592-7f.pdf

- United States Environmental Protection (EPA). (2012). Las preguntas comunes y sus respuestas sobre el Nitrato y el Agua Potable. Disponible en:
https://www3.epa.gov/region10/pdf/sites/yakimagw/Lower_Yakima_Valley_FAQ_Nitrate_Espanol.pdf
- Universidad Politécnica de Valencia (UPV). (s.f.). Composición del Cemento Portland. Disponible en:
<http://personales.upv.es/fbardisa/Pdf/Composici%C3%B3n%20Cementos.PDF>
- Universidad de Oviedo. (s.f.). *Lección 7: Hidratación del Cemento Portland*. Disponible en:
<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.HidratacionCEMENTO.pdf>
- Universidad de Oviedo. (s.f.). Lección10.- Cementos/Materiales de Adición (en línea). Disponible en
<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion10.CEMENTOS.MaterialesAdicion.pdf>
- Velezmore, A., Blanco, H., & Peñuela, C. (2014). Influencia del nitrato presente en el agua de mezclado sobre las propiedades físicas del concreto. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 29(2), 61-67. Recuperado el 24 de Marzo de 2016, de
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652014000200006&lng=es&tlng=es
- Videla, C. (2014). Tecnología del Hormigón, Dosificación de Hormigones. Disponible en:
<https://ingjeltoncalero.files.wordpress.com/2014/02/dosificaciones-de-hormigon.pdf>
- Wikipedia. (s.f.). Agua de Mar. Disponible en:
https://es.wikipedia.org/wiki/Agua_de_mar
- Wikipedia. (s.f.). Temperatura. Disponible en:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura>
- Wikiwater (2014). Los diversos tipos de pozos y perforaciones. Disponible en:
http://www.wikiwater.fr/e28-los-diversos-tipos-de-pozos-y.html#outil_sommaire_10

ANEXOS
INFORMES DE LABORATORIO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

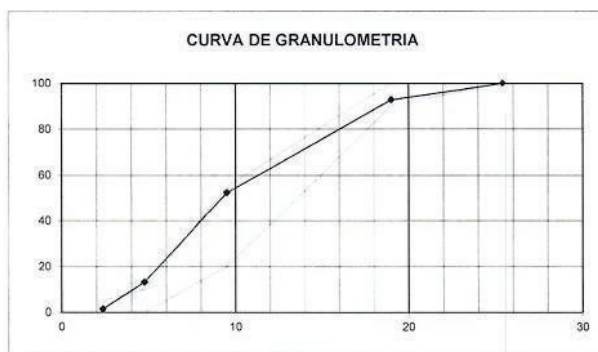
INF. No. 17 - 0012
 Hoja 2 de 19

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
Atención: ***
Dirección: ***
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
MINA: PIFO
NORMA: INEN 696, ASTM C 33

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1"	25.40	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.00	787.0	7.4	7.4	92.6
3/8"	9.50	4263.1	40.2	47.6	52.4
4	4.75	4185.2	39.4	87.0	13.0
8	2.36	1220.4	11.5	98.5	1.5
BANDEJA		158.0	1.5	100.0	0.0
TOTAL		10613.7	FINURA	6.41	

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.



Ing. Mercedes Villacis
 JEFE DEL LABORATORIO

GR-G-17-001-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

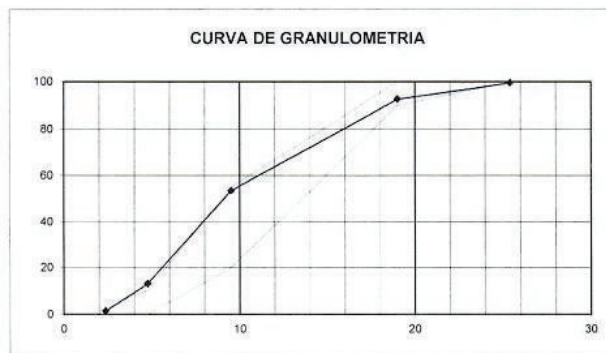
INF. No. 17 - 0012
Hoja 3 de 19

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
Atención: ***
Dirección: ***
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
MINA: PIFO
NORMA: INEN 696, ASTM C 33

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1 "	25.40	68.8	0.5	0.5	99.5
3/4 "	19.00	915.1	6.9	7.4	92.6
3/8 "	9.50	5214.7	39.1	46.5	53.5
4	4.75	5414.4	40.6	87.0	13.0
8	2.36	1537.0	11.5	98.6	1.4
BANDEJA		193.0	1.4	100.0	0.0
TOTAL		13343.0	FINURA	6.39	

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.



Ing. Mercedes Villacis
 JEFE DEL LABORATORIO



GR-G-17-001-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO

INF. No. 17 - 0012

Quito, 05 de Enero de 2017

Hoja 4 de 19

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO

Atención: ***

Dirección: ***

CONTRATISTA: ***

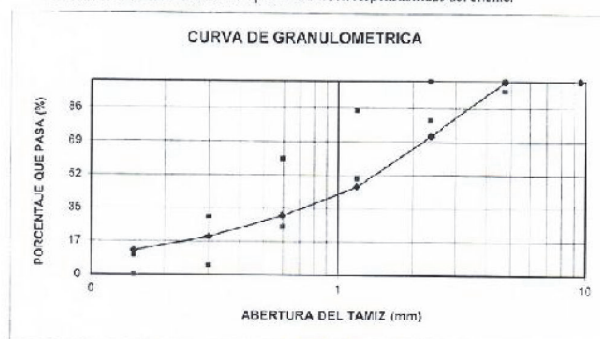
FISCALIZADOR: ***

MINA: PIFO

NORMA: INEN 696, ASTM C 33

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8	9.50	0.0	0.0	0.0	100.0
4	4.75	1.2	0.3	0.3	99.7
8	2.36	109.2	27.8	28.1	71.9
15	1.19	102.0	26.0	54.1	45.9
30	0.59	60.7	15.5	69.6	30.4
50	0.30	42.2	10.7	80.3	19.7
100	0.15	28.2	7.2	87.5	12.5
BANDEJA		49.1	12.5	100.0	0.0
TOTAL		392.6	FINURA	3.20	

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.



(Firma manuscrita)

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DEL LABORATORIO



GR-F-17-001-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO

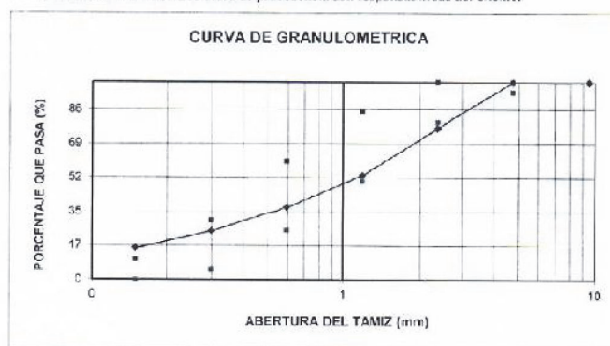
INF. No. 17 - 0012
Hoja 5 de 19

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
Atención: ***
Dirección: ***
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
MINA: PIFO
NORMA: INEN 696, ASTM C 33

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8	9.50	0.0	0.0	0.0	100.0
4	4.75	0.7	0.1	0.1	99.9
8	2.36	131.9	23.2	23.3	76.7
16	1.19	134.6	23.6	46.9	53.1
30	0.59	92.2	16.2	63.1	36.9
50	0.30	69.6	12.2	75.4	24.6
100	0.15	45.1	8.6	84.0	16.0
BANDEJA		91.2	16.0	100.0	0.0
TOTAL		569.3	FINURA	2.93	

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.



Ing. Mercedes Villecis
JEFE DEL LABORATORIO



GR-F-17-001-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

INF. No. 17-0012
 Hoja 6 de 19

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
MUESTRA: AGREGADO GRUESO
FECHA DE MUESTREO: ***
MINA: PIFO
NORMAS: ASTM C127 - 15

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO		
PESO ESPECÍFICO	2.574	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO S.S.S	2.627	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.719	gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA	2.08	%

Observación: La procedencia es responsabilidad del cliente.

Ing. Mercedes Villacis
 JEFE DEL LABORATORIO



Peso específico y abs 17-C01-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

INF. No. 17-0012
 Hoja 7 de 19

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
MUESTRA: AGREGADO GRUESO
FECHA DE MUESTREO: ***
MINA: PISO
NORMAS: ASTM C127 - 15

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO		
PESO ESPECÍFICO	2.574	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO S.S.S	2.633	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.736	gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA	2.21	%

Observación: La procedencia es responsabilidad del cliente.


 Ing. Mercedes Villacís
 JEFE DEL LABORATORIO



Peso específico y abs 17-001-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

INF. No. 17 - 0612
 Hoja 5 de 19

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: ILSIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
MUESTRA: AGREGADO GRUESO
FECHA DE MUESTREO: ***
MINA: PISO
NORMAS: ASTM C127 - 15

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO		
PESO ESPECÍFICO	2.582	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO S.S.S	2.633	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.721	gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA	1.99	%

Observación: La presencia es responsabilidad del cliente.

Ing. Mercedes Villacis

JEFE DEL LABORATORIO



Peso específico y abs 17-001-F



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

INF. No. 17 - 0012
 Hoja 9 de 19

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
MUESTRA: AGREGADO FINO
FECHA DE MUESTREO: ***
MINA: FIFO
NORMAS: ASTM C128 - 15

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO		
PESO ESPECÍFICO	2.506	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO S.S.S	2.691	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.740	gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA	3.40	%

Observación: La procedencia es responsabilidad del cliente.


 Ing. Mercedes Villafra
 JEFE DEL LABORATORIO



Peso específico y abs 17-001-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

INF No. 17 - 0012
 Hoja 10 de 15

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
MUESTRA: AGREGADO FINO
FECHA DE MUESTREO: ***
MINA: PI-O
NORMAS: ASTM C128 - 15

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO		
PESO ESPECÍFICO	2.541	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO S.S.S	2.628	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.737	gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA	3.48	%

Observación: La procedencia es responsabilidad del cliente



Ing. Mercedes Villacís
 JEFE DEL LABORATORIO



Peso específico y abs 17-001-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

INF No. 17-0012
 Hoja 11 de 19

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
MUESTRA: ACREGADO FINO
FECHA DE MUESTREO: ***
MINA: PIPO
NORMAS: ASTM C128 - 15

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO		
PESO ESPECÍFICO	2.856	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO S.S.S	2.757	gr/cm ³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.954	gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA	3.81	%

Conservación: La procedencia es responsabilidad del cliente.


 Ing. Mercedes Villacís
 JEFE DEL LABORATORIO



Peso especifico y abs 17-001-1



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

DENSIDADES APARENTES

INF. No. 17 - 6012

Quito, 05 de Enero de 2017

Hoja: 12 de 19

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
MUESTRA: AGREGADO GRUESO
NORMA: NORMA: ASTM C29, INEN 838

DESCRIPCIÓN MUESTRA	DENSIDAD	
	SUELTA g/cm ³	COMPACTADA g/cm ³
MUESTRA #1	1,390	1,540
MUESTRA #2	1,410	1,550
MUESTRA #3	1,370	1,530



ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



Archivo: Denaport17-001-T.xls



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

DENSIDADES APARENTES

INT. No. 17 - 0012

Quito, 05 de Enero de 2017

Hoja 13 de 19

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
MUESTRA: AGREGADO FINO
NORMA: NORMA: ASTM C29, INEN 858

DESCRIPCIÓN MUESTRA	DENSIDAD	
	SUELTA g/cm ³	COMPACTADA g/cm ³
MUESTRA #1	1.620	1.760
MUESTRA #2	1.610	1.740
MUESTRA #3	1.630	1.780

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Archivo: Denapar17-001-T.xls



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

ENSAYO DE ABRASIÓN

INF. No. 17 - 0012
 Hoja 14 de 19

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ***
CONTRATISTA: ***
MUESTRA: AGREGADO GRUESO
MINA: PIFO
NORMA: ASTM C535-09

GRADACIÓN:	C
NÚMERO DE REVOLUCIONES:	500
PESO INICIAL (gr):	5006.9
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 100 REVOLUCIONES (gr):	4756.10
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 500 REVOLUCIONES (gr):	3802.20
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 100 rev.(%):	5.01
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 500 rev.(%):	24.06
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:	0.21

ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO



Archivo: ABR17-001-T.xls



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

CONTENIDO ORGÁNICO

INP. No. 17 - 0012
 Fecha: 15 de 19

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
MUESTRA: AGREGADO FINO
NORMA: ASTM C 40 - 11

ENSAYO CONTENIDO ORGÁNICO	
	Escala Gardner
	0 <input type="checkbox"/>
	1 <input checked="" type="checkbox"/>
	2 <input type="checkbox"/>
	3 <input type="checkbox"/>
	4 <input type="checkbox"/>
5 <input type="checkbox"/>	

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.

Ing. Mercedes Villacís
 JEFE DE LABORATORIO





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

CEMENTO

INF No 17 - 0312
 Hoja 16 de 19

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES

Atención: ***

Dirección: ***

PROYECTO: TESIS DE GRADO

CONTRATISTA: ***

FISCALIZADOR: ***

NORMAS: INDICADAS

DATOS DE LA MUESTRA:

MARCA: IICLCIM

TIPO: GU

F. FABRICACIÓN: 05/01/2015 13:31

MUESTREO: ***

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO (NTE INEN 156 / ASTM C 188-03):

Densidad Real (ρ):	3.10	g/cm ³
Densidad Suelta:	1.00	g/cm ³
Densidad Compactada:	1.27	g/cm ³

OBSERVACIONES: El muestreo, procedencia y la muestra como tal, son total y absoluta responsabilidad del cliente.



ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



Archivo: DFN_CEM_17-01-T.xls



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

CEMENTO

INF. N°: 17 - 0012
 Feja: 17 de 19

Quito: 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVI NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
NORMAS: INDICADAS

DATOS DE LA MUESTRA:

MARCA: HOLCIM
TIPO: GU
F. FABRICACIÓN: 10/01/2016 14:45
MUESTREO: ***

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO (NTE INEN 155 / ASTM C 188-03):

Densidad Real (ρ):	3.01	gram ³
Densidad Sueita:	1.02	gram ³
Densidad Compactada:	1.12	gram ³

OBSERVACIONES: El muestreo, procedencia y la muestra como tal, son total y absoluta responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DE LABORATORIO



Archivo: DEN.CEM 17-01-T.xls



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

CEMENTO

INF. No. 17 - 0012
 Hoja 18 de 19

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES

Atención: ***
 Dirección: ***

PROYECTO: TESIS DE GRADO

CONTRATISTA: ***

FISCALIZADOR: ***

NORMAS: INDICADAS

DATOS DE LA MUESTRA:

MARCA: HOLCIM

TIPO: GJ

F. FABRICACIÓN: 08/01/2016 11:28

MUESTREO: ***

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO (NTE INEN 156 / ASTM C 188-03):

Densidad Real (p):	3.06	gr/cm ³
Densidad Suelta:	0.97	gr/cm ³
Densidad Compactada:	1.18	gr/cm ³

OBSERVACIONES: El muestreo, procedencia y a muestra como tal, son total y absoluta responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DE LABORATORIO



Archivo: DFN CFM 17-01-T.xls



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

ENSAYOS DE CEMENTO

INF. No. 17 - 0012
 Hoja 19 de 19

Quito, 05 de Enero de 2017

PROYECTO: TESIS DE GRADO
SOLICITADO: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
ELEMENTO: *****
CEMENTO: HOLCIM TIPO GU
NORMAS: ASTM C-187, ASTM C-191, ASTM C-1

CONSISTENCIA NORMAL		
MUESTRA # 1	26.6	%
MUESTRA # 2	25.8	%
MUESTRA # 3	27.1	%

TIEMPO INICIAL DE FRAGUADO VICAT	140	min
TIEMPO FINAL DE FRAGUADO VICAT	530	min

ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



Archivo: Consist17-001-T.xls



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 6 de Enero de 2017

17-0014
Hoja 01 de 16

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
PARAMETRO: AGUA POTABLE
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

Nº.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (cm ²)	P. ESPEC. (kg/cm ²)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(kg/cm ²)
1	15-jun-16	CILINDRO # 1	20-jun-16	7	102	8118	2354	120.61	12.35	14.8	152
2	15-jun-16	CILINDRO # 2	20-jun-16	7	101	8212	2355	123.45	12.60	16.4	157
3	13-jun-16	CILINDRO # 3	20-jun-16	7	101	8265	2343	64.86	6.61	8.0	52
4	15-jun-16	CILINDRO # 4	20-jun-16	7	101	7558	2324	110.98	11.32	13.6	142
5	13-jun-16	CILINDRO # 5	20-jun-16	7	102	8171	2324	126.74	12.92	13.6	158
6	15-jun-16	CILINDRO # 6	27-jun-16	14	103	8386	2293	156.40	16.25	19.0	194
7	13-jun-16	CILINDRO # 7	27-jun-16	14	101	8060	2342	142.71	14.65	17.8	182
8	13-jun-16	CILINDRO # 8	27-jun-16	14	103	8276	2261	165.44	16.87	23.0	204
9	13-jun-16	CILINDRO # 9	27-jun-16	14	102	8295	2312	139.30	14.21	15.9	173
10	13-jun-16	CILINDRO # 10	27-jun-16	14	100	7906	2350	156.80	15.99	13.8	202

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO



C17-00-1



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 5 de Enero de 2017

17-0014
Hoja 02 de 16

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
PARÁMETRO: AGUA POTABLE
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

Nº.	FECHA FABRICACION	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/cm ²)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	13-jun-16	CILINDRO # 11	11-jul-16	28	100	7806	2359	191.37	19.51	24.2	247
2	13-jun-16	CILINDRO # 12	11-jul-16	28	100	8124	2294	194.18	19.83	23.8	242
3	13-jun-16	CILINDRO # 13	11-jul-16	28	101	8012	2268	183.59	18.72	22.9	234
4	13-jun-16	CILINDRO # 14	11-jul-16	28	101	7996	2338	186.59	19.03	23.4	239
5	13-jun-16	CILINDRO # 15	11-jul-16	28	101	7996	2343	182.52	18.61	22.9	234
6	13-jun-16	CILINDRO # 16	08-ago-16	56	102	8225	2325	200.41	20.44	24.4	248
7	13-jun-16	CILINDRO # 17	08-ago-16	56	102	7908	2356	209.22	21.34	25.5	270
8	13-jun-16	CILINDRO # 18	08-ago-16	56	101	7996	2342	214.27	21.85	25.9	275
9	13-jun-16	CILINDRO # 19	08-ago-16	56	101	8012	2324	210.39	21.45	23.2	238
10	18-jun-16	CILINDRO # 20	08-ago-16	56	102	8118	2306	180.86	18.45	22.5	227
11	18-jun-16	CILINDRO # 21	08-ago-16	56	102	8118	2343	205.45	20.86	25.3	258

Observación: La procedencia y fecha de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLADIG
 JEFE DEL LABORATORIO



017-005-T

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andaluda / Edif. Ing. Civil, Mezanina, Ofic. M15 email: laboratorio@ecpn.edu.ec / Telf.: (02) 2976 300 ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 5 de Enero de 2017

17-2014
Hoja 03 de 10

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
 Afiliación: ***
 Dirección: ***
 PROYECTO: TESIS DE GRADO
 CONTRATISTA: ***
 FISCALIZADOR: ***
 PARÁMETRO: PH = R,5
 NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/cm ²)	CARGA		RESISTENCIA	
								(Kg)	(ton)	(MPa)	(kg/cm ²)
1	14-jun-16	CILINDRO # 1	21-jun-16	7	102	8115	2323	140.90	14.28	17.4	177
2	14-jun-16	CILINDRO # 2	21-jun-16	7	101	8012	2308	144.79	14.73	18.1	184
3	14-jun-16	CILINDRO # 3	21-jun-16	7	103	8385	2255	140.93	14.98	17.5	179
4	14-jun-16	CILINDRO # 4	21-jun-16	7	102	8115	2304	145.13	14.90	17.8	182
5	14-jun-16	CILINDRO # 5	21-jun-16	7	101	7999	2328	142.85	14.57	17.9	183
6	14-jun-16	CILINDRO # 6	21-jun-16	7	101	7999	2321	146.39	14.94	18.4	188
7	14-jun-16	CILINDRO # 7	28-jun-16	14	100	7006	2341	149.33	15.23	18.8	193
8	14-jun-16	CILINDRO # 8	28-jun-16	14	101	7999	2320	151.33	16.48	20.3	207
9	14-jun-16	CILINDRO # 9	28-jun-16	14	102	8115	2340	153.30	16.01	20.1	205
10	14-jun-16	CILINDRO # 10	28-jun-16	14	102	8174	2300	155.89	16.93	20.5	207
11	14-jun-16	CILINDRO # 11	28-jun-16	14	101	8085	2330	159.62	12.14	14.5	150

Observación: La procedencia y fecha de fabricación han sido tomadas de las ordenes y es responsabilidad del cliente.


 Dña. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO



C17-005-T

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Nezarine, Ofic. M15 email: laboratoriocivil@yaho.com / Telf.: (02) 2976 300 ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 5 de Enero de 2017

17-0014
Hoja 04 de 15

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
 Atención: ***
 Dirección: ***
 PROYECTO: TESIS DE GRADO
 CONTRATISTA: ***
 FISCALIZADOR: ***
 PARÁMETRO: PH = 8.5
 NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACION	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
								(kN)	(Ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	14-jun-16	CILINDRO # 12	12-jul-16	28	103	6386	2236	292.17	20.02	24.1	248
2	14-jun-16	CILINDRO # 13	12-jul-16	28	103	6390	2278	292.08	20.00	24.4	248
3	14-jun-16	CILINDRO # 14	12-jul-16	28	102	6225	2334	285.84	21.00	25.0	256
4	14-jun-16	CILINDRO # 15	12-jul-16	28	101	6012	2308	211.77	21.00	23.4	270
5	14-jun-16	CILINDRO # 16	12-jul-16	28	102	6118	2328	220.96	22.63	27.2	278
6	14-jun-16	CILINDRO # 17	09-ago-16	56	101	6012	2349	223.89	23.03	28.2	287
7	14-jun-16	CILINDRO # 18	09-ago-16	56	101	6066	2376	242.50	24.74	30.1	307
8	14-jun-16	CILINDRO # 19	09-ago-16	56	100	7505	2376	235.97	24.03	29.8	304
9	14-jun-16	CILINDRO # 20	09-ago-16	56	100	7505	2400	216.12	22.04	27.3	279
10	14-jun-16	CILINDRO # 21	09-ago-16	56	102	6118	2461	253.95	23.05	28.8	294
11	14-jun-16	CILINDRO # 22	09-ago-16	56	102	6118	2361	229.83	23.44	28.3	286

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido consignadas de los encargos y es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO



C17-005-1

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezzanine, Ofic. M15 email: laboratorio@epn.edu.ec / Telf: (02) 2976 300 ext. 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 5 de Enero de 2017

17-0014

Hoja 05 de 15

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
 Atención: ***
 Dirección: ***
 PROYECTO: TESIS DE GRADO
 CONTRATISTA: ***
 FISCALIZADOR: ***
 PARAMETRO: P(1) = 30
 NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	15-jun-15	CILINDRO # 1	22-jun-16	7	101	8012	2347	126.59	13.21	16.2	165
2	15-jun-15	CILINDRO # 2	22-jun-16	7	101	8012	2322	132.33	13.60	16.6	163
3	15-jun-15	CILINDRO # 3	22-jun-16	7	100	7906	2347	54.20	5.59	10.7	109
4	15-jun-15	CILINDRO # 4	22-jun-16	7	102	8118	2340	135.21	13.79	16.7	170
5	15-jun-15	CILINDRO # 5	22-jun-16	7	103	8338	2251	102.85	10.47	14.2	126
6	15-jun-16	CILINDRO # 6	29-jun-16	14	101	7959	2335	135.13	13.73	17.0	173
7	15-jun-16	CILINDRO # 7	29-jun-16	14	101	8085	2353	160.11	16.94	20.6	210
8	15-jun-16	CILINDRO # 8	29-jun-16	14	100	7900	2339	153.83	15.69	19.5	198
9	15-jun-16	CILINDRO # 9	29-jun-16	14	102	8118	2317	163.37	16.59	19.6	201
10	15-jun-16	CILINDRO # 10	29-jun-16	14	104	8440	2275	152.58	15.27	18.9	193
11	15-jun-16	CILINDRO # 11	13-jul-16	28	100	7906	2353	153.05	15.72	20.7	211

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido conocidas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILACIS
 JEFE DEL LABORATORIO



C17-005-T

Dirección: Ladrón de Guevara E11-255 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezzanine, Ofic. M15 email: laboratorio@iepn@yahoo.com / Telf.: (02) 2976 300 ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN


Quito, 6 de Enero de 2017

17-0014
Hoja 02 de 15

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
PARÁMETRO: P3 = 10
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
								(kN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	15-jun-16	CILINDRO # 12	13-jul-16	28	102	8118	2325	106.49	20.24	24.2	247
2	15-jun-16	CILINDRO # 13	13-jul-16	28	102	8171	2312	105.26	20.24	24.0	254
3	15-jun-16	CILINDRO # 14	13-jul-16	28	101	7950	2586	113.29	17.57	21.0	222
4	15-jun-16	CILINDRO # 15	15-jul-16	28	100	7926	2542	106.00	20.48	20.4	259
5	15-jun-16	CILINDRO # 16	16-ago-16	56	100	7926	2586	105.28	20.20	24.6	253
6	15-jun-16	CILINDRO # 17	16-ago-16	56	99	7696	2620	105.42	19.23	25.4	259
7	15-jun-16	CILINDRO # 18	16-ago-16	56	101	8012	2362	127.56	22.21	26.4	230
8	15-jun-16	CILINDRO # 19	16-ago-16	56	101	7995	2338	123.42	22.76	26.1	236
9	15-jun-16	CILINDRO # 20	16-ago-16	56	96	7695	2341	120.17	22.40	25.5	232
10	15-jun-16	CILINDRO # 21	16-ago-16	56	100	7802	2386	122.12	20.51	25.5	234
11	15-jun-16	CILINDRO # 22	16-ago-16	56	102	8235	2351	122.55	22.70	27.1	276

Observación: La procedencia y fechas de fabricación, así como los nombres de los miembros y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACIS
 J. PFP DEL LABORATORIO



C17-005-T

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezzanine, Ofic. M15 email: laboratorio@epn@yahoo.com / Telf.: (02) 2976 300 ext. 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 5 de Enero de 2017

17-0014
Hoja 07 de 15

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
PARÁMETRO: PH - 5
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/cm ²)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(TON)	(MPa)	(kg/cm ²)
1	16-jun-15	CILINDRO # 1	23-jun-16	7	103	8278	2277	111.90	11.55	13.4	127
2	16-jun-15	CILINDRO # 2	23-jun-16	7	103	8332	2282	113.95	11.59	13.6	130
3	16-jun-15	CILINDRO # 3	23-jun-16	7	102	8118	2323	110.86	11.20	13.7	138
4	15-jun-15	CILINDRO # 4	22-jun-16	7	103	8085	2281	110.55	11.28	13.2	126
5	15-jun-15	CILINDRO # 5	22-jun-16	7	102	8171	2295	113.04	11.28	13.5	138
6	18-jun-15	CILINDRO # 6	20-jun-16	14	100	7854	2339	121.05	12.44	15.5	158
7	15-jun-15	CILINDRO # 7	20-jun-16	14	101	8012	2359	120.47	12.29	15.0	153
8	15-jun-15	CILINDRO # 8	20-jun-16	14	101	7959	2325	127.91	13.04	16.1	164
9	15-jun-15	CILINDRO # 9	20-jun-16	14	102	8118	2227	127.54	13.01	15.7	160
10	16-jun-15	CILINDRO # 10	20-jun-16	14	102	8325	2321	122.37	13.50	16.1	164
11	10-jun-15	CILINDRO # 11	14-jul-16	28	100	7505	2373	182.18	18.51	20.6	209

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido turnados de los muestras y es responsabilidad del cliente.

INÉS MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO



C17-002-T

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andahuza / Edif. Ing. Civil, Mezanina, Ofic. M15 email: laboratoriocivil@epn.edu.ec / Telf.: (02) 2975 300 ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 5 de Enero de 2017

17.0014

Hoja N° de 16

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
 Atención: ***
 Dirección: ***
 PROYECTO: TESIS DE GRADO
 CONTRATISTA: ***
 FISCALIZADOR: ***
 PARÁMETRO: PH = 5
 NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACION	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPES. (kg/m ³)	GA/IGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(TON)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	16-jun-16	CILINDRO # 12	14-jul-16	28	101	7809	2331	167.65	17.10	21.1	219
2	16-jun-16	CILINDRO # 13	14-jul-16	28	101	8046	2203	156.40	15.46	19.7	206
3	16-jun-16	CILINDRO # 14	14-jul-16	28	100	7906	2348	166.60	17.02	21.1	215
4	16-jun-16	CILINDRO # 15	14-jul-16	28	101	8095	2264	163.25	16.55	20.2	206
5	16-jun-16	CILINDRO # 16	11-ago-16	56	101	8065	2329	180.54	18.41	22.4	228
6	16-jun-16	CILINDRO # 17	11-ago-16	56	101	8012	2315	207.45	21.15	25.9	264
7	16-jun-16	CILINDRO # 18	11-ago-16	56	101	8005	2300	172.83	17.63	21.4	219
8	16-jun-16	CILINDRO # 19	11-ago-16	56	102	8116	2348	195.05	17.14	20.7	211
9	16-jun-16	CILINDRO # 20	11-ago-16	56	100	7906	2380	196.80	20.02	24.8	254
10	16-jun-16	CILINDRO # 21	11-ago-16	56	101	7968	2326	208.91	21.30	26.2	268
11	16-jun-16	CILINDRO # 22	11-ago-16	56	102	8116	2319	183.17	18.67	22.6	230
12	16-jun-16	CILINDRO # 23	11-ago-16	56	102	8226	2226	197.50	20.14	24.0	245
13	16-jun-16	CILINDRO # 24	11-ago-16	56	101	7665	2376	172.40	17.60	21.7	221

Observación: La procedencia y fechas de la rotación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.

INO MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO



C17-005-T

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezzanina, Ofic. M15 email: laboratorio@epn@yahoo.com / Telf.: (02) 2976 300 ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 5 de Enero de 2017

17-0014
Hojas 02 de 10

SOLICITA: BILLY CAGUA Y DAVID NATES
Asociación: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
PARÁMETRO: PH = 6
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/cm ²)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(kg/cm ²)
1	17-jun-16	CILINDRO # 1	24-jun-16	7	102	8118	2316	128.66	12.92	15.6	159
2	17-jun-16	CILINDRO # 2	24-jun-16	7	101	8065	2320	128.40	12.90	15.7	160
3	17-jun-16	CILINDRO # 3	24-jun-16	7	100	7908	2332	121.09	12.35	15.3	158
4	17-jun-16	CILINDRO # 4	24-jun-16	7	100	7802	2367	104.10	10.62	13.3	138
5	17-jun-16	CILINDRO # 5	24-jun-16	7	100	7802	2380	110.11	11.23	14.1	144
6	17-jun-16	CILINDRO # 6	01-jul-16	14	102	8225	2279	156.73	16.06	19.1	194
7	17-jun-16	CILINDRO # 7	01-jul-16	14	102	8225	2382	143.31	14.31	17.1	174
8	17-jun-16	CILINDRO # 8	01-jul-16	14	103	8278	2175	154.42	16.75	18.7	190
9	17-jun-16	CILINDRO # 9	01-jul-16	14	102	8118	2113	143.14	14.60	17.8	180
10	17-jun-16	CILINDRO # 10	01-jul-16	14	102	8118	2289	147.74	15.07	18.2	188
11	17-jun-16	CILINDRO # 11	15-jul-16	28	100	7802	2383	168.26	17.16	21.5	220
12	17-jun-16	CILINDRO # 12	15-jul-16	28	100	7900	2378	182.73	18.63	23.1	238

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las pruebas y de responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO



017-025-T

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezzanine, Ofic. M15 email: laboratorio@iepn@yahoo.com / Telf.: (02) 2976 300 ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 6 de Enero de 2017

17-0014
Hoja 10 de 16

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
PARAMETRO: PH - 6
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/cm ²)	CARGA		RESISTENCIA	
								(kN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	17-jun-16	CILINDRO # 13	15-jun-16	28	102	8171	2322	104.03	19.70	23.7	242
2	17-jun-16	CILINDRO # 14	15-jun-16	28	101	8085	2378	168.38	19.21	23.4	238
3	17-jun-16	CILINDRO # 15	15-jun-16	28	100	7006	2362	181.52	18.51	23.0	234
4	17-jun-16	CILINDRO # 16	15-jun-16	28	101	7669	2318	187.57	19.13	22.6	230
5	17-jun-16	CILINDRO # 17	12-ago-16	58	102	8225	2333	210.35	22.27	26.8	271
6	17-jun-16	CILINDRO # 18	12-ago-16	58	101	8012	2318	198.15	18.90	23.2	237
7	17-jun-16	CILINDRO # 19	12-ago-16	58	101	8085	2380	222.17	22.66	27.8	281
8	17-jun-16	CILINDRO # 20	12-ago-16	58	100	7006	2340	134.47	19.83	24.0	251
9	17-jun-16	CILINDRO # 21	12-ago-16	58	100	7892	2377	219.05	22.24	28.1	285
10	17-jun-16	CILINDRO # 22	12-ago-16	58	101	7669	2378	213.51	21.77	26.8	274
11	17-jun-16	CILINDRO # 23	12-ago-16	58	100	7006	2361	200.72	21.28	26.4	269

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO



C17-005-T

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezanina, Ofic. M15 email: laboratoriovlepn@yahoo.com / Telf.: (02) 2976 300 ext.: 1639



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 5 de Enero de 2017

17-0014

Hoja 11 de 16

SOLICITA: BRIAN CACIJA Y DAVID MATES
 Atención: ***
 Dirección: ***
 PROYECTO: TESIS DE GRADO
 CONTRATISTA: ***
 FISCALIZADOR: ***
 PARÁMETRO: NOS = 22,7 MG/LITRO
 NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPES. (kg/cm ²)	CARGA		RESISTENCIA	
								(Kg)	(Ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	21-jun-16	CILINDRO #1	26-jun-16	7	100	7906	2327	108.48	11.06	13.7	140
2	21-jun-16	CILINDRO #2	26-jun-16	7	101	8005	2327	127.42	12.98	16.8	161
3	21-jun-16	CILINDRO #3	28-jun-16	7	100	7906	2324	107.63	10.96	13.6	139
4	21-jun-16	CILINDRO #4	28-jun-16	7	101	8005	2342	122.80	12.52	15.2	155
5	21-jun-16	CILINDRO #5	28-jun-16	7	100	7854	2369	108.30	11.04	13.8	141
6	21-jun-16	CILINDRO #6	05-jul-16	14	101	8012	2365	127.23	13.06	17.1	175
7	21-jun-16	CILINDRO #7	05-jul-16	14	100	7900	2360	126.28	13.08	16.2	166
8	21-jun-16	CILINDRO #8	05-jul-16	14	100	7854	2352	130.75	14.12	17.7	180
9	21-jun-16	CILINDRO #9	05-jul-16	14	101	8006	2204	132.03	13.56	16.9	168
10	21-jun-16	CILINDRO #10	05-jul-16	14	102	8228	2369	126.48	12.98	15.0	150
11	21-jun-16	CILINDRO #11	06-jul-16	14	102	8225	2316	127.46	13.00	15.6	158
12	21-jun-16	CILINDRO #12	19-jul-16	28	102	8171	2326	152.43	15.54	18.7	180

OBSERVACIÓN: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLALOBOS
 JEFE DEL LABORATORIO



C17-005-T

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezzanine, Ofic. M15 email: laboratoriocivilscn@yahoo.com / Telf.: (02) 2976 300 ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 5 de Enero de 2017

17-0014
Hoja 12 de 16

SOLICITA: BRIAN CACUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
PARAMETRO: NCG - 22,7 MG/LITRO
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/cm ²)	CARGA		RESISTENCIA	
								(Kg)	(ton)	(MPa)	(kg/cm ²)
1	21-jun-16	CILINDRO # 13	19-jul-16	28	102	8118	2382	172.14	17.56	21.2	216
2	21-jun-16	CILINDRO # 14	19-jul-16	28	100	7802	2389	159.31	16.25	20.4	208
3	21-jun-16	CILINDRO # 15	19-jul-16	28	101	8012	2369	180.94	18.46	22.6	230
4	21-jun-16	CILINDRO # 16	19-jul-16	28	100	7906	2360	181.63	18.51	23.0	234
5	21-jun-16	CILINDRO # 17	19-jul-16	28	101	7960	2326	179.96	18.36	22.6	231
6	21-jun-16	CILINDRO # 18	19-jul-16	28	100	7906	2327	178.27	18.19	22.6	230
7	21-jun-16	CILINDRO # 19	16-ago-16	56	101	8065	2381	211.31	21.56	26.2	267
8	21-jun-16	CILINDRO # 20	16-ago-16	56	101	8012	2323	201.99	20.60	25.2	257
9	21-jun-16	CILINDRO # 21	16-ago-16	56	100	7906	2349	209.49	21.26	26.6	270
10	21-jun-16	CILINDRO # 22	16-ago-16	56	101	7959	2377	220.99	22.54	27.8	283
11	21-jun-16	CILINDRO # 23	16-ago-16	56	101	8065	2346	217.29	22.16	26.9	275
12	21-jun-16	CILINDRO # 24	16-ago-16	56	101	7959	2331	211.95	21.61	26.6	272

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de los moldes y es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES V. LACIS
 JEFE DEL LABORATORIO



017-005-T

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezzanine, Ofic. M15 email: laboratoriocivil@epn@yahoo.com / Telf.: (02) 2976 300 ext. 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Cuzco, 5 de Enero de 2017

17-0014
Hoja 13 de 15

SOLICITA: BRIAN LAGUA Y DAVID RATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
PARÁMETRO: NOS = 40,4 MG/LITRO
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPES. (kg/cm ²)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	22-jun-16	CILINDRO # 1	29-jun-16	7	102	8118	2359	110.78	11.29	13.8	139
2	22-jun-16	CILINDRO # 2	29-jun-16	7	101	7509	2328	112.03	11.42	14.1	144
3	22-jun-16	CILINDRO # 3	29-jun-16	7	102	8171	2339	121.77	12.42	14.9	152
4	22-jun-16	CILINDRO # 4	29-jun-16	7	102	8225	2337	109.34	11.15	13.3	136
5	22-jun-16	CILINDRO # 5	29-jun-16	7	102	8118	2343	112.40	11.45	13.8	141
6	22-jun-16	CILINDRO # 6	08-jul-16	14	102	8118	2334	124.22	12.69	19.5	198
7	22-jun-16	CILINDRO # 7	08-jul-16	14	102	8225	2313	150.23	13.23	15.8	161
8	22-jun-16	CILINDRO # 8	08-jul-16	14	101	8012	2323	128.05	13.06	15.0	153
9	22-jun-16	CILINDRO # 9	08-jul-16	14	104	8485	2298	152.94	15.56	18.0	184
10	22-jun-16	CILINDRO # 10	08-jul-16	14	101	8012	2332	157.63	16.08	19.7	201
11	22-jun-16	CILINDRO # 11	20-jul-16	23	102	8118	2339	165.80	16.97	24.1	246
12	22-jun-16	CILINDRO # 12	20-jul-16	23	101	8095	2353	169.99	16.42	20.0	204

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de los muestros y es responsabilidad del cliente.

INO MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO



C17-001-T

Dirección: Ledón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezanina, Ofic. M15 email: laboratorio@vecon@yahoo.com / Telf.: (02) 2978 300 ext.: 1509



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 5 de Enero de 2017

17-0014
Hoja 14 de 19

SOLICITA: BRIAN CACUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
PARAMETRO: N03 = 40,4 MG/LITRO
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/cm ²)	CARGA		RESISTENCIA	
								(Kd)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	22-jun-16	CILINDRO # 12	20-jul-16	28	109	7699	2386	185.69	18.94	23.5	239
2	22-jun-16	CILINDRO # 14	20-jul-16	28	102	8171	2317	173.88	17.74	21.3	217
3	22-jun-16	CILINDRO # 15	20-jul-16	28	102	8171	2311	180.28	18.33	22.1	225
4	22-jun-16	CILINDRO # 16	20-jul-16	28	101	8065	2352	190.02	19.38	23.0	240
5	22-jun-16	CILINDRO # 17	20-jul-16	28	101	7853	2378	163.30	17.28	21.3	217
6	22-jun-16	CILINDRO # 18	17-ago-16	56	101	7853	2347	192.48	19.83	24.2	247
7	22-jun-16	CILINDRO # 19	17-ago-16	56	101	8085	2350	198.72	20.06	24.4	249
8	22-jun-16	CILINDRO # 20	17-ago-16	56	100	7908	2396	200.66	20.48	26.4	260
9	22-jun-16	CILINDRO # 21	17-ago-16	56	102	8112	2304	108.31	17.27	20.9	213
10	22-jun-16	CILINDRO # 22	17-ago-16	56	101	8085	2317	210.22	21.44	26.1	266
11	22-jun-16	CILINDRO # 23	17-ago-16	56	101	8012	2317	194.88	19.87	24.3	248
12	22-jun-16	CILINDRO # 24	17-ago-16	56	101	7853	2352	212.68	21.43	26.5	270
13	22-jun-16	CILINDRO # 25	17-ago-16	56	102	8118	2314	196.70	20.07	21.2	217

Observación: La procedencia y fechas de fabricación son sólo tomadas de las muestras de los cilindros de este.


 ING. MERCEDES VILACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO



C17-005-T

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mazanico, Ofic. M15 email: laboratorio@epn.edu.ec / Telf.: (02) 2976.300 ext.: 1606



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Quito, 5 de Enero de 2017

17-0014
Hoja 15 de 15

SOLICITA: IRIBIAN CASTAÑO Y DAVID NANTES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
PARÁMETRO: NO3 = 13,3 NG/LITRO
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

Nº.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/cm ²)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(kgf/cm ²)
1	23-jun-16	CILINDRO # 1	30-jun-16	7	100	7909	2334	115.87	11.82	14.7	149
2	23-jun-16	CILINDRO # 2	30-jun-16	7	101	7950	2335	120.25	12.26	15.1	154
3	23-jun-16	CILINDRO # 3	30-jun-16	7	101	8012	2327	152.35	15.50	16.5	168
4	23-jun-16	CILINDRO # 4	30-jun-16	7	101	8065	2326	77.00	7.95	9.7	99
5	23-jun-16	CILINDRO # 5	30-jun-16	7	101	8065	2340	117.60	12.02	14.6	149
6	23-jun-16	CILINDRO # 6	07-jul-16	14	101	8065	2350	160.83	16.41	20.0	203
7	23-jun-16	CILINDRO # 7	07-jul-16	14	102	8118	2328	166.84	16.91	20.4	208
8	23-jun-16	CILINDRO # 8	07-jul-16	14	102	8118	2319	97.00	9.90	12.1	123
9	23-jun-16	CILINDRO # 9	07-jul-16	14	101	8012	2355	155.65	15.87	19.4	198
10	23-jun-16	CILINDRO # 10	07-jul-16	14	100	7909	2350	164.98	16.80	19.6	200
11	23-jun-16	CILINDRO # 11	21-jul-16	28	102	8118	2334	175.51	17.90	21.6	220
12	23-jun-16	CILINDRO # 12	21-jul-16	28	101	7950	2343	164.74	16.84	21.2	217

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO



C17-005-T

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezanina, Ofic. M15 email: laboratoriocivil@epn@yahoo.com / Telf.: (02) 2976 300 ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN


Cuito, 5 de Enero de 2017

17-0014
Hoja 10 de 16

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
Atención: ***
Dirección: ***
PROYECTO: TESIS DE GRADO
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
PARÁMETRO: N03 = 15,3 MG/LITRO
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA CURTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(kg/cm ²)
1	23-jun-16	CILINDRO # 13	21-jun-16	28	100	7884	2381	162.88	19.66	24.5	260
2	23-jun-16	CILINDRO # 14	21-jun-16	28	101	8065	2360	167.96	17.13	20.8	212
3	23-jun-16	CILINDRO # 15	21-jun-16	28	100	7900	2302	175.17	17.00	22.2	229
4	23-jun-16	CILINDRO # 16	21-jun-16	28	102	8171	2512	160.22	18.38	22.1	229
5	23-jun-16	CILINDRO # 17	21-jun-16	28	101	8065	2207	151.20	15.44	16.6	191
6	23-jun-16	CILINDRO # 18	18-ago-16	56	101	8065	2338	209.43	21.36	26.0	269
7	23-jun-16	CILINDRO # 19	18-ago-16	56	102	8273	2347	222.89	23.76	28.1	297
8	23-jun-16	CILINDRO # 20	18-ago-16	56	101	8065	2403	205.43	20.92	25.5	260
9	23-jun-16	CILINDRO # 21	18-ago-16	56	102	8225	2299	223.89	23.84	27.2	279
10	23-jun-16	CILINDRO # 22	18-ago-16	56	102	8171	2324	178.28	18.16	21.6	222
11	23-jun-16	CILINDRO # 23	18-ago-16	56	102	8110	2542	117.80	12.02	14.5	148

Observación: La procedencia y fecha de fabricación han sido inspeccionados por nosotros y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLALOBOS
 JEFE DEL LABORATORIO



C17-006-T

Dirección: Ladón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mecánica, C6c, M15 email: laboratorio@lepn@yahoo.com / Telf.: (02) 2976 300 ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

FLEXIÓN EN HORMIGÓN

INF. No. 17-0011
Hoja 1 de 8

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ***
CONTRATISTA: ***
NORMA: ASTM C 293/C293M - 16
PARÁMETRO: AGUA POTABLE

No.	FECHA FABRICA	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD (días)	CARGA (Kg)	ESFUERZO A FLEXION (Kg/cm ²)
1	13-jun-16	VIGA #1	20-jun-16	7	1140.00	47.7
2	13-jun-16	VIGA #2	20-jun-16	7	570.00	42.5
3	13-jun-16	VIGA #3	20-jun-16	7	1049.00	45.5
4	13-jun-16	VIGA #4	20-jun-16	7	840.00	37.2
5	13-jun-16	VIGA #5	20-jun-16	7	570.00	42.9
6	13-jun-16	VIGA #6	27-jun-16	14	1300.00	53.7
7	13-jun-16	VIGA #7	27-jun-16	14	1260.00	55.3
8	13-jun-16	VIGA #8	27-jun-16	14	1080.00	46.7
9	13-jun-16	VIGA #9	27-jun-16	14	1110.00	48.7
10	13-jun-16	VIGA #10	27-jun-16	14	1290.00	54.3
11	13-jun-16	VIGA #11	11-jul-16	28	1383.00	61.6
12	13-jun-16	VIGA #12	11-jul-16	28	1406.00	65.8
13	13-jun-16	VIGA #13	11-jul-16	28	1158.00	50.9
14	13-jun-16	VIGA #14	11-jul-16	28	1408.00	64.6
15	13-jun-16	VIGA #15	11-jul-16	28	1449.00	59.9
16	13-jun-16	VIGA #16	08-ago-16	56	1718.00	73.4
17	13-jun-16	VIGA #17	08-ago-16	56	1577.00	73.8
18	13-jun-16	VIGA #18	08-ago-16	56	1538.00	69.7
19	13-jun-16	VIGA #19	08-ago-16	56	1397.00	62.3
20	13-jun-16	VIGA #20	08-ago-16	56	1555.00	81.2

OBSERVACIONES : La procedencia así como las fechas de fabricación fueron proporcionadas por los solicitantes. El parámetro se refiere a tipo de agua utilizado en la mezcla del hormigón y se lo incluyó en el informe a petición de los solicitantes.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



FLEXV1417-001-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

FLEXIÓN EN HORMIGÓN

INF No. 17-0011
Hoja 2 de 8

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ***
CONTRATISTA: ***
NORMA: ASTM C 293/C293M - 16
PARÁMETRO: pH 8,5

No.	FECHA FABRICA	DESCRIPCION	FECHA	EDAD	CARGA (Kg)	ESFUERZO A FLEXION (Kg/cm ²)
			ROTURA	(días)		
1	14-jun-16	VIGA #1	21-jun-16	7	850	34,9
2	14-jun-16	VIGA #2	21-jun-16	7	730	33,8
3	14-jun-16	VIGA #3	21-jun-16	7	850	42,8
4	14-jun-16	VIGA #4	21-jun-16	7	920	39,6
5	14-jun-16	VIGA #5	21-jun-16	7	840	38,0
6	14-jun-16	VIGA #6	28-jun-16	14	1174	51,4
7	14-jun-16	VIGA #7	28-jun-16	14	1172	51,8
8	14-jun-16	VIGA #8	28-jun-16	14	1180	51,9
9	14-jun-16	VIGA #9	28-jun-16	14	1102	48,6
10	14-jun-16	VIGA #10	28-jun-16	14	1104	51,2
11	14-jun-16	VIGA #11	12-jul-16	28	1206	53,7
12	14-jun-16	VIGA #12	12-jul-16	28	1179	51,2
13	14-jun-16	VIGA #13	12-jul-16	28	1406	52,2
14	14-jun-16	VIGA #14	12-jul-16	28	1429	64,3
15	14-jun-16	VIGA #15	09-ago-16	56	1663	71,0
16	14-jun-16	VIGA #16	09-ago-16	56	1568	71,4
17	14-jun-16	VIGA #17	09-ago-16	56	1623	73,4
18	14-jun-16	VIGA #18	09-ago-16	56	1659	73,1

OBSERVACIONES : La procedencia así como las fechas de fabricación fueron proporcionadas por los solicitantes. El parámetro se refiere al tipo de agua utilizado en la mezcla del hormigón y se lo incluyó en el informe a petición de los solicitantes.

ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



FLEXVIG17-001-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

FLEXIÓN EN HORMIGÓN

INF. No. 17-0011
Hoja 3 de 8

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ""
CONTRATISTA: ""
NORMA: ASTM C 293/C293M - 16
PARÁMETRO: pH 10

No.	FECHA FABRICA	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD (días)	CARGA (Kg)	ESFUERZO A FLEXION (Kg/cm2)
1	15-jun-16	VIGA #1	22-jun-16	7	909.00	40.1
2	15-jun-16	VIGA #2	22-jun-16	7	902.00	37.7
3	15-jun-16	VIGA #3	22-jun-16	7	910.00	39.2
4	15-jun-16	VIGA #4	22-jun-16	7	935.00	41.4
5	15-jun-16	VIGA #5	22-jun-16	7	906.00	42.9
6	15-jun-16	VIGA #6	29-jun-16	14	1181.00	52.1
7	15-jun-16	VIGA #7	29-jun-16	14	1253.00	54.5
8	15-jun-16	VIGA #8	29-jun-16	14	1065.00	48.9
9	15-jun-16	VIGA #9	29-jun-16	14	1330.00	59.6
10	15-jun-16	VIGA #10	29-jun-16	14	1212.00	53.0
11	15-jun-16	VIGA #11	13-jul-16	28	1296.00	59.7
12	15-jun-16	VIGA #12	13-jul-16	28	1432.00	62.2
13	15-jun-16	VIGA #13	13-jul-16	28	1524.00	66.3
14	15-jun-16	VIGA #14	13-jul-16	28	1665.00	75.0
15	15-jun-16	VIGA #15	13-jul-16	28	1456.00	65.5
16	15-jun-16	VIGA #16	10-ago-16	56	1762.00	72.9
17	15-jun-16	VIGA #17	10-ago-16	56	1608.00	71.8
18	15-jun-16	VIGA #18	10-ago-16	56	1613.00	78.0
19	15-jun-16	VIGA #19	10-ago-16	56	1632.00	71.6
20	15-jun-16	VIGA #20	10-ago-16	56	1590.00	69.2
21	15-jun-16	VIGA #21	10-ago-16	56	1596.00	71.9

OBSERVACIONES : La procedencia así como las fechas de fabricación fueron proporcionadas por los solicitantes. El parámetro se refiere al tipo de agua utilizada en la mezcla del hormigón y se lo incluyó en el informe a petición de los solicitantes.

ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



FLEXVIG17-001-7



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

FLEXIÓN EN HORMIGÓN

INF. No: 17-0011
Hoja 4 de 8

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ---
CONTRATISTA: ---
NORMA: ASTM C 293/C293M - 16
PARÁMETRO: pH 5

No.	FECHA FABRICA	DESCRIPCION	FECHA	EDAD	CARGA	ESFUERZO A FLEXION
			ROTURA	(días)	(Kg)	(Kg/cm ²)
1	18-jun-16	VIGA #1	23-jun-16	7	890	41.2
2	18-jun-16	VIGA #2	23-jun-16	7	807	35.8
3	18-jun-16	VIGA #3	23-jun-16	7	879	35.2
4	18-jun-16	VIGA #4	23-jun-16	7	882	37.5
5	18-jun-16	VIGA #5	23-jun-16	7	801	36.7
6	18-jun-16	VIGA #6	30-jun-16	14	1153	49.9
7	18-jun-16	VIGA #7	30-jun-16	14	1149	47.9
8	18-jun-16	VIGA #8	30-jun-16	14	1107	50.3
9	18-jun-16	VIGA #9	30-jun-16	14	1123	47.7
10	18-jun-16	VIGA #10	30-jun-16	14	1121	48.7
11	18-jun-16	VIGA #11	14-jul-16	28	1335	58.6
12	18-jun-16	VIGA #12	14-jul-16	28	1276	56.9
13	18-jun-16	VIGA #13	14-jul-16	28	1301	56.1
14	18-jun-16	VIGA #14	14-jul-16	28	1326	56.4
15	18-jun-16	VIGA #15	14-jul-16	28	1400	61.1
16	18-jun-16	VIGA #16	11-ago-16	56	1729	73.3
17	18-jun-16	VIGA #17	11-ago-16	56	1591	70.5
18	18-jun-16	VIGA #18	11-ago-16	56	1724	64.5
19	18-jun-16	VIGA #19	11-ago-16	56	1475	61.7
20	18-jun-16	VIGA #20	11-ago-16	56	1655	69.0
21	18-jun-16	VIGA #21	11-ago-16	56	1662	69.3

OBSERVACIONES : La procedencia así como las fechas de fabricación fueron proporcionadas por los solicitantes. El parámetro se refiere al tipo de agua utilizado en la mezcla del hormigón y se lo incluyó en el informe a petición de los solicitantes.

ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



FLEXVIG17-001-1



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

FLEXIÓN EN HORMIGÓN

INF. No. 17-0011
Hoja 5 de 8

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ***
CONTRATISTA: ***
NORMA: ASTM C 293/C293M - 16
PARAMETRO: pH 6

No.	FECHA FABRICA	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD (días)	CARGA (Kg)	ESFUERZO A FLEXION (Kg/cm2)
1	17-jun-16	VIGA #1	24-jun-16	7	1020	45.5
2	17-jun-16	VIGA #2	24-jun-16	7	880	39.8
3	17-jun-16	VIGA #3	24-jun-16	7	920	41.8
4	17-jun-16	VIGA #4	24-jun-16	7	870	37.1
5	17-jun-16	VIGA #5	24-jun-16	7	880	39.5
6	17-jun-16	VIGA #6	01-jul-16	14	1173	61.0
7	17-jun-16	VIGA #7	01-jul-16	14	1188	60.4
8	17-jun-16	VIGA #8	01-jul-16	14	1248	64.1
9	17-jun-16	VIGA #9	01-jul-16	14	1085	49.1
10	17-jun-16	VIGA #10	01-jul-16	14	1085	44.4
11	17-jun-16	VIGA #11	15-jul-16	28	1443	60.5
12	17-jun-16	VIGA #12	15-jul-16	28	1336	62.1
13	17-jun-16	VIGA #13	15-jul-16	28	1396	57.2
14	17-jun-16	VIGA #14	15-jul-16	28	1512	61.8
15	17-jun-16	VIGA #15	15-jul-16	28	1477	63.6
16	17-jun-16	VIGA #16	12-ago-16	56	1503	67.7
17	17-jun-16	VIGA #17	12-ago-16	56	1501	71.0
18	17-jun-16	VIGA #18	12-ago-16	56	1598	75.9
19	17-jun-16	VIGA #19	12-ago-16	56	1533	69.0
20	17-jun-16	VIGA #20	12-ago-16	56	1541	75.8
21	17-jun-16	VIGA #21	12-ago-16	56	1539	70.6

OBSERVACIONES : La procedencia así como las fechas de fabricación fueron proporcionadas por los solicitantes. El parámetro se refiere al tipo de agua utilizado en la mezcla del hormigón y se lo incluyó en el informe a petición de los solicitantes.


 ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



FLEXVIG17-001-1



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

FLEXIÓN EN HORMIGÓN

INF. No. 17-0011
Hoja 6 de 8

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ***
CONTRATISTA: ***
NORMA: ASTM C 293/C293M - 16
PARÁMETRO: NO3 22,7 mg/l

No.	FECHA FABRICA	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD (días)	CARGA (Kg)	ESFUERZO A FLEXION (Kg/cm2)
1	21-jun-16	VIGA #1	28-jun-16	7	888	39,7
2	21-jun-16	VIGA #2	28-jun-16	7	923	43,6
3	21-jun-16	VIGA #3	28-jun-16	7	945	42,7
4	21-jun-16	VIGA #4	28-jun-16	7	767	33,0
5	21-jun-16	VIGA #5	28-jun-16	7	868	37,8
6	21-jun-16	VIGA #6	05-jul-16	14	1092	48,9
7	21-jun-16	VIGA #7	05-jul-16	14	1053	43,8
8	21-jun-16	VIGA #8	05-jul-16	14	1212	52,1
9	21-jun-16	VIGA #9	05-jul-16	14	1059	47,5
10	21-jun-16	VIGA #10	05-jul-16	14	1150	47,3
11	21-jun-16	VIGA #11	19-jul-16	28	1268	54,5
12	21-jun-16	VIGA #12	19-jul-16	28	1116	49,1
13	21-jun-16	VIGA #13	19-jul-16	28	1258	58,5
14	21-jun-16	VIGA #14	19-jul-16	28	1249	55,3
15	21-jun-16	VIGA #15	19-jul-16	28	1381	62,0
16	21-jun-16	VIGA #16	16-ago-16	56	1590	70,6
17	21-jun-16	VIGA #17	16-ago-16	56	1523	69,5
18	21-jun-16	VIGA #18	16-ago-16	56	1572	63,9
19	21-jun-16	VIGA #19	16-ago-16	56	1514	72,2
20	21-jun-16	VIGA #20	16-ago-16	56	1532	68,5
21	21-jun-16	VIGA #21	16-ago-16	56	1453	66,0

OBSERVACIONES : La procedencia así como las fechas de fabricación fueron proporcionadas por los solicitantes. El parámetro se refiere al tipo de agua utilizado en la mezcla del hormigón y se lo incluyó en el Informe a petición de los solicitantes.

ING. MERCEDES VILACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



FLEXVIG17-001-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

FLEXIÓN EN HORMIGÓN

INF. No. 17-0011
Hoja 7 de 8

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN GAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ***
CONTRATISTA: ***
NORMA: ASTM C 293/C293M - 16
PARÁMETRO: NO3 40.4 mg/l

No.	FECHA FABRICA	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD (dias)	CARGA (Kg)	ESFUERZO A FLEXION (Kg/cm2)
1	22-jun-16	VIGA #1	29-jun-16	7	661	34.2
2	22-jun-16	VIGA #2	29-jun-16	7	610	40.0
3	22-jun-16	VIGA #3	29-jun-16	7	696	40.0
4	22-jun-16	VIGA #4	29-jun-16	7	602	40.1
5	22-jun-16	VIGA #5	29-jun-16	7	613	37.0
6	22-jun-16	VIGA #6	06-jul-16	14	1035	44.7
7	22-jun-16	VIGA #7	06-jul-16	14	1036	46.7
8	22-jun-16	VIGA #8	06-jul-16	14	916	42.4
9	22-jun-16	VIGA #9	06-jul-16	14	986	43.7
10	22-jun-16	VIGA #10	06-jul-16	14	1043	43.9
11	22-jun-16	VIGA #11	20-jul-16	28	1143	51.4
12	22-jun-16	VIGA #12	20-jul-16	28	1262	54.8
13	22-jun-16	VIGA #13	20-jul-16	28	1175	51.1
14	22-jun-16	VIGA #14	20-jul-16	28	1228	52.4
15	22-jun-16	VIGA #15	20-jul-16	28	1143	49.7
16	22-jun-16	VIGA #16	17-ago-16	56	1250	58.7
17	22-jun-16	VIGA #17	17-ago-16	56	1340	59.2
18	22-jun-16	VIGA #18	17-ago-16	56	1579	70.0
19	22-jun-16	VIGA #19	17-ago-16	56	1420	63.0
20	22-jun-16	VIGA #20	17-ago-16	56	1430	63.0
21	22-jun-16	VIGA #21	17 ago 16	55	1300	56.8

OBSERVACIONES : La procedencia así como las fechas de fabricación fueron proporcionadas por los solicitantes. El parámetro se refiere al tipo de agua utilizado en la mezcla del hormigón y se lo incluyó en el informe a petición de los solicitantes.

ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DE LABORATORIO



FL-XVIG17-001-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

FLEXIÓN EN HORMIGÓN


INF. No. 17 C011
Hoja 5 de 8

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ***
CONTRATISTA: ***
NORMA: ASTM C 293/C293M - 16
PARÁMETRO: NQ3 13,3 mg/l

No.	FECHA FABRICA	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD (días)	CARGA (Kg)	ESFUERZO A FLEXION (Kg/cm ²)
1	23-jun-16	VIGA #1	30-jun-16	7	1010	42.7
2	23-jun-16	VIGA #2	30-jun-16	7	966	40.3
3	23-jun-16	VIGA #3	30-jun-16	7	964	42.9
4	23-jun-16	VIGA #4	30-jun-16	7	897	40.2
5	23-jun-16	VIGA #5	30-jun-16	7	975	43.8
6	23-jun-16	VIGA #6	07-jul-16	14	1216	54.1
7	23-jun-16	VIGA #7	07-jul-16	14	1098	51.1
8	23-jun-16	VIGA #8	07-jul-16	14	1149	51.6
9	23-jun-16	VIGA #9	07-jul-16	14	1175	52.0
10	23-jun-16	VIGA #10	07-jul-16	14	1196	52.6
11	23-jun-16	VIGA #11	21-jul-16	28	1472	64.5
12	23-jun-16	VIGA #12	21-jul-16	28	1419	63.9
13	23-jun-16	VIGA #13	21-jul-16	28	1328	60.9
14	23-jun-16	VIGA #14	21-jul-16	28	1359	61.3
15	23-jun-16	VIGA #15	21-jul-16	28	1423	62.2
16	23-jun-16	VIGA #16	16-ago-16	56	1637	71.2
17	23-jun-16	VIGA #17	16-ago-16	56	1738	75.8
18	23-jun-16	VIGA #18	16-ago-16	56	1593	66.1
19	23-jun-16	VIGA #19	16-ago-16	56	1579	68.5
20	23-jun-16	VIGA #20	16-ago-16	56	1609	71.9
21	23-jun-16	VIGA #21	16-ago-16	56	1510	67.0

OBSERVACIONES : La procedencia así como las fechas de fabricación fueron proporcionadas por los solicitantes. El parámetro se refiere al tipo de agua utilizado en la mezcla del hormigón y se lo incluyó en el informe a petición de los solicitantes.


 ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



FLEXVIG17-001-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

RIF No. 17 2013
Hoja 1 de 8

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ""
CONTRATISTA: ""
NORMA: ASTM C 456/496M - 11
PARÁMETRO: AGUA POTABLE

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD [Días]	D [mm]	H [mm]	P. ESPEC. [Kg/m ³]	CARGA		Resistencia	
								[kN]	[T]	[Mpa]	[Kg/cm ²]
1	13/06/2016	CILINDRO # 1	20/08/2016	7	101	202	2382	51.14	5.22	1.58	16.2
2	13/06/2016	CILINDRO # 2	20/08/2016	7	101	203	2367	43.98	4.48	1.36	13.8
3	13/06/2016	CILINDRO # 3	20/08/2016	7	101	203	2343	53.45	5.45	1.65	16.8
4	13/06/2016	CILINDRO # 4	20/08/2016	7	101	202	2355	55.22	5.63	1.72	17.6
5	13/06/2016	CILINDRO # 5	20/08/2016	7	101	203	2365	45.55	4.62	1.41	14.4
6	13/06/2016	CILINDRO # 6	27/08/2016	14	102	204	2318	67.91	6.93	2.07	21.1
7	13/06/2016	CILINDRO # 7	27/08/2016	14	102	203	2315	71.88	7.33	2.21	22.6
8	13/06/2016	CILINDRO # 8	27/08/2016	14	104	204	2216	64.47	6.67	1.92	19.6
9	13/06/2016	CILINDRO # 9	27/08/2016	14	108	204	2195	72.71	7.41	2.17	22.1
10	13/06/2016	CILINDRO # 10	27/08/2016	14	104	203	2247	55.75	5.69	1.69	17.2
11	13/06/2016	CILINDRO # 11	11/07/2016	28	102	203	2309	81.68	8.35	2.51	25.6
12	13/06/2016	CILINDRO # 12	11/07/2016	28	102	204	2309	79.54	8.11	2.43	24.8
13	13/06/2016	CILINDRO # 13	11/07/2016	28	101	205	2548	71.39	7.28	2.16	22.3
14	13/06/2016	CILINDRO # 14	11/07/2016	28	106	204	2404	82.99	8.37	2.53	26.0
15	13/06/2016	CILINDRO # 15	11/07/2016	28	102	201	2282	87.67	8.94	2.72	27.7
16	13/06/2016	CILINDRO # 16	08/08/2016	56	100	210	2228	110.31	11.25	3.21	32.8
17	13/06/2016	CILINDRO # 17	08/08/2016	56	101	204	2393	103.52	11.07	3.37	34.3
18	13/06/2016	CILINDRO # 18	08/08/2016	56	101	203	2344	112.15	11.44	3.46	35.3
19	13/06/2016	CILINDRO # 19	08/08/2016	56	102	204	2287	115.24	11.75	3.51	35.8
20	13/06/2016	CILINDRO # 20	08/08/2016	56	100	202	2412	72.67	7.41	2.28	23.3
21	13/06/2016	CILINDRO # 21	08/08/2016	56	102	202	2266	77.92	7.95	2.41	24.6
22	13/06/2016	CILINDRO # 22	08/08/2016	56	104	201	2242	106.98	10.90	3.26	33.3

Observación: La procedencia y las fechas de fabricación han sido tomadas de la muestra y es responsabilidad del cliente

ING. MERCEDES VILLACÉ
 JEFE DE LABORATORIO



TRACIND-001



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 17-2013
Hoja 2 de 8

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
F. CALIFICADOR: ***
CONTRATISTA: ***
NORMA: ASTM C 466/495M - 11
PARÁMETRO: p118.5

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD [Días]	D [mm]	H [mm]	P. ESPEC. [Kg/m ³]	CARGA		Resistencia	
								[kN]	[T]	[Mpa]	[Kg/cm ²]
1	14/06/2016	CILINDRO #1	21/06/2016	7	101	201	2301	69.69	7.13	2.18	22.3
2	14/06/2016	CILINDRO #2	21/06/2016	7	103	204	2281	69.67	6.21	1.95	16.8
3	14/06/2016	CILINDRO #3	21/06/2016	7	102	204	2305	67.22	6.88	2.06	21.0
4	14/06/2016	CILINDRO #4	21/06/2016	7	102	203	2303	52.70	5.37	1.62	16.5
5	14/06/2016	CILINDRO #5	21/06/2016	7	101	204	2323	67.63	6.92	2.09	21.3
6	14/06/2016	CILINDRO #6	26/06/2016	14	103	205	2241	77.61	7.93	2.34	23.9
7	14/06/2016	CILINDRO #7	26/06/2016	14	103	205	2240	81.33	8.29	2.44	24.9
8	14/06/2016	CILINDRO #8	26/06/2016	14	102	204	2316	80.81	8.24	2.46	25.1
9	14/06/2016	CILINDRO #9	26/06/2016	14	103	203	2255	79.83	8.14	2.43	24.8
10	14/06/2016	CILINDRO #10	26/06/2016	14	102	203	2301	66.33	6.97	2.09	21.3
11	14/06/2016	CILINDRO #11	12/07/2016	28	102	204	2330	96.61	10.06	3.01	30.7
12	14/06/2016	CILINDRO #12	12/07/2016	28	103	204	2294	83.12	8.48	2.52	25.7
13	14/06/2016	CILINDRO #13	12/07/2016	28	102	205	2315	95.41	9.73	2.92	29.7
14	14/06/2016	CILINDRO #14	12/07/2016	28	103	203	2253	85.45	8.82	2.63	26.9
15	14/06/2016	CILINDRO #15	12/07/2016	28	102	202	2289	105.65	11.18	3.37	34.4
16	14/06/2016	CILINDRO #16	09/08/2016	56	101	205	2337	112.88	12.12	3.64	37.1
17	14/06/2016	CILINDRO #17	09/08/2016	56	101	205	2340	97.34	9.93	2.99	30.4
18	14/06/2016	CILINDRO #18	09/08/2016	56	101	203	2345	112.98	11.62	3.53	35.9
19	14/06/2016	CILINDRO #19	09/08/2016	56	101	204	2337	120.15	12.25	3.71	37.8
20	14/06/2016	CILINDRO #20	09/08/2016	56	101	205	2338	76.83	7.84	2.35	24.1

Observación: La procedencia y las fechas de fabricación han sido tomadas de la muestra y es responsabilidad del cliente.

I.G. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



TRAC/IND-001



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. N°: 17-0013
Hoja 3 de 8

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NANTES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ***
CONTRATISTA: ***
NORMA: ASTM C-496/196M - 11
PARÁMETRO: pH 10

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD [Días]	D [mm]	H [mm]	P. ESPEC. [Kg/m ³]	CARGA		Resistencia	
								[kN]	[T]	[Mpa]	[Kg/cm ²]
1	15/06/2016	CILINDRO # 1	22/06/2016	7	102	203	2315	52.56	5.39	1.02	16.5
2	15/06/2016	CILINDRO # 2	22/05/2016	7	102	202	2314	51.15	6.24	1.89	19.3
3	15/06/2016	CILINDRO # 3	22/05/2016	7	103	203	2281	52.14	5.32	1.59	16.2
4	15/06/2016	CILINDRO # 4	22/05/2016	7	102	204	2313	51.50	5.25	1.58	16.1
5	15/06/2016	CILINDRO # 5	22/05/2016	7	102	202	2296	56.13	5.72	1.73	17.8
6	15/06/2016	CILINDRO # 6	29/05/2016	14	102	199	2349	38.21	6.06	2.13	21.7
7	15/06/2016	CILINDRO # 7	29/05/2016	14	102	204	2305	72.38	7.38	2.21	22.5
8	15/06/2016	CILINDRO # 8	29/05/2016	14	101	204	2342	82.28	6.35	1.92	19.3
9	15/06/2016	CILINDRO # 9	29/05/2016	14	103	203	2296	89.46	7.08	2.11	21.5
10	15/06/2016	CILINDRO # 10	29/05/2016	14	102	203	2305	78.96	8.05	2.42	24.7
11	15/06/2016	CILINDRO # 11	13/07/2016	25	101	199	2307	96.78	9.87	3.05	31.1
12	15/06/2016	CILINDRO # 12	13/07/2016	25	102	204	2307	81.27	8.79	2.45	25.3
13	15/06/2016	CILINDRO # 13	13/07/2016	25	102	205	2291	81.53	8.31	2.47	26.2
14	15/06/2016	CILINDRO # 14	13/07/2016	25	102	205	2308	85.84	8.76	2.61	26.8
15	15/06/2016	CILINDRO # 15	13/07/2016	25	100	201	2344	94.67	9.65	3.02	30.6
16	15/06/2016	CILINDRO # 16	13/07/2016	25	102	201	2312	81.78	8.34	2.54	25.9
17	15/06/2016	CILINDRO # 17	10/08/2016	56	102	203	2329	102.94	10.53	3.18	32.4
18	15/06/2016	CILINDRO # 18	10/08/2016	56	101	201	2300	102.32	10.43	3.22	32.6
19	15/06/2016	CILINDRO # 19	10/08/2016	56	100	202	2402	111.76	11.40	3.57	36.4
20	15/06/2016	CILINDRO # 20	10/08/2016	56	102	197	2327	105.59	10.07	3.39	34.5
21	15/06/2016	CILINDRO # 21	10/08/2016	56	100	202	2377	100.07	10.20	3.17	32.3
22	15/06/2016	CILINDRO # 22	10/08/2016	56	100	195	2403	118.85	11.81	3.70	37.7

Observación: La procedencia y las fechas de fabricación han sido tomadas de la muestra y es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



TRAC-IND-001



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF No: 17-0013
Hoja 4 de 8

Quito, 03 de Enero de 2017

SOLICITA: BRAYDARCA Y DAVID NATEG
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ***
CONTRATISTA: ***
NORMA: ASTM C 496/496M - 11
PARÁMETRO: pH 5

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA NOTURA	EDAD [Días]	D [mm]	H [mm]	P. ESPEC. [Kg/m ³]	CARGA		Resistencia	
								[kN]	[T]	[Mpa]	[Kg/cm ²]
1	16/06/2016	CILINDRO # 1	23/06/2016	7	102	202	2518	48.41	4.94	1.50	15.3
2	16/06/2016	CILINDRO # 2	23/06/2016	7	102	205	2525	40.54	5.05	1.52	15.5
3	16/06/2016	CILINDRO # 3	23/06/2016	7	102	205	2250	55.24	5.70	1.70	17.3
4	16/06/2016	CILINDRO # 4	23/06/2016	7	102	204	2289	49.51	5.08	1.52	15.5
5	16/06/2016	CILINDRO # 5	23/06/2016	7	102	204	2308	53.99	5.51	1.99	19.9
6	16/06/2016	CILINDRO # 6	30/06/2016	14	102	204	2297	57.59	5.90	1.77	18.0
7	16/06/2016	CILINDRO # 7	30/06/2016	14	101	202	2526	61.57	6.31	1.92	19.9
8	16/06/2016	CILINDRO # 8	30/06/2016	14	101	204	2516	62.53	6.38	1.92	19.6
9	16/06/2016	CILINDRO # 9	30/06/2016	14	101	204	2518	62.73	6.40	1.93	19.7
10	16/06/2016	CILINDRO # 10	14/07/2016	28	102	205	2293	78.66	8.02	2.39	24.4
11	16/06/2016	CILINDRO # 11	14/07/2016	28	102	203	2287	75.08	7.66	2.30	23.4
12	16/06/2016	CILINDRO # 12	14/07/2016	28	102	203	2276	72.74	7.42	2.22	22.7
13	16/06/2016	CILINDRO # 13	14/07/2016	28	103	205	2258	73.74	7.52	2.23	22.8
14	16/06/2016	CILINDRO # 14	14/07/2016	28	103	204	2241	75.45	7.69	2.28	23.3
15	16/06/2016	CILINDRO # 15	11/08/2016	56	101	203	2320	78.54	8.01	2.45	25.0
16	16/06/2016	CILINDRO # 16	11/08/2016	56	102	204	2304	81.23	8.28	2.48	25.3
17	16/06/2016	CILINDRO # 17	11/08/2016	56	102	204	2304	85.49	8.82	2.64	26.9
18	16/06/2016	CILINDRO # 18	11/08/2016	56	101	200	2328	80.31	8.10	2.54	25.9
19	16/06/2016	CILINDRO # 19	11/08/2016	56	101	201	2309	85.90	8.75	2.70	27.5
20	16/06/2016	CILINDRO # 20	11/08/2016	56	102	199	2306	91.38	9.32	2.87	29.3
21	16/06/2016	CILINDRO # 21	11/08/2016	56	101	201	2357	98.69	10.05	3.11	31.7

Observación: La procedencia y las fechas de fabricación han sido tomadas de la muestra y es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLALÓN
 JEFE DE LABORATORIO



TRAC-IND-001



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 17-0013
Hoja 5 de 8

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAJUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ***
CONTRATISTA: ***
NORMA: ASTM C 498/199M - 11
PARÁMETRO: pH 6

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD [Clas]	Ø [mm]	H [mm]	P. ESPEC. [Kg/m ³]	CARGA		Resistencia	
								[kN]	[T]	[Mpa]	[Kg/cm ²]
1	17/09/2016	CILINDRO #1	24/09/2016	7	101	203	2352	51.10	5.21	1.56	16.2
2	17/09/2016	CILINDRO #2	24/09/2016	7	101	202	2331	51.04	5.21	1.56	16.2
3	17/09/2016	CILINDRO #3	24/09/2016	7	102	203	2294	52.89	5.39	1.63	16.6
4	17/09/2016	CILINDRO #4	24/09/2016	7	102	203	2311	46.74	5.07	1.52	15.6
5	17/09/2016	CILINDRO #5	24/09/2016	7	102	203	2354	49.01	5.00	1.50	15.3
6	17/09/2016	CILINDRO #6	01/07/2016	14	103	204	2232	71.65	7.31	2.16	22.0
7	17/09/2016	CILINDRO #7	01/07/2016	14	103	203	2267	65.67	6.70	2.06	20.4
8	17/09/2016	CILINDRO #8	01/07/2016	14	103	202	2265	73.02	7.45	2.23	22.7
9	17/09/2016	CILINDRO #9	01/07/2016	14	103	204	2259	74.30	7.58	2.26	23.1
10	17/09/2016	CILINDRO #10	01/07/2016	14	102	203	2297	67.86	6.92	2.06	21.3
11	17/09/2016	CILINDRO #11	15/07/2016	28	101	203	2355	66.05	6.74	2.05	20.9
12	17/09/2016	CILINDRO #12	15/07/2016	28	102	203	2302	76.26	7.98	2.40	24.6
13	17/09/2016	CILINDRO #13	15/07/2016	28	102	202	2277	76.62	8.12	2.45	24.9
14	17/09/2016	CILINDRO #14	15/07/2016	28	101	203	2335	87.07	8.88	2.66	27.6
15	17/09/2016	CILINDRO #15	15/07/2016	28	102	203	2323	84.02	8.57	2.55	26.4
16	17/09/2016	CILINDRO #16	12/09/2016	56	103	199	2120	86.75	9.05	2.76	28.1
17	17/09/2016	CILINDRO #17	12/09/2016	56	101	199	2313	92.16	9.40	2.92	29.8
18	17/09/2016	CILINDRO #18	12/09/2016	56	101	202	2327	87.26	8.90	2.71	27.7
19	17/09/2016	CILINDRO #19	12/09/2016	56	102	200	2135	103.42	10.55	3.24	33.0
20	17/09/2016	CILINDRO #20	12/09/2016	56	102	203	2302	91.14	9.29	2.81	28.7
21	17/09/2016	CILINDRO #21	12/09/2016	56	102	202	2296	112.36	11.46	3.46	35.3
22	17/09/2016	CILINDRO #22	12/09/2016	56	101	203	2330	92.55	9.44	2.86	29.1

Observación: La procedencia y las fechas de fabricación han sido tomadas de la muestra y es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



TRACIND-001



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. N°: 17/0013
Hoja 6 de 8

Quito, 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRUNA CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ""
CONTRATISTA: ""
NORMA: ASTM C 496/496M - 11
PARÁMETRO: 13.3 mgf/NO3

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD [Días]	D [mm]	H [mm]	P. ESPEC. [Kg/m ³]	CARGA		Resistencia	
								[kN]	[T]	[Mpa]	[Kg/cm ²]
1	23/05/2016	CILINDRO # 1	30/05/2016	7	102	254	2327	53.38	5.44	1.64	16.7
2	23/05/2016	CILINDRO # 2	30/05/2016	7	101	250	2372	48.38	4.93	1.62	15.5
3	23/05/2016	CILINDRO # 3	30/05/2016	7	100	251	2345	55.32	5.64	1.75	17.8
4	23/05/2016	CILINDRO # 4	30/05/2016	7	101	201	2334	51.95	5.30	1.63	16.6
5	23/05/2016	CILINDRO # 5	30/05/2016	7	101	203	2360	57.14	5.83	1.78	18.1
6	23/05/2016	CILINDRO # 6	07/07/2016	14	103	201	2310	63.65	6.40	1.96	20.0
7	23/05/2016	CILINDRO # 7	07/07/2016	14	102	205	2319	74.80	7.63	2.28	23.2
8	23/05/2016	CILINDRO # 8	07/07/2016	14	103	201	2308	80.74	8.23	2.45	25.4
9	23/05/2016	CILINDRO # 9	07/07/2016	14	101	202	2346	69.81	7.12	2.17	22.2
10	23/05/2016	CILINDRO # 10	07/07/2016	14	102	200	2317	64.33	6.58	2.00	20.4
11	23/06/2016	CILINDRO # 11	21/07/2016	28	100	200	2376	87.68	8.95	2.78	28.4
12	23/06/2016	CILINDRO # 12	21/07/2016	28	101	201	2566	92.25	9.41	2.90	29.6
13	23/06/2016	CILINDRO # 13	21/07/2016	28	102	203	2317	91.15	9.33	2.80	28.6
14	23/06/2016	CILINDRO # 14	21/07/2016	28	102	202	2301	64.35	6.53	1.99	20.3
15	23/06/2016	CILINDRO # 15	21/07/2016	28	102	200	2326	95.75	9.73	2.90	30.5
16	23/06/2016	CILINDRO # 16	18/08/2016	56	100	200	2350	108.57	11.07	3.44	36.0
17	23/06/2016	CILINDRO # 17	18/08/2016	56	102	198	2339	108.97	11.11	3.44	35.1
18	23/06/2016	CILINDRO # 18	18/08/2016	56	100	203	2312	95.44	9.73	2.93	29.9
19	23/06/2016	CILINDRO # 19	18/08/2016	56	100	205	2386	82.39	8.40	2.56	26.1
20	23/06/2016	CILINDRO # 20	18/08/2016	56	100	199	2463	106.72	11.73	3.47	36.4
21	23/06/2016	CILINDRO # 21	18/08/2016	56	102	205	2239	124.05	12.65	3.82	38.9

Observación: La procedencia y las fechas de fabricación han sido tomadas de los registros y de la responsabilidad del cliente.

ING. MERYS VILLAC
 JEFE DE LABORATORIO



T3C/INF.001



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

RF# No: 17-0013
Hoja 7 de 8

Quito, 06 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ""
CONTRATISTA: ""
NORMA: ASTM C 493/496M - 11
PARÁMETRO: 22.7 mg/l NO3

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD [Días]	D [mm]	H [mm]	P. ESPEC. [Kg/m ³]	CARGA		Resistencia	
								[kN]	[T]	[MPa]	[Kg/cm ²]
1	21/05/2016	CILINDRO # 1	20/05/2016	7	101	204	2344	48.93	4.99	1.51	15.4
2	21/05/2016	CILINDRO # 2	20/05/2016	7	100	203	2375	54.11	5.52	1.69	17.3
3	21/05/2016	CILINDRO # 3	20/05/2016	7	101	203	2348	43.23	4.41	1.33	13.6
4	21/05/2016	CILINDRO # 4	23/05/2016	7	100	201	2366	51.70	5.27	1.64	13.7
5	21/05/2016	CILINDRO # 5	23/05/2016	7	101	203	2348	47.32	4.83	1.47	15.0
6	21/05/2016	CILINDRO # 6	05/07/2016	14	100	199	2373	73.07	7.45	2.33	23.8
7	21/05/2016	CILINDRO # 7	05/07/2016	14	102	204	2301	67.34	6.87	2.06	21.0
8	21/05/2016	CILINDRO # 8	05/07/2016	14	102	204	2303	61.86	6.31	1.89	19.2
9	21/05/2016	CILINDRO # 9	05/07/2016	14	102	204	2309	65.19	6.75	2.03	20.7
10	21/05/2016	CILINDRO # 10	05/07/2016	14	102	203	2320	63.60	6.50	1.86	20.0
11	21/05/2016	CILINDRO # 11	16/07/2016	26	101	203	2332	81.42	8.30	2.52	26.7
12	21/05/2016	CILINDRO # 12	15/07/2016	26	102	203	2347	82.03	8.46	2.55	26.1
13	21/05/2016	CILINDRO # 13	16/07/2016	26	102	203	2302	83.45	8.51	2.57	26.2
14	21/05/2016	CILINDRO # 14	16/07/2016	26	101	202	2352	87.97	8.97	2.73	27.8
15	21/05/2016	CILINDRO # 15	19/07/2016	28	101	204	2333	82.31	8.40	2.54	25.9
16	21/05/2016	CILINDRO # 16	16/08/2016	56	101	203	2309	87.01	8.87	2.71	27.7
17	21/05/2016	CILINDRO # 17	16/08/2016	56	101	203	2359	91.87	9.37	2.85	29.0
18	21/05/2016	CILINDRO # 18	16/08/2016	56	102	202	2348	104.92	10.66	3.24	33.0
19	21/05/2016	CILINDRO # 19	16/08/2016	56	101	204	2341	101.99	10.40	3.14	32.0
20	21/05/2016	CILINDRO # 20	16/08/2016	56	103	204	2277	101.40	10.34	3.08	31.4
21	21/05/2016	CILINDRO # 21	16/08/2016	56	102	203	2312	102.06	10.41	3.14	32.0
22	21/05/2016	CILINDRO # 22	16/08/2016	56	101	200	2334	101.72	10.37	3.20	32.8

Observación: La procedencia y las fechas de fabricación han sido verificadas de forma directa y es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



TRACIND-001



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN DIAMETRAL DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 17-0015
Hoja 0 de 0

Culo: 05 de Enero de 2017

SOLICITA: BRIAN CAGUA Y DAVID NATES
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FISCALIZADOR: ""
CONTRATISTA: ""
NORMA: ASTM C 496/496M - 11
PARAMETRO: 40.4 mpa/ NCS

No	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD [Días]	D [mm]	H [mm]	P. ESPEC. [Kg/m ³]	CARGA		Resistencia	
								[kN]	[T]	[Mpa]	[Kg/cm ²]
1	22/06/2016	CILINDRO # 1	29/06/2016	7	101	204	2317	45.90	4.68	1.42	14.4
2	22/06/2016	CILINDRO # 2	29/06/2016	7	101	203	2324	44.77	4.57	1.38	14.1
3	22/06/2016	CILINDRO # 3	29/06/2016	7	103	204	2282	43.97	4.49	1.48	15.2
4	22/06/2016	CILINDRO # 4	29/06/2016	7	102	201	2334	55.32	5.64	1.72	17.5
5	22/06/2016	CILINDRO # 5	29/06/2016	7	101	205	2322	53.27	5.64	1.70	17.3
6	22/06/2016	CILINDRO # 6	08/07/2016	14	103	201	2281	63.96	7.03	2.15	21.7
7	22/06/2016	CILINDRO # 7	06/07/2016	14	101	201	2296	65.12	6.84	2.04	20.8
8	22/06/2016	CILINDRO # 8	06/07/2016	14	102	204	2306	61.13	6.23	1.87	19.1
9	22/06/2016	CILINDRO # 9	06/07/2016	14	102	204	2294	73.08	7.06	2.38	24.2
10	22/06/2016	CILINDRO # 10	06/07/2016	14	103	204	2260	73.10	7.45	2.21	22.6
11	22/06/2016	CILINDRO # 11	20/07/2016	28	102	203	2340	78.91	8.05	2.43	24.8
12	22/06/2016	CILINDRO # 12	20/07/2016	28	102	199	2311	83.95	8.56	2.64	26.9
13	22/06/2016	CILINDRO # 13	20/07/2016	28	102	203	2311	75.67	7.82	2.34	23.9
14	22/06/2016	CILINDRO # 14	20/07/2016	28	102	203	2322	83.80	8.55	2.67	28.2
15	22/06/2016	CILINDRO # 15	20/07/2016	28	102	202	2326	82.16	8.38	2.54	25.9
16	22/06/2016	CILINDRO # 16	17/08/2016	56	101	204	2296	104.22	10.63	3.21	32.7
17	22/06/2016	CILINDRO # 17	17/08/2016	56	102	203	2311	95.87	9.78	2.95	30.1
18	22/06/2016	CILINDRO # 18	17/08/2016	56	101	203	2337	82.87	8.45	2.68	25.1
19	22/06/2016	CILINDRO # 19	17/08/2016	56	100	200	2420	119.77	12.21	3.79	38.7
20	22/06/2016	CILINDRO # 20	17/08/2016	56	101	199	2329	93.31	10.03	3.11	31.7
21	22/06/2016	CILINDRO # 21	17/08/2016	56	101	202	2284	103.51	10.58	3.22	32.9

Observación: La procedencia y las fechas de fabricación han sido tomadas de la muestra y es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DE LABORATORIO



TRACIND 001