

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

Tema:

“ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN EL ORIGEN LOCAL
DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.”

AUTOR: Santiago Ismael Rodríguez Villacís

TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina

Ambato – Ecuador

2016

CERTIFICACIÓN DEL AUTOR

Yo, Ing. Mg. Santiago Medina, Certifico que el presente trabajo bajo el tema: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN EL ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE, es de autoría del Sr. Santiago Ismael Rodríguez Villacís, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ing. Mg. Santiago Medina

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Santiago Ismael Rodríguez Villacís con C.I: 1709437386, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN EL ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE, es de mi completa autoría y fue realizado en el período Febrero 2016 – Agosto 2016.

Santiago Ismael Rodríguez Villacís

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 14 de Mayo de 2016

AUTOR

Santiago Ismael Rodríguez Villacís

C.I.: 1709437386

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: : ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN EL ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE, del egresado *Santiago Ismael Rodríguez Villacís*, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Para constancia firman.

Ing. Mg. Maritza Ureña

Ing. Mg. Carlos Navarro

DEDICATORIA

El presente trabajo experimental se lo dedico a todas las personas que durante estos años desde el inicio de esta carrera estuvieron presentes directa e indirectamente, ofreciendo su estímulo, cariño y un hombro donde apoyarse.

A mi familia mis hermanas y mis pequeños hijos.

A mi hijo Daniel quien lo llevo en mi corazón.

A mis padres quienes no faltaron un día con su apoyo y consejos.

A mi abuelo que donde quiera que esté lo llevo en mi corazón.

Al amor de mi vida que trasciende en el tiempo y siempre será apoyo incondicional MSC.

Termina una etapa y da inicio a otra más.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a Dios de quien emana la vida y quien ha guiado el camino que me trajo hasta aquí. En especial agradecer a La Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y a cada uno de los profesores de quienes recibí sus conocimientos y quienes supieron guiarme en el sendero del saber. También a mis padres queridos por su confianza y apoyo a este proyecto de vida. A mi familia: a mis hijos amados de quienes he recibido la fuerza para continuar y no desmayar en este duro camino. A Daniel a quien lo llevo todos los días conmigo, te amo hijo querido. A un buen amigo que ha sido fuerza, bendición y muestra de dedicación sin importar el tiempo, clima, noche, día o camino; mi amigo Nicolás M. A mi abuelo Eloy, de quien llevo el más preciado de los regalos y ejemplos que marcaron mi niñez y mi vida los que llevo hasta hoy conmigo. A mis amadas hermanas de quienes he recibido más que apoyo un ejemplo y su cariño. A mi tutor Ing. Mg. Santiago Medina por haber creído en esta investigación, su ayuda oportuna y guía para poder desarrollarla. A todos los compañeros y amigos que fueron importantes en este viaje, en este segmento de nuestras vidas.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A PÁGINAS PRELIMINARES:

TÍTULO O PORTADA	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XVII
RESUMEN EJECUTIVO	XI

B TEXTO

CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES	1
ANTECEDENTES	1
1.1 TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 OBJETIVOS	7
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	7
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
CAPÍTULO II	9

FUNDAMENTACIÓN	9
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	9
2.2 HIPÓTESIS	46
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES	46
2.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE	46
2.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	46
CAPÍTULO III.....	47
METODOLOGÍA	47
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	47
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	47
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	47
3.3.1 OPERACIONALIZACIÓN VARIABLE INDEPENDIENTE	47
3.3.2 OPERACIONALIZACIÓN VARIABLE DEPENDIENTE.....	49
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	50
3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	51
CAPÍTULO IV	59
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	59
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS	59
4.1.1 ENSAYOS REALIZADOS	59
4.1.1.1 AGREGADO FINO	59
4.1.1.2 AGREGADO GRUESO	59
4.1.1.3 MUESTRAS DE HORMIGÓN ENDURECIDO	59
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	86

4.2.1 AGREGADO DE LA CANTERA ACOSTA, SANTA ROSA.....	86
4.2.1.1 AGREGADO FINO.....	86
4.2.1.2 AGREGADO GRUESO.....	87
4.2.2 AGREGADO DE LA MINA SAN SEBASTIÁN, AGUAJÁN.....	89
4.2.2.1 AGREGADO FINO.....	89
4.2.2.2 AGREGADO GRUESO.....	90
4.2.3 AGREGADO CANTERA VILLACRÉS, LAS VIÑAS.....	91
4.2.3.1 AGREGADO FINO.....	91
4.2.3.2 AGREGADO GRUESO.....	93
4.2.4 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DE HORMIGONES IMPERMEABLES.....	94
4.2.5 ENSAYO A COMPRESIÓN MUESTRAS $F'C=210\text{kg/cm}^2$	95
4.2.6 ENSAYO A COMPRESIÓN MUESTRAS $F'C=240\text{kg/cm}^2$	96
4.2.7 ENSAYO DE PERMEABILIDAD HORMIGONES $F'C=210\text{kg/cm}^2$	98
4.2.8 ENSAYO DE PERMEABILIDAD HORMIGONES $F'C=240\text{kg/cm}^2$	100
4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	103
CAPÍTULO V.....	104
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
5.1 CONCLUSIONES.....	104
5.2 RECOMENDACIONES.....	107
C MATERIAL DE REFERENCIA.....	109
1. BIBLIOGRAFÍA.....	109

2. ANEXOS.....	110
2.1 RECOLECCIÓN MATERIALES PÉTREOS	110
2.2 GRANULOMETRÍA AGREGADOS	111
2.3 MISELÁNEOS ENSAYOS AGREGADOS	112
2.4 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE EQUIPO PARA ENSAYO DE IMPERMEABILIDAD	113
2.5 ELABORACIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN	116
2.6 ENSAYO DE PERMEABILIDAD.....	118
2.7 RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS ACI 318.....	120
2.8 DATOS PARA DISEÑO DE HORMIGÓN RELACIÓN AGUA CEMENTO Y PORCENTAJE ÓPTIMO DE VACÍOS	124
2.9 TABLAS ESPECIFICACIONES NORMA EHE-08	125
2.10 NORMA ESPAÑOLA UNE-UN 12390-8	131
2.11 FORMATO ENSAYO PERMEABILIDAD	138

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.-CONCENTRACIÓN TOLERABLE DE IMPUREZAS EN AGUA DE MEZCLA.	21
TABLA 2.-ENSAYOS SOBRE EL AGUA DE MEZCLADO PARA CONCRETO.	22
TABLA 3.- CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS PARA HORMIGÓN.	28
TABLA 4.-CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN SU ORIGEN.....	30
TABLA 5.- CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TAMAÑO.	31
TABLA 6.- DENOMINACIÓN Y ABERTURA DE TAMICES.	37

TABLA 7.- REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO FINO PARA CONCRETO SEGÚN ASTM-C33.....	40
TABLA 8.-REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO SEGÚN ASTM C33.	41
TABLA 9.-PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.	51
TABLA 10.-DENSIDAD REAL CEMENTO, CEMENTO PORTLAND TIPO IP.	61
TABLA 11.-DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO FINO, CANTERA ACOSTA SECTOR SANTA ROSA.	62
TABLA 12.-DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO, CANTERA ACOSTA SECTOR SANTA ROSA.....	63
TABLA 13.-DENSIDAD APARENTE COMPACTADA Y SUELTA AGREGADOS CANTERA ACOSTA SECTOR SANTA ROSA.....	64
TABLA 14.-DENSIDAD COMBINADA AGREGADOS CANTERA ACOSTA SECTOR SANTA ROSA.	65
TABLA 15.-GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO, CANTERA ACOSTA SECTOR SANTA ROSA.	66
TABLA 16.-GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO, CANTERA ACOSTA SECTOR SANTA ROSA.	67
TABLA 17.-DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO FINO, MINA SAN SEBASTIÁN SECTOR AGUAJÁN.....	68
TABLA 18.-DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO, MINA SAN SEBASTIÁN SECTOR AGUAJÁN.....	69
TABLA 19.-DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DE AGREGADOS, MINA SAN SEBASTIÁN SECTOR AGUAJÁN.	70

TABLA 20.-DENSIDAD COMBINADA AGREGADOS, MINA SAN SEBASTIÁN SECTOR AGUAJÁN.....	71
TABLA 21.-GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO, MINA SAN SEBASTIÁN SECTOR AGUAJÁN.....	72
TABLA 22.-GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO, MINA SAN SEBASTIÁN SECTOR AGUAJÁN.....	73
TABLA 23.-DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO FINO, CANTERA VILLACRÉS SECTOR LAS VIÑAS.	74
TABLA 24.-DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO, CANTERA VILLACRÉS SECTOR LAS VIÑAS.....	75
TABLA 25.-DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DE AGREGADOS, VILLACRÉS SECTOR LAS VIÑAS.	76
TABLA 26.-DENSIDAD COMBINADA AGREGADOS, VILLACRÉS SECTOR LAS VIÑAS.	77
TABLA 27.-GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO, VILLACRÉS SECTOR LAS VIÑAS.	78
TABLA 28.-GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO, VILLACRÉS SECTOR LAS VIÑAS.....	79
TABLA 29.-REQUERIMIENTOS DISEÑO HORMIGÓN SIN ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE PARA UN $F'_{C}=240\text{KG}/\text{CM}^2$, AGREGADOS CANTERA VILLACRÉS, SECTOR LAS VIÑAS.....	80
TABLA 30.-DOSIFICACIÓN HORMIGÓN PARA UN $F'_{C}=240\text{KG}/\text{CM}^2$ SIN ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE, AGREGADOS CANTERA VILLACRÉS, SECTOR LAS VIÑAS.....	81

TABLA 31.-REQUERIMIENTOS DISEÑO HORMIGÓN ADICIÓN ADITIVO IMPERMEABILIZANTE PARA UN F´C=240KG/CM ² , AGREGADOS CANTERA VILLACRÉS, SECTOR LAS VIÑAS.....	82
TABLA 32.-DOSIFICACIÓN HORMIGÓN PARA UN F´C=240KG/CM ² CON ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE, AGREGADOS CANTERA VILLACRÉS, SECTOR LAS VIÑAS.....	83
TABLA 33.-REQUERIMIENTOS DISEÑO HORMIGÓN SIN ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE PARA UN F´C=210KG/CM ² , AGREGADOS CANTERA VILLACRÉS, SECTOR LAS VIÑAS.....	84
TABLA 34.-DOSIFICACIÓN HORMIGÓN PARA UN F´C=210KG/CM ² SIN ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE, AGREGADOS CANTERA VILLACRÉS, SECTOR LAS VIÑAS.....	85
TABLA 35.-REQUERIMIENTOS DISEÑO HORMIGÓN CON ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE PARA UN F´C=210KG/CM ² , AGREGADOS CANTERA VILLACRÉS, SECTOR LAS VIÑAS.....	86
TABLA 36.-DOSIFICACIÓN HORMIGÓN PARA UN F´C=210KG/CM ² CON ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE, AGREGADOS CANTERA VILLACRÉS, SECTOR LAS VIÑAS.....	87
TABLA 37.-AGREGADO FINO CANTERA ACOSTA SECTOR SANTA ROSA. RESUMEN RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO.	88
TABLA 38.-AGREGADO GRUESO CANTERA ACOSTA SECTOR SANTA ROSA. RESUMEN RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO.....	89
TABLA 39.-AGREGADO FINO MINA SAN SEBASTIÁN SECTOR AGUAJÁN. RESUMEN RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO.	91

TABLA 40.-AGREGADO GRUESO CANTERA ACOSTA SECTOR SANTA ROSA. RESUMEN RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO.....	92
TABLA 41.-AGREGADO FINO CANTERA VILLACRÉS SECTOR LAS VIÑAS. RESUMEN RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO.	94
TABLA 42.- AGREGADO GRUESO MINA VILLACRÉS SECTOR LAS VIÑAS. RESUMEN RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO.	95
TABLA 43.- TABLA DE RESUMEN VALORES DE ENSAYOS EN AGREGADOS SEGÚN SU ORIGEN.....	96
TABLA 44.- RANGOS ACEPTABLES DE LAS PROPIEDADES DE AGREGADOS PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGONES.	96
TABLA 45.- ROTURA MUESTRAS $F'_{C}=210\text{KG}/\text{CM}^2$, HORMIGÓN CONFECCIONADO CON AGREGADOS DE LA MINA VILLACRÉS, SECTOR LAS VIÑAS.....	97
TABLA 46.- ROTURA MUESTRAS $F'_{C}=240\text{KG}/\text{CM}^2$, HORMIGÓN CONFECCIONADO CON AGREGADOS DE LA MINA VILLACRÉS, SECTOR LAS VIÑAS.....	98
TABLA 47.-ENSAYO DE MUESTRAS $F'_{C}=210\text{ KG}/\text{CM}^2$, SIN ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.....	100
TABLA 48.-ENSAYO DE MUESTRAS $F'_{C}=210\text{ KG}/\text{CM}^2$, CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.....	100
TABLA 49.-GRÁFICA ENSAYO PERMEABILIDAD DE MUESTRAS CURADAS CON EDADES MAYORES A 28 DÍAS Y RESISTENCIA $F'_{C}=240\text{KG}/\text{CM}^2$ SIN ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.....	102

TABLA 50.-GRÁFICA ENSAYO PERMEABILIDAD DE MUESTRAS CURADAS CON EDADES MAYORES A 28 DÍAS Y RESISTENCIA F´C=240KG/CM2 SIN ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.....	102
TABLA 51.-RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS PARA DIFERENTES CASOS DE EXPOSICIÓN EN CIMENTACIONES.	122
TABLA 52.-RECUBRIMIENTO MÍNIMO PARA HORMIGÓN PREFABRICADO BAJO CONDICIONES DE CONTROL DE PLANTA.	123
TABLA 53.-RELACIONES AGUA CEMENTO W/C PARA DIFERENTES RESISTENCIAS, MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA (UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR).	126
TABLA 54.-TABLA DE ASENTAMIENTOS PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VACÍOS EN LA MEZCLA, MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA (UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR).	126
TABLA 55.- TABLA 8.2.2 CLASES GENERALES DE EXPOSICIÓN RELATIVAS A LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS	127
TABLA 56.- TABLA SECCIÓN 37.3.3 IMPERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN	128
TABLA 57.- TABLA 37.2.4.1.B RECUBRIMIENTO MÍNIMO (MM) PARA LAS CLASES GENERALES DE EXPOSICIÓN III Y IV	129
TABLA 58.- DENOMINACIÓN DE CEMENTOS UNE-EN.....	129
TABLA 59.- RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS PARA LAS CLASES ESPECÍFICAS DE EXPOSICIÓN	130
TABLA 60.- DESIGNACIONES DE COMPUESTOS O ADICIONES EN CEMENTOS SEGÚN NORMA EUROPEA UNE-EN.....	131

TABLA 61.- DENOMINACIÓN CEMENTOS RESISTENTES A SULFATOS Y AL AGUA DE MAR.	132
--	-----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.- PROPORCIONES DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES DEL HORMIGÓN.	2
GRÁFICO 2.- DISPOSITIVO DE ENSAYO.....	8
GRÁFICO 3.- MODELO DE GRÁFICA DE CURVA GRANULOMÉTRICA.	39
GRÁFICO 4.- FORMA DE MEDIR LA ALTURA MÁXIMA DE LA HUELLA DE PENETRACIÓN DE AGUA A PRESIÓN EN UNA MUESTRA EN EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD.....	45
GRÁFICO 5.- MEDICIÓN DE ALTURA MÁXIMA DE HUELLA DE PENETRACIÓN DE AGUA A PRESIÓN.....	45
GRÁFICO 6.-OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE.	49
GRÁFICO 7.- OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.	50
GRÁFICO 8.- ENSAYO A COMPRESIÓN DE MUESTRAS $F'_{C}=210\text{KG}/\text{CM}^2$, VERIFICACIÓN DE DISEÑO.....	97
GRÁFICO 9.- COMPORTAMIENTO HORMIGÓN, % DE RESISTENCIA VS TIEMPO.....	98
GRÁFICO 10.- ENSAYO A COMPRESIÓN DE MUESTRAS $F'_{C}=240\text{KG}/\text{CM}^2$, VERIFICACIÓN DE DISEÑO.....	99
GRÁFICO 11.- COMPORTAMIENTO HORMIGÓN, % DE RESISTENCIA VS TIEMPO.....	99

GRÁFICO 12.-GRÁFICA ENSAYO PERMEABILIDAD DE MUESTRAS CURADAS CON EDADES MAYORES A 28 DÍAS Y RESISTENCIA F´C=210KG/CM2.	101
GRÁFICO 13.-GRÁFICA ENSAYO PERMEABILIDAD DE MUESTRAS CURADAS CON EDADES MAYORES A 28 DÍAS Y RESISTENCIA F´C=240KG/CM2.	103
GRÁFICO 14.-GRÁFICA ENSAYO PERMEABILIDAD DE MUESTRAS CURADAS CON EDADES MAYORES A 28 DÍAS Y RESISTENCIA F´C=210KG/CM2 / F´C=240KG/CM2.	104
GRÁFICO 15.- NORMA UNE-EN 12390-8.....	133

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente proyecto de investigación se procedió a analizar las propiedades mecánicas de agregados extraídos de tres puntos diferentes de la ciudad de Ambato. Es así que se seleccionó uno de estos, por las propiedades de capacidad de absorción que mostrara y fueran óptimas para la confección de hormigones impermeables.

Se inició con el diseño de hormigones con el material idóneo para dos resistencias a compresión, las más comúnmente utilizadas para especificaciones técnicas en nuestro medio que son de 210 y 240 kilogramos por centímetro cuadrado.

Para analizar la variación de la impermeabilidad en las muestras de hormigón endurecidas, con edades superiores a los 28 días, se incluyó en varios especímenes, un porcentaje de aditivo impermeabilizante al 2% del peso de cemento como lo indica el fabricante.

La investigación consistió en medir la penetración media de agua en las muestras luego del ensayo de permeabilidad según la norma europea UNE-EN 12390-8 a falta de normativa ecuatoriana, de lo cual se obtuvo con una dosificación de $240\text{kg}/\text{cm}^2$ y con la adición de aditivo impermeabilizante los valores más bajos de penetración de agua y evidentes muestras de la repulsión de la misma. Además que existe una disminución muy importante de permeabilidad en hormigones de resistencia $210\text{kg}/\text{cm}^2$ con la adición de aditivo impermeabilizante.

CAPÍTULO I.

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN EL ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.

1.2 ANTECEDENTES

El hormigón es un material fundamental con el cual trabajan los Ingenieros Civiles, se diseñan y se ejecutan obras con la finalidad de desarrollar la infraestructura en nuestras ciudades, países.

El hormigón puede ser definido como la mezcla de varios materiales de relleno que serán los agregados gruesos y finos (ripio y arena), que se ubican en una matriz de material aglutinante que es el cemento hidráulico mezclado con agua y que puede adicionarse también aditivos para modificar sus características de trabajabilidad y de resistencia finales.

Los diferentes materiales que constituyen el hormigón deben ser debidamente dosificados para obtener resistencia, durabilidad y economía.

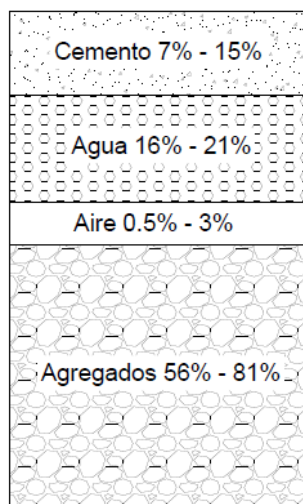
Dentro de esta característica de durabilidad se encuentra la permeabilidad del hormigón, sin olvidar el destino, uso de la estructura en la cual se utiliza el hormigón y si estará en condiciones de exposición severas o no por contacto con agua. Del adecuado conocimiento y estudio de los materiales y sus propiedades dependerá la evolución y la vida útil de las obras civiles construidas.

Hay que señalar que el hormigón y las propiedades indicadas anteriormente están estrechamente relacionados con la calidad y propiedades de los agregados con los que se fabrique.

De las propiedades mecánicas de los agregados tales como la densidad, capacidad de absorción, se podrá señalar si el material es el idóneo, y se determinará el grado de porosidad y la durabilidad final que tendrá el hormigón.

Si se representara gráficamente las proporciones aproximadas que intervienen por volumen de hormigón fabricado cada uno de los componentes se mostrarían como en el gráfico adjunto.

Gráfico 1.- Proporciones de los materiales constituyentes del hormigón.



Fuente: [1, p. 2]

Si tenemos al hormigón en contacto con fluidos líquidos o gaseosos como generalmente sucede, el fluido más común es el agua, observamos que existe una falta de definición del límite de dónde termina el fluido “líquido” (agua) y dónde inicia el material “sólido” (hormigón). Definir éste límite es de gran importancia, como es el caso de: una fundación en una edificación, muros de contención,

construcción de piscinas, túneles, etc. Si se sabe que el material sólido presenta una porosidad como característica propia, hace que sea necesario determinar este nivel de penetración y definir así el grado de permeabilidad que un hormigón presenta cuando está en contacto con el agua.

Si el agua ejerce una presión importante sobre el hormigón y el espesor del material sólido es mínimo o delgado, tendremos una penetración que se traduce en el grado de permeabilidad, por otro lado si tenemos una presión elevada de agua y el espesor del hormigón es grande (muro, presa) tendremos un valor diferente de permeabilidad. En cualquiera de los dos casos el agua penetra en mayor o menor grado sobre el hormigón y ésta frontera será definida como el grado de permeabilidad.

Se investigará sobre la relación agua / cemento del hormigón y las diferentes resistencias del material y la influencia sobre la propiedad investigada del hormigón endurecido conocida como permeabilidad, aplicando las normas específicas para esto.

El material hormigón es factible de ser modificado en sus características (porosidad) añadiendo una dosis de un aditivo que mejorará el grado de permeabilidad (penetración de agua) en éste, así se establecerá la respectiva comparación determinando la variabilidad entre un hormigón sin aditivo impermeabilizante y con este material adicionado como repelente del agua.

HISTORIA DEL HORMIGÓN

Probablemente el empleo de materiales cementantes se remonta al inicio de la civilización cuando el hombre se vio en la necesidad de construir su habitación utilizando arcilla o una mezcla de cal y arena para unir las piedras y conformar una estructura simple que le sirviera de protección. No hay forma de determinar la

primera vez que se utilizó un material aglomerante, sin embargo, hay vestigios que indican que la obra de concreto más antigua fue construida alrededor de los años 5600 a.C. en las riberas del río Danubio en Yugoslavia. Esta obra estaba conformada por los pisos para chozas en un pueblo de la edad de piedra. Después de esta aplicación no se tiene noticia de la utilización de ésta técnica hasta el año 2650 a.C. cuando los Egipcios construyeron las pirámides de Cheops (137m), Chefrén (136m) y Miserino (62m), fueron pegados con un mortero hecho de yeso calcinado impuro y arena; a esta obra, siguieron otras que aún se encuentran a lo largo del río Nilo.

Posteriormente, en el año 500 a.C. los antiguos griegos mezclaron compuestos basados en caliza calcinada (cal viva) y agua en la cual se adicionaba arena, para recubrir y unir piedras y ladrillos no cocidos, llegando a mencionarse que los palacios de Crespo y Atala fueron construidos de esta forma. La adición a estas mezclas, de piedra triturada, tejas rotas o ladrillo, dieron origen al primer concreto de la historia. Probablemente, la civilización romana copió la idea de la producción de concreto de los griegos. Se han encontrado obras de concreto romanas fechadas con anterioridad al año 300 a.C. [1, pp. 3-4].

1.3 JUSTIFICACIÓN

El crecimiento de la industria de la construcción, el desarrollo de nuestro mundo, la investigación de nuevos métodos de construcción y su aplicación, son los justificativos principales para que el presente estudio sea necesario ser desarrollado.

Casos como los túneles más largos del mundo, Túnel de Laerdal con 24,5 km de longitud ubicado en el condado Noruego de Aurland [1], Túneles sumergidos el Michigan Central Railway (1910) [2], en los que los respectivos ensayos de permeabilidad del hormigón son básicos para su diseño y puesta en funcionamiento de tales obras de ingeniería.

Hoy el contacto hormigón / agua se considera como el límite donde el material termina y el fluido comienza, esta frontera no está clara por cuanto el agua penetra la matriz porosa del hormigón, hasta cierto punto y en ciertos casos podría atravesarlo si es muy delgado o si la presión es muy alta. En la construcción se habla de “hormigón impermeable”, pero si tenemos un hormigón con bajo grado de porosidad podría ser atravesado si la sección es muy delgada o si la presión que ejerce el fluido es muy alta. De igual manera si tenemos un hormigón en extremo poroso podría ser no atravesado si es de enorme espesor (presa) o la presión es muy baja. Algo similar ocurrirá si tendríamos un hormigón de muy alta resistencia, si tiene una sección muy delgada con la presión adecuada fallará.

Teniendo en cuenta que todo estudio de mejoramiento en la calidad de los hormigones es importante para el desarrollo de la industria de la construcción en nuestro país, tenemos que en la ciudad de Quito, se realizaron los respectivos estudios de permeabilidad del hormigón endurecido, el material con el que se construyó el túnel de la Av. Interoceánica específicamente [3], ensayos que estuvieron a cargo de la Escuela Politécnica Nacional.

Es así como se contribuirá de manera positiva al desarrollo técnico, ya que muchas obras de infraestructura que actualmente se construyen se verían mejoradas en sus características mecánicas y su tiempo de vida útil, por éste tipo de aporte investigativo.

Al hacer un estudio utilizando materiales de tres diferentes orígenes de la zona del Cantón Ambato, las tres minas en estudio arrojarán resultados de grados de permeabilidad, contenido de vacíos, porosidad, tomando en cuenta la norma ACI que especifica la relación agua cemento (a/c) para éste tipo de hormigones. Determinaremos, así qué materiales tienen mejores características impermeables según su origen.

El ensayo evalúa la impermeabilidad del hormigón al agua directamente vinculado con la relación agua cemento, valores que serán determinantes para la durabilidad del hormigón.

Dentro de la investigación, se contempla la utilización de un aditivo que será utilizado para determinar la variabilidad de las características de impermeabilidad en el hormigón según su uso, y las respectivas recomendaciones técnicas proporcionadas por el fabricante.

En el presente trabajo experimental estudiaremos el hormigón impermeable elaborado con los materiales obtenidos de tres canteras de la zona de Ambato: Vía Aguaján Mina “San Sebastián 1”, Vía Santa Rosa “Canteras Acosta” y Sector Paso lateral “Mina Villacrés”, analizar sus propiedades mecánicas, de las cuales determinaremos el más idóneo para la confección de hormigones con mejores propiedades impermeables. Se probará también la utilización de un material adicionado “aditivo” para determinar cómo se comportaría el hormigón agregando el material impermeabilizante en las proporciones recomendadas por el fabricante.

La presente investigación será de utilidad de gran estima para las entidades públicas que ejecutan proyectos de gran magnitud en nuestra ciudad así como de todos los constructores que particularmente ejecutan obras civiles, al manejarse la presente información técnica se podrá tener un concepto claro sobre la durabilidad y la permeabilidad del hormigón cuando se requieran construir determinado tipo de estructuras expuestas a la penetración de agua como son: túneles, canales de distribución, muros, etc., así como para todo tipo de obra civil en general que se pretende construir.

La presente investigación nos dará una guía para determinar el grado de permeabilidad alcanzado en el hormigón con la adición de material impermeabilizante que sea más compacto y repela fluidos con mayor facilidad,

resultando además un menor costo económico debido a la reducción de la relación a / c por el uso de material impermeabilizante.

El principal interés del investigador es dar impulso al desarrollo de nuestro país, aumentando las posibilidades de tener investigaciones que sean de beneficio para el campo de la Ingeniería Civil, y específicamente sobre una de las propiedades del principal material utilizado en la industria de la construcción como es el hormigón.

Existen normas Europeas que determinan la propiedad de la permeabilidad del hormigón endurecido, que son factibles de ser aplicadas en nuestro medio para complementar todos los estudios de hormigones y sus posibles aplicaciones, que se utilizarán en el presente estudio a falta de normativa ecuatoriana.

El presente estudio es factible ser aplicado a materiales de nuestra zona para poder obtener el comportamiento del hormigón en una de sus propiedades en estado endurecido, como es la permeabilidad.

1.4 OBJETIVOS

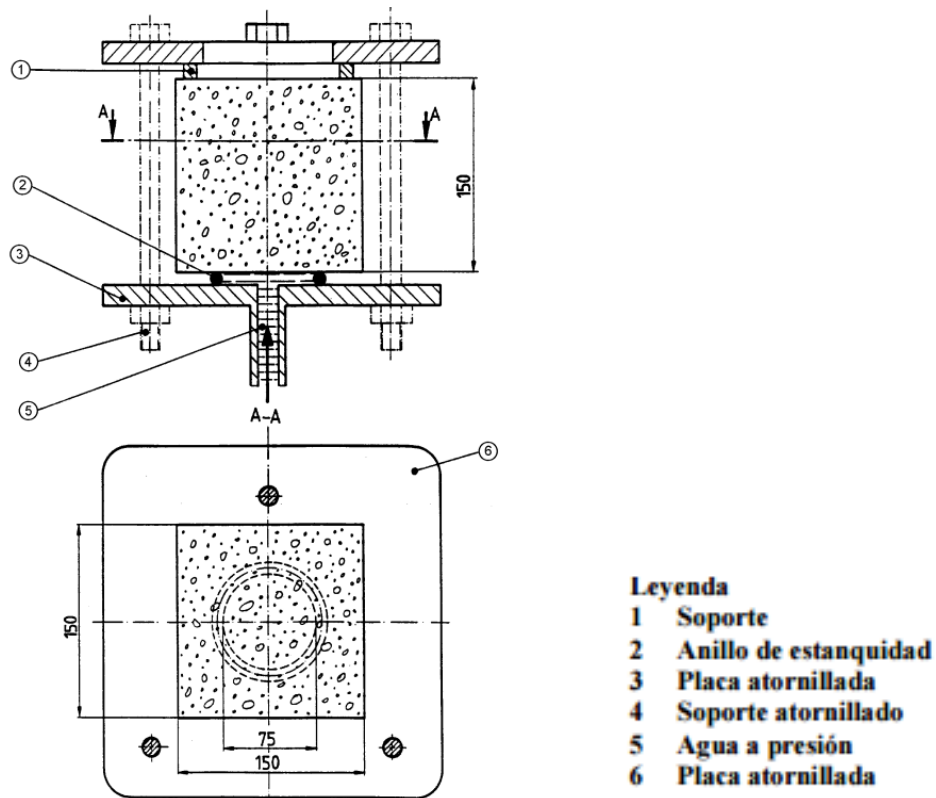
1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la impermeabilidad del hormigón de diferentes resistencias elaborado con agregados de la zona y aditivo impermeabilizante, que se justifique en los términos técnico y ambiental.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar el material pétreo para la elaboración de hormigón impermeable en función a sus propiedades mecánicas como son densidad y capacidad de absorción.
- Determinar la variabilidad de la permeabilidad al adicionar aditivo en diferentes dosificaciones dentro de los rangos recomendados por el fabricante.
- Determinar la variabilidad de la permeabilidad de acuerdo a la relación agua / cemento determinada por el grado de exposición del hormigón según la norma ACI numeral 4.2.2.2.
- Confeccionar el equipo para ensayo normalizado según detalle mostrado en la norma UNE-EN-12390-8, con la cual se desarrolla la presente investigación.

Gráfico 2.- Dispositivo de Ensayo.



Fuente: Norma Española UNE-EN 12390-8 [7].

CAPÍTULO II.

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La presente investigación se fundamenta en la Norma Española UNE-EN-12390-8 a falta de norma ecuatoriana, la cual indica cómo establecer la permeabilidad del hormigón en muestras endurecidas con edades iguales o superiores a los 28 días. Se aplicarán además las normas INEN concernientes a la toma de muestras y elaboración de hormigones en estado fresco y no endurecido NTE INEN 1 855-2:2002. Así como también las normas que establecerán los requisitos mínimos que los áridos deben cumplir para ser utilizados para la fabricación de hormigón INEN 872. La granulometría de los agregados se establece en las especificaciones de la norma ASTM C33. Para la toma de muestras de hormigón con moldes de probetas normalizadas y el respectivo curado se utilizará la norma NTE INEN 1763 y la correspondiente ASTM C 31, también para probar la consistencia del hormigón fabricado se realizará la respectivo ensayo del Cono de Abrams con su respectiva fundamentación en la norma NTE INEN 1578 y su respectiva ASTM C 143.

Como parte de los antecedentes se ha procedido con la búsqueda de información complementaria que aporte a la presente investigación, es así que se mencionan las conclusiones de varios trabajos relacionados.

1. Trabajo Consultado:

Tema: Puente sobre el río Turia entre Manises y Paterna (Valencia). Primera experiencia internacional de empleo de hormigón reciclado estructural en un puente atirantado (Parte II) [2].

Nombre del autor: Pilar Alaejos. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (Cedex). Marta Sánchez de Juan. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (Cedex). Alberto Domingo. Universidad Politécnica de Valencia.

Carlos Lázaro. Universidad Politécnica de Valencia. Francisco José Palacios. CMD Domingo y Lázaro Ingenieros S.L.

Año Investigación: Septiembre – Octubre 2011.

Lugar de Investigación: Valencia – España.

Objetivo Investigación: Utilización de Hormigón estructural reciclado en un puente atirantado.

Concluye que:

- Tanto en los ensayos previos como los ensayos característicos, se han obtenido unos resultados favorables, cumpliendo en ambos casos, los requisitos establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto (PPTP) y lo exigido por la Instrucción EHE.

- Las profundidades máximas y medias obtenidas en el ensayo de penetración de agua cumplen los criterios establecidos en la Instrucción EHE, pudiéndose emplear incluso en los ambientes más agresivos IIIc y Qc ($Z_m \leq 30$ mm y $T_m \leq 20$ mm).

2. Trabajo Consultado:

Tema: Hormigón de baja permeabilidad [3].

Nombre del Autor: BASF Construction Chemicals España, S.L.

Año de investigación: 2011.

Lugar de investigación: Barcelona – España.

Objetivo de la Investigación: Fabricación, puesta en obra y curado de hormigón de baja permeabilidad.

Concluye que:

- En ningún caso debe añadirse agua al hormigón a su llegada a obra o en caso de pérdida de consistencia.

- Controlar el rango de dosificación de los aditivos empleados, sin que excedan el máximo ni el mínimo recomendado en cada caso.

- En la colocación mediante vertido directo del hormigón evitar la caída directa desde alturas superiores a los dos metros.

- Al hormigonar sobre una junta fría se debe eliminar la lechada de cemento existente con chorreado de arena o agua a presión, y aplicar puente de unión, con el fin de asegurar una buena adherencia con el soporte reciente.

- Compactar con vibrado de abajo hasta arriba, hasta ver aparecer una humectación brillante en superficie.

- Respetar en cualquier caso los tiempos de curado recomendados.

3. Trabajo Consultado:

Tema: Concreto de baja permeabilidad, algo más que disminuir la relación agua / cemento [4].

Nombre del Autor: Germán Hermida Ph.D.

Año de Investigación: 2011

Lugar de investigación: Bogotá – Colombia.

Universidad: Universidad Nacional de Colombia.

Objetivo de la investigación: Determinación de la relación a/c y las variables que intervienen para la fabricación de hormigones impermeables.

Concluye que:

- El presente artículo propone tres propiedades y valores límite a cumplir para un concreto especificado como concreto de baja permeabilidad (CBP). Estas propiedades corresponden a absorción capilar, permeabilidad y retracción por secado.
- La condición de concreto de baja permeabilidad en cuanto a la penetración del líquido puede lograrse estableciendo relaciones agua/cementante máximas, pero dichos límites no consideran la retracción del concreto que es independiente de la relación A/C. La no consideración de la retracción con la sola especificación de la A/C, deja abierta la posibilidad de una fisuración y por lo tanto a la pérdida de la condición de baja permeabilidad.

- Un nivel de permeabilidad o absorción capilar dado puede lograrse usando ya sea una relación A/C determinada o una relación A/C más alta más un aditivo bloqueador de poros. Esta última condición puede resultar más económica, pero más importante aún implica un menor contenido de pasta de cemento (cemento+ agua) lo que disminuye el riesgo de fisuración.
- El concreto que cumple en las series ensayadas con las condiciones de un concreto de baja permeabilidad fue en este caso, un concreto con una relación A/C de 0.45 y un 2% del aditivo impermeabilizante bloqueador de poros. Esta condición de impermeabilidad resulta equivalente a la de un concreto con una A/C entre 0.40 y 0.42.

4. Trabajo Consultado:

Tema: Permeabilidad del hormigón a los gases y líquidos. Nuevo método de determinación [5].

Nombre del Autor: S. Alegre, Ingeniero Industrial y J. A. Lechuga, Ingeniero Químico. CABI, S.A. (Barcelona).

Año de investigación: Julio/Agosto/Septiembre 1984.

Lugar de investigación: Barcelona – España.

Institución: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Objetivo de la investigación: Se presenta un nuevo método de medición de la impermeabilidad del hormigón a gases y líquidos, de ejecución muy sencilla. Se desarrolla su fundamento teórico y se correlacionan algunos resultados obtenidos con la resistencia a compresión del hormigón y con los componentes empleados

en su dosificación. De todo ello, se deduce la conveniencia de replantear los criterios actualmente empleados para cuantificar las prestaciones del hormigón.

Concluye que:

- El método expuesto ha permitido cuantificar las permeabilidades de numerosos tipos de hormigón, y aportar nuevas experiencias que abundan en el sentido de incluir a reconsiderar los criterios clásicos de pretender enriquecer las especificaciones técnicas del hormigón en base a fijar mínimos a alguno de sus componentes, o a acotar las relaciones entre ellos. El criterio podría ser el de fijar las permeabilidades al hormigón (o fijarlas mediante la oportuna correlación con la resistencia a compresión). Estas limitaciones podrían ser fijadas en función del medio en el que el hormigón deba desarrollar su acción resistente.

- Con estos planteamientos podría proyectarse, controlarse y/o construirse, diseñando el hormigón de forma más acorde con las prestaciones que de él se esperen.

5. Trabajo consultado:

Tema: Permeabilidad y Porosidad en Concreto [6].

Nombre del Autor: Ligia M. Vélez.

Año de investigación: diciembre 2010.

Lugar de investigación: Medellín – Colombia.

Universidad: Instituto Tecnológico Metropolitano.

Objetivo de la investigación: Se preparó concreto poroso, material compuesto por una matriz cementítica y un agregado como refuerzo, con la característica de permitir la infiltración de agua. La permeabilidad de estas mezclas se obtiene usando áridos con un volumen significativo de huecos entre las partículas y con ausencia total de finos. Se estudió la influencia de la permeabilidad del concreto poroso en: el volumen de poros permeables, porcentaje de absorción total, densidad y propiedades mecánicas resistencia a la compresión y flexo tracción 28 días. Este estudio encontró una dosificación de concreto poroso, lo que permite obtener resistencias altas, manteniendo una excelente permeabilidad del concreto poroso.

Concluye que:

- La permeabilidad es controlada principalmente por la porosidad de la pasta de cemento. Sin embargo la permeabilidad no es una función simple de la porosidad ya que es necesario que los poros se encuentren interconectados; es decir, que para los mismos niveles de porosidad, el concreto poroso puede tener diferentes valores de permeabilidad si sus poros se interconectan en forma ininterrumpida o no.
- Los resultados muestran una permeabilidad de 2.342mm/s, con un porcentaje real de huecos del 11%, cemento en una proporción de 350kg/m³, permitiendo resistencias a flexo tracción y a compresión veintiocho días respectivamente de 3MPa y 33MPa utilizando diferentes razones agua/cemento.
- Se encontraron relaciones entre la permeabilidad y las resistencias del concreto poroso con certezas del 100% y del 96.1%, sin embargo, con los modelos matemáticos de Balshin, Ryskovish, Schiller y Hasselman con relación a la porosidad del concreto no se encontraron similitudes.

INGENIERÍA CIVIL

La ingeniería, mediante el uso de diversos modelos y técnicas, intenta solucionar distintos problemas y satisfacer variadas necesidades de los seres humanos. Los profesionales en esta ciencia, que reciben el nombre de Ingenieros, combinan el método científico con su creatividad para llevar a cabo sus proyectos.

La especialidad de la ingeniería que se encarga de la creación de infraestructuras, obras de transporte y emprendimientos hidráulicos se denomina Ingeniería Civil. Por lo general se encarga de las obras públicas y de desarrollos de gran envergadura [8].

ENSAYO DE MATERIALES

Dentro de la formación de todo Ingeniero Civil es indispensable el estudio de los llamados Ensayos de Materiales. Denominado así al conjunto de ensayos que se realizan a los materiales analizados principalmente a los que tienen que ver con la construcción y el fin principal, es determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales. Estos ensayos se clasifican en:

- Destructivos y no destructivos, que están en función del deterioro que se pueda incurrir en el material.
- Técnicos – Científicos, dependiendo de la finalidad que tenga el ensayo que se realiza.
- Ensayos Físicos – Químicos – Mecánicos, que básicamente dependerá de las propiedades que se requieran determinar.

Definiremos así también varios términos de uso común.

PASTA

Se refiere a la matriz aglutinante formada por agua, cemento y aire (que puede ser incorporado o añadido naturalmente durante el mezclado en proporciones mínimas).

MORTERO

El mortero resulta de la mezcla de la pasta ya definida con agregado fino (arena) cuya finalidad tiene diversos usos tales como la unión de mampuestos para formar mamposterías, nivelación de pisos, recubrimiento de paredes y tumbados, etc., estos entre las principales aplicaciones.

HORMIGÓN

Se definiría como la mezcla de mortero adicionado agregado grueso (ripio o grava).

HORMIGÓN EN MASA

Es el hormigón que es vertido en moldes, los que son confeccionados previamente para darle forma a la roca resultante sometido a esfuerzos de compresión.

HORMIGÓN CICLÓPEO

Es un tipo de material que consiste en la mezcla de un mortero adicionado rocas en masa de tamaño mínimo nominal de 200mm, utilizado generalmente para cimientos.

HORMIGÓN LIGERO

Un tipo de hormigón producto de la mezcla de mortero adicionado agregado grueso, con la particularidad que la densidad de los agregados es baja.

HORMIGÓN ESTRUCTURAL

Hormigón armado con armaduras generalmente barras de acero.

HORMIGÓN ARMADO

Contiene armaduras generalmente barras de acero, con la particularidad que éste tipo de material tiene la posibilidad de trabajar a flexión y compresión.

HORMIGÓN PRETENSADO

Es un elemento de hormigón que en su interior contiene elementos de acero sometidos a cargas de tracción. Estas cargas son aplicadas previamente y éstas pueden ser permanentes.

HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA

Son hormigones que tienen un elevado grado de resistencia a la compresión, valores característicos por la dosificación, el tipo de agregados, puesta de obra y curado. Este tipo de hormigones presentan mejores características permeables, retracción, resistencia a la abrasión. En definitiva una durabilidad mayor.

HORMIGONES IMPERMEABLES

“Se podría pensar que un concreto impermeable, es un elemento de concreto en el que una de sus caras está en contacto con un líquido (v.g. agua) mientras que la cara opuesta permanece seca. Esto en realidad no es un concreto impermeable, se puede tener un concreto con una permeabilidad muy alta en el que la cara opuesta a la que está en contacto con el agua permanece seca, debido a que tiene un espesor de varias decenas de metros. Es decir un caudal nulo o muy bajo de agua que puede apenas atravesar un muro delgado de concreto de baja permeabilidad o el mismo caudal obtenerse con un muro muy grueso con un concreto de alta permeabilidad.

Así mismo estructuras de concreto de igual geometría construidas con la misma calidad de concreto pueden ser atravesadas o no por el agua dependiendo de la presión de esta y del área en contacto.

Como vemos tanto la geometría como la presión del agua y área en contacto son variables externas al material mismo, relacionadas con la estructura y su entorno.

Cuando se define hormigón impermeable se define solo el material sin tener en consideración los aspectos de la estructura o si habrá o no agua del otro lado de la estructura.

La definición de concreto impermeable es similar a la de un concreto de alta resistencia. Es decir se define la propiedad del material como tal y no su funcionamiento en la estructura.

Un concreto de alta resistencia es aquel que cuenta con una resistencia a la compresión superior a 60MPa (independientemente de su edad)". [9, p. 18]

CEMENTO

Es un material que proviene de la calcinación de materiales arcillosos y piedras calizas previamente trituradas, se secan y son mezcladas en proporciones adecuadas y puestas en hornos rotatorios donde son calcinados a temperaturas mayores a 4.000°C hasta formar el Clinker. Los cementos portland son denominados hidráulicos debido a que fraguan, endureciendo al ser mezclados con agua, este proceso se denomina hidratación, reacción química que finalmente a este material puede ser moldeado para terminar como una roca.

AGUA

Este elemento como constituyente del hormigón es el encargado de reaccionar con el cemento para que se forme la matriz aglutinante.

Hay que tener en cuenta que de la calidad del agua que sea agregada en la mezcla dependerá la fluidez de la pasta, haciendo que sea mayor o menor, luego de fraguada la mezcla una parte del agua permanecerá como parte del hormigón y otra quedará libre.

Si aumentamos la cantidad de agua de mezclado, la parte de agua que quedará fija en el hormigón será la misma, pero el agua libre evidentemente aumentará con lo que la porosidad del hormigón resultante debido a que con el paso de las horas el agua libre tiende a evaporarse dejando espacios libres y pequeños conductos.

Entonces se obtendrá un hormigón en el cual la resistencia disminuye y la permeabilidad aumenta. De aquí parte la importancia de que se tenga en cuenta que la cantidad de agua colocada en la mezcla sea la óptima obtenida en el respectivo diseño de hormigón por los métodos conocidos y más utilizados en nuestro medio.

Como parte de la presente investigación se aportará con varios datos que son necesarios tener en cuenta al seleccionar el tipo de agua de mezcla que usamos en hormigones en nuestro medio.

Tabla 1.- Concentración tolerable de impurezas en agua de mezcla.

TIPO DE IMPUREZA	VALOR MÁXIMO RECOMENDADO
Ácidos inorgánicos (ácido sulfhídrico)	10.000 ppm
Aceite mineral (por masa de cemento)	2%
Aguas con algas	NO RECOMENDABLE
Agua de mar <ul style="list-style-type: none"> • Para concreto no reforzado • Para concreto pretensado o reforzado 	35.000 ppm NO RECOMENDABLE
Aguas sanitarias	20 ppm
Azúcar	500 ppm
Carbonato de calcio y magnesio	400 ppm
Carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio	1.000 ppm ³
Cloruro de calcio	30.000 ppm
Cloruro de Magnesio	40.000 ppm
Cloruros: <ul style="list-style-type: none"> • Estructuras con bajo potencial de corrosión y condiciones secas • Hormigón pretensado • Estructuras con elementos galvanizados y de aluminio 	20.000 ppm 500 ppm 1.000 ppm
Hidróxido de potasio (por masa de cemento)	1.2%
Hidróxido de Sodio (por masa de cemento)	0.5%
Partículas en suspensión	2.000 ppm
pH	6 – 8
Sales de hierro	40.000 ppm
Sales de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo	500 ppm
Sulfato de magnesio	25.000 ppm
Sulfato de sodio	10.000 ppm
Sulfito de sodio	100 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: [1, p. 52]

Tabla 2.-Ensayos sobre el agua de mezclado para concreto.

TEMA	NORMA NTC *	NORMA ASTM
Agua para la elaboración de hormigón y mortero de cemento hidráulico	3459	
Acidez y alcalinidad		D1067
Calcio y magnesio		D511
Cloruros	1623	D512
Definición de términos relativos al agua		D1129
Dureza	1604	
Partículas y materia disuelta en el agua		D1888
pH		D1293
Sulfatos	1603	D516
Turbiedad	881	

Fuente: [1, p. 54]

*NTC.- Norma técnica Colombiana.

ADITIVO

Los aditivos son materiales distintos al agua, a los agregados, al cemento y de cualquier tipo de fibras de refuerzo que son utilizados como ingredientes para conformación del hormigón, que son añadidos a la mezcla antes o durante el proceso de mezcla con la finalidad de modificar las propiedades de trabajabilidad o las propiedades del hormigón endurecido.

Los aditivos tienen la misma antigüedad del hormigón, se sabe que en el imperio Romano ya se utilizaban diferentes tipos de materiales que se mezclaban con el hormigón los que tenían como finalidad mejorar la calidad del hormigón y sus propiedades cementantes aumentando también la durabilidad del mismo.

Solamente cuando se inició con la producción del cemento en el siglo XX, es que se comenzó a realizar estudios sobre las diferentes sustancias y sus efectos sobre el hormigón.

USOS DE ADITIVOS

Son utilizados principalmente para modificar las propiedades del hormigón y de los morteros. Esta modificación puede ser realizada durante las etapas de fabricación del hormigón cuando está fraguando, cuando éste está en estado fresco o finalmente cuando el hormigón ha endurecido. La finalidad es que en cualquiera de las etapas el hormigón cumpla con ciertas normas o especificaciones que pueden ser para el tipo de obra que se ejecutará. Al utilizar los aditivos correctos podemos llegar a una optimización de recursos tal, que con otros métodos no podríamos lograrlo como son:

- Reducir los costos de fabricación del hormigón al lograr modificar las relaciones a/c por ejemplo sin perjudicar la resistencia.
- Obtener las especificaciones requeridas para un hormigón cuando este está expuesto a condiciones ambientales desfavorables como por ejemplo temperaturas muy bajas cercanas a la congelación, etc.
- Aumentar resistencias especificadas a edades más tempranas.
- Aumentar la durabilidad del hormigón logrando hormigones más compactos.

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN CON LA ADICIÓN DE ADITIVOS

Como ya se dijo el hormigón en sus diferentes etapas es modificado por la utilización de aditivos como se indica a continuación:

Hormigón en estado fresco:

- Mejoramiento de la trabajabilidad entre hormigones de la misma relación agua-cemento o reduciendo la cantidad de agua.

- Las mezclas son más cohesivas y se disminuye el riesgo de que se produzca segregación de los agregados.
- Aditivos que mejoran la bombeabilidad del hormigón cuando se lo tiene que impulsar con equipos neumáticos hasta puntos altos. Un aditivo podría reducir la presión necesaria para obtener un mismo caudal de hormigón.

Hormigón durante el fraguado:

- Aceleración o retardado del fraguado del hormigón por transporte a largas distancias o por requerir resistencias mayores a edades más tempranas.
- Reducir la temperatura del calor de hidratación cuando se tiene hormigones en grandes volúmenes.
- Reducción del apareamiento de grietas por retracción del hormigón.
- Reducción del sangrado y de la exudación en el hormigón.

Hormigón en estado endurecido:

- Aumento de la resistencia del hormigón a cualquier edad del hormigón.
- Aumento de la resistencia a la compresión, a la flexión y a la tracción.
- Aumento de la durabilidad del hormigón al estar expuesto a condiciones muy extremas o severas.
- Reducción de la permeabilidad
- Por la expansión en la reacción Álcali-Agregado llegar a un control del mismo.

CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS

La clasificación de los aditivos viene dada por el efecto que produce el respectivo aditivo sobre el hormigón.

ADITIVOS MÁS UTILIZADOS

PLASTIFICANTES

Se trata de aditivos reductores de agua. Estos aditivos han sido desarrollados a partir de la ley de Abrams, en donde se indica que la resistencia a la compresión del hormigón es inversamente proporcional a la relación agua-cemento que tenga éste.

El efecto que tienen los plastificantes en la masa del hormigón es hacer que se dispersen las partículas de cemento, así se obtiene mayor fluidez. Si aumentamos la fluidez nos permitiremos poder reducir la cantidad de agua para llegar a un asentamiento igual. Generalmente éstos aditivos están compuestos por ligninas y ácidos carboxílicos. La efectividad de la utilización de éstos aditivos viene de la composición química, de la temperatura del hormigón, de la finura del cemento, del contenido de cemento en la mezcla y de la presencia o no de otros aditivos [1, pp. 90-92].

RETARDANTES

Estos aditivos se utilizan principalmente para compensar el rápido fraguado ocasionado por las altas temperaturas (mayores a 32°C) y para poder mantener el hormigón trabajable durante el proceso de vaciado, así como para evitar la formación de juntas frías o discontinuidades en el hormigón. El fraguado de hormigones en altas temperaturas se acostumbra a retardar enfriando el agua de mezclado. Los aditivos retardantes no bajan la temperatura inicial del hormigón. Los azúcares son las principales materias primas de estos aditivos, hay que tener en cuenta que pequeñas cantidades reduce la velocidad de fraguado, pero en dosis muy altas se puede llegar a inhibir la reacción de hidratación del cemento. El uso de retardantes conlleva también a la reducción de la resistencia a edades tempranas (de uno a tres días) [1, p. 92].

ACELERANTES

Los acelerantes son aditivos que son adicionados al hormigón con la finalidad de reducir el tiempo de fraguado y acelerar el desarrollo de la resistencia a edades tempranas. Existen acelerantes que reaccionan directamente con el cemento, como es

el caso del cloruro de calcio, y otros que actúan catalizando la reacción, como la trietanolamina, la cual es más costosa y menos efectiva. Normalmente los acelerantes se fabrican a partir del cloruro de calcio, aunque su uso no es aconsejable en hormigón armado ni preesforzado, porque aún en pequeñas dosis puede promover la corrosión. La dosis máxima aconsejable de cloruro de calcio es del 2% de la masa de cemento, pues una sobredosificación, aumenta la tasa de endurecimiento, incrementa la contracción durante el secado y disminuye la resistencia a edades tardías.

En términos generales utilizamos este tipo de aditivos cuando se requiere desencofrar rápido para dar servicio a una estructura en corto tiempo.

No se recomienda el uso de cloruro de calcio ni de aditivos que contengan cloruros solubles, bajo las siguientes condiciones:

- En hormigón preesforzado, debido a los posibles riesgos de corrosión.
- En hormigones que contengan aluminio embebido (tubos – conductos), por la corrosión que puede producirse y esta puede ser muy severa en el aluminio.
- En hormigones sujetos a reacciones álcali-agregado o en medios agresivos con sulfatos.
- En losas de piso en que se trate de dar acabados metálicos.
- En climas cálidos.
- En hormigones masivos. [1, p. 93]

PLASTIFICANTES RETARDANTES

Los plastificantes retardantes combinan los efectos de retardantes y de plastificantes. Para lograr una reducción de agua de mezcla para una cierta manejabilidad y también reducir el tiempo de fraguado al mismo tiempo [1, p. 94].

PLASTIFICANTES ACELERANTES

Permiten la disminución del contenido de agua para una manejabilidad determinada y acelera el fraguado y mayores resistencias a edades tempranas al mismo tiempo.

SUPERPLASTIFICANTES

Estos son los aditivos más modernos que existen en la familia de los aditivos convencionalmente utilizados, con éstos podemos lograr una reducción de entre el 12% y el 30% de agua. Al reducir el agua en la relación agua-cementos podemos llegar a obtener mayores resistencias en los hormigones en edades tempranas. Son aditivos fabricados a partir de melanina sulfatada o condensados de naftalina formaldehído.

Obtenemos un hormigón de mayor fluidez sin afectar la resistencia final a la compresión, en elementos estructurales fuertemente armados y con vibración mínima. Son utilizados especialmente para fundir muros altos y angostos o columnas de gran altura.

ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE

Este tipo de aditivos se utiliza con el fin de obtener burbujas microscópicas de aire en el hormigón, lo que busca disminuir la permeabilidad, la segregación y el sangrado, así como también, aumentar la durabilidad frente a los ataques de agentes químicos, tales como los sulfatos y los ácidos. En países de clima templado son indispensables para proteger el hormigón en los ciclos de congelamiento-descongelamiento. El contenido de aire debe estar entre el 3% y el 6% por volumen de hormigón para proporcionar una satisfactoria protección en medios agresivos, la cantidad de aire incorporado depende, entre otros factores, de la proporción de materiales, del tamaño máximo del agregado grueso y del tipo de cemento [1, p. 94].

IMPERMEABILIZANTES

Los aditivos impermeabilizantes reducen la velocidad con la que el agua a presión circula a través del hormigón. Normalmente para tal fin, se emplean aditivos minerales, como el humo de sílice, los cuales reducen la permeabilidad por medio del proceso de hidratación y reacción puzolánica. Grados seguros de impermeabilidad pueden ser logrados, sin necesidad de emplear impermeabilizantes, cuando se disminuye el contenido de agua o se aumenta el contenido de cemento y el período

de curdo húmedo. Algunos aditivos tales como los inclusores de aire, plastificantes y superplastificantes aumentan la impermeabilidad del hormigón.

CLASIFICACIÓN DE ADITIVOS PARA HORMIGÓN

Tabla 3.- Clasificación de los aditivos para hormigón.

TIPO ADITIVO	EFECTO DESEADO
ADITIVOS CONVENSIONALES	
Plastificantes	Plastificar o reducir agua entre 5% y el 12%
Retardantes	Retardar el tiempo de fraguado
Acelerantes	Acelerar el fraguado y el desarrollo de la resistencia a edades tempranas.
Plastificantes retardantes	Plastificar o reducir el agua entre el 5% y el 12% y retardar el fraguado.
Plastificantes acelerantes	Plastificar o reducir agua entre el 5% y el 12% y acelerar el fraguado.
Superplastificantes	Superplastificar o reducir el agua entre el 12% y el 30% y retardar el tiempo de fraguado.
INCLUSORES DE AIRE ADITIVOS MINERALES	AUMENTAR LA IMPERMEABILIDAD Y MEJORAR LA TRABAJABILIDAD
Cementantes	Aumentar propiedades cementantes Sustituir parcialmente el cemento
Puzolanas	Mejorar la trabajabilidad, la plasticidad, la resistencia a los sulfatos. Reducir la reacción álcali-agregado, la permeabilidad y el calor de hidratación. Sustituir parcialmente el cemento y rellenar.
Inertes	Mejorar la trabajabilidad y rellenar
ADITIVOS MISCELÁNEOS	
Formadores de gas	Provocar expansión antes del fraguado
Impermeabilizantes	Disminuir la permeabilidad

Ayudas de bombeo	Mejorar la capacidad de bombeo
Inhibidores de corrosión	Reducir el avance de la corrosión en ambientes con cloruros
Colorantes	Colorear hormigón

Fuente: [1, p. 91]

AGREGADOS

Los agregados en el hormigón están presentes en un porcentaje promedio del 75% aproximadamente. Estos son definidos como material inerte que poseen una resistencia propia. Se justifica su utilización es por ser un material de relleno, haciendo más económica la mezcla, estos en combinación con la pasta al fraguar proporcionarán una parte de la resistencia propia que el hormigón posee a la compresión. Además controlan el cambio volumétrico del hormigón durante el proceso de endurecimiento evitando grietas por la retracción plástica causa de que la resistencia puede verse afectada reduciendo la resistencia.

Hay que tener en cuenta que tiene mucho que ver la resistencia del hormigón con el tipo de agregados que son utilizados en la mezcla. Por lo indicado el origen de los agregados tiene mucho que ver con la calidad de los mismos. Además de su origen también la granulometría, la densidad, forma de los agregados y la superficie de los mismos.

CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS

Los agregados se denominan gruesos o finos, los gruesos se refieren a las gravas y los finos a las arenas.

Tabla 4.-Clasificación de los agregados según su origen.

PORFIRÍTICO Apilita Dacita Felsita Granófiro Querátofiro Microgranito Pórfido Cuarzo - porfirita Reolita Tranquita	BASÁLTICOS Andesita Basalto Porfiritas básicas Doleritas Epidiorita Lamprófico Cuarzo – dolerita Espilita	GÁBRICO Diorita básica Gneis básico Gabro Hornoblenda - roca Norita Periodotita Picrita Serpentina
GRANÍTICO Gneis Granito Granodiorita Granulita Pegmatita Cuarzo-diorita Sienita	ARENISCA Arcosa Grawaca Arenisca Tufa	ESQUISTOSO Filita Esquisto Pizarra Rocas fracturadas
PEDERNALIO Horsteno Pedernal	CALIZA Dolomita Caliza Mármol	CUARZOSO Arcilla refractaria y cuarcita cristalizada
HORNO FÉLSICO Rocas metamórficas, excepto el mármol		AGREGADOS ARTIFICIALES

Fuente: [1, p. 58]

Tabla 5.- Clasificación según el tamaño.

TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS EN mm (TAMIZ)	DENOMINACIÓN CORRIENTE	CLASIFICACIÓN COMO AGREGADO PARA CONCRETO
< 0,002	Arcilla	Fracción muy fina
0,002-0,074 (No. 200)	Limo	
0,075 – 4,76 (No.200) – (No.4)	Arena	Agregado fino
4,76 – 19,1 (No.4) – (3/4")	Gravilla	Agregado Grueso
50,8 – 152,4 (2") – (6")	Piedra	
>152,4	Piedra bola Molón	

Fuente: [1, p. 59]

AGREGADOS FINOS

Las arenas de acuerdo a su procedencia se clasifican:

- De río
- De playa
- De mina
- Artificiales

DE RÍO

Son los más usados las que son extraídas de las riveras de los ríos, para su utilización se debe procurar estén libres de suelo, sus partículas por lo general son redondeadas por el efecto del arrastre por el agua. Siempre es preferible tener elementos con formas angulosas y no redondeadas para asegurar mejor adherencia dentro de la mezcla del hormigón.

DE PLAYA

Para la utilización de este material es recomendable se realice un proceso de lavado con agua dulce para así eliminar cualquier tipo de sales alcalinas provenientes del mar y que al ser utilizadas como mortero para recubrimiento de mamposterías pueden producir eflorescencias las que son perjudiciales en los acabados.

DE MINA

Son depósitos que se encuentran indistintamente en varias zonas las cuales pueden ser aprovechadas, generalmente son de grano anguloso, pueden contener arcillas o materia orgánica.

ARTIFICIALES

Estas arenas son las que provienen o son el resultado de la trituración de rocas en canteras, el inconveniente es que suelen tener mucho polvo fino lo que hace que en la mezcla se utilice mayores cantidades de cemento para cubrir las partículas.

FORMA Y TEXTURA DE LOS AGREGADOS

FORMA

La forma de los agregados es una de las propiedades más importantes que depende de su origen y de su proceso de obtención, siendo las formas de los agregados las siguientes:

- Partículas redondeadas.
- Partículas angulares.
- Partículas irregulares.
- Partículas alargadas.

Hay que tener en cuenta que si se requiere una máxima resistencia e impermeabilidad es necesario que los agregados presenten máxima compactabilidad con el mínimo contenido de impurezas.

TEXTURA

Se definirá ésta propiedad de los agregados como el acabado que presente la superficie de los agregados, ésta puede ser entonces:

- Lisa
- Granular
- Áspera
- Apanalada

SUPERFICIE LISA

Superficies que generalmente se observan desgastadas por la fricción o frotamiento, también por la acción del agua, serán utilizadas en hormigones de baja resistencia.

SUPERFICIE GRANULAR

Una superficie con granulaciones distribuidas uniformemente y duras al tacto.

SUPERFICIE ÁSPERA

Al tocarlos se presentan variedad de tamaños sintiéndose rugosidad y aspereza al tacto. Este tipo de agregado es el más recomendable ser utilizado para la confección de hormigón ya que su rugosidad hace que las partículas presenten mejor adherencia dentro de la matriz del hormigón.

SUPERFICIE APANALADA

Superficies porosas y cavidades que son visibles, no las hacen aptas para ser utilizadas para la confección de hormigones de altas resistencias porque su estructura es frágil.

COLOR DE LOS AGREGADOS

El color de los agregados viene estrechamente vinculado al origen de la roca, pueden ser de color azul plomizo y también gris. Los agregados de color azul plomizo pueden ser granodiorita de calidad buena, los agregados de color gris son andesita que es de calidad buena también. Los materiales menos recomendables para su utilización en la confección del hormigón son los de colores rojizos o de color café perjudiciales por presentar oxidación perjudicial.

ADHERENCIA

Es una de las principales propiedades que deben tener los agregados, ya que de esta depende mucho la resistencia del hormigón. Esta propiedad específica en los agregados se refiere a la interacción que existe en el espacio comprendido entre el agregado y la pasta. Hay que mencionar que esta propiedad depende mucho de la forma, textura y rigidez de los agregados y de la calidad de la pasta.

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

Es la máxima cantidad de agua expresada en porcentaje que una partícula de agregado puede absorber desde un estado húmedo hasta un estado saturado superficie seca.

El contenido de humedad se define como el porcentaje de agua que poseen los agregados en cualquier instante analizado.

ABULTAMIENTO DE LA ARENA

Al añadirse agua a la arena, tenderá a aumentar de volumen por la presión capilar entre las partículas de agua añadida, a mayor finura de la arena mayor será el abultamiento resultante del orden del 40% con un 10% de agua añadida. Lo que se quiere decir es que un metro cubico de arena al añadirse 10 litros de agua ésta puede llegar a expandirse hasta 1.4m³.

SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN LOS AGREGADOS

Las principales sustancias perjudiciales en los agregados que influyen directamente en las propiedades de los hormigones fabricados con éstos son:

- Materia Orgánica.
- Arcillas y materiales finos.
- Contaminación Salina.
- Partículas Inestables.
- Reacción Alkali-agregado.

MATERIA ORGÁNICA

Los agregados al contener desechos animales, vegetales éstas evitan el desarrollo de las reacciones químicas propias de la hidratación del cemento.

ARCILLAS Y MATERIALES FINOS

Como ya se dijo la adherencia es una propiedad importante de la cual depende la resistencia final del hormigón, entre los agregados y la pasta o matriz cementante. Si el agregado grueso contiene polvo, arcillas o materiales finos éstos pueden provocar que la adherencia no sea total y dará lugar a que se creen puntos débiles de baja adherencia, finalmente puntos de baja resistencia.

CONTAMINACIÓN SALINA

Cuando la arena es de procedencia de playas o de bancos salinos, se debe tener especial cuidado con el contenido salino de las mismas. Las sales al secarse tienden a expandirse lo que provocaría fisuración por aumento de volumen. Si por otra parte el hormigón tiene refuerzo de acero, éste podría reaccionar desfavorablemente con las sales y provocar corrosión al interior del material.

PARTÍCULAS INESTABLES

Se refiere a los materiales tales como el carbón, madera o cualquier otro material que se puede destruir fácilmente. Estos perjudicarían a la mezcla y su funcionalidad final.

REACCIÓN ALCALI-AGREGADO

Se refiere a que algunos agregados pueden contener sílice que podría ser perjudiciales al reaccionar con el álcalis del cemento, lo que podría producir hinchazones que pueden ser difíciles de contener y provocando fisuras al interior y hasta la rotura de la pasta y por ende una disminución de la resistencia. [9, p. 54]

Para detectar la presencia de sílice en los agregados se debe efectuar ensayos de reactividad potencial que es un método químico y que se describe su realización en la norma ASTM C289. Reactividad potencial de álcalis según la norma ASTM C586. Realizados los ensayos se debe complementar la información con un análisis petrográfico según se describe en la norma ASTM C295.

GRANULOMETRÍA

Denominaremos a la granulometría como la composición en porcentaje de los diferentes tamaños de agregados presentes en una muestra de material, ya sea de agregado grueso o agregado fino. Las proporciones deben ser indicadas de mayor a menor tamaño indicando representativamente en peso el porcentaje parcial de cada tamaño de agregados que pasa o son retenidos en cada uno de los diferentes tamices que se usan según las normas específicas para tal fin.

Debemos obtener una buena mezcla entre el ripio y arena para obtener una granulometría tal que nos proporcione los valores máximos de masa unitaria. Esto conlleva a que los espacios entre las diferentes partículas sea el mínimo entonces la pasta (agua / cemento) requerida para unir las y para llenar los espacios entre ellas será también menor. Obtendremos así una mezcla de mejores características técnicas y sobre todo mejores características económicas.

El proceso del tamizado se realiza en base a la norma ASTM C136 en los que se describe el tamaño de la muestra requerida para el ensayo y los respectivos pasos para realizar el análisis de los valores obtenidos.

Tabla 6.- Denominación y abertura de tamices.

DENOMINACIÓN DEL TAMIZ	DESIGNACIÓN I.S.O.	DESIGNACIÓN ASTM EQUIVALENTE
150 mm	--	6"
125 mm	--	5"
106 mm	--	4.24"
*	--	--
90 mm	--	3 ½"
75 mm	--	3"
63 mm	--	2 ½"
53 mm	--	2.12"
*	--	2"
45 mm	--	1 ¾"
37.5 mm	--	1 ½"
31.5 mm	--	1"
26.5 mm	--	1.06"
*	--	1"
22.4 mm	22.4 mm	7/8"

19.0 mm	--	3/4"
16.0 mm	16.0 mm	5/8"
13.2 mm	--	0.53"
*	--	--
11.2 mm	11.2 mm	7/16"
9.5 mm	--	3/8"
8.0 mm	8.0 mm	5/16"
6.7 mm	--	0.265"
*	--	--
5.6 mm	5.6 mm	N° 3 1/2
4.75 mm	--	N°4
4.00 mm	4.0 mm	N°5
3.35 mm	--	N°6
2.80 mm	--	N°7
2.36 mm	--	N°8
2.00 mm	2.00 mm	N°10
1.70 mm	--	N°12
1.40 mm	1.40 mm	N°14
1.18 mm	--	N°16
1.00 mm	1.00 mm	N°18
850 µm	--	N°20
710 µm	710 µm	N°25
600 µm	--	N°30
500 µm	500 µm	N°35
425 µm	--	N°40
355 µm	355 µm	N°45
300 µm	--	N°50
250 µm	250 µm	N°60
212 µm	--	N°70
180 µm	180 µm	N°80
150 µm	--	N°100
125 µm	125 µm	N°120

106 μm	--	N°140
90 μm	90 μm	N°170
75 μm	--	N°200
63 μm	63 μm	N°230
53 μm	--	N°270
45 μm	45 μm	N°325
38 μm	--	N°400
Nota: *Tamices que no cumplen con la relación 1: $\sqrt[4]{2}$		

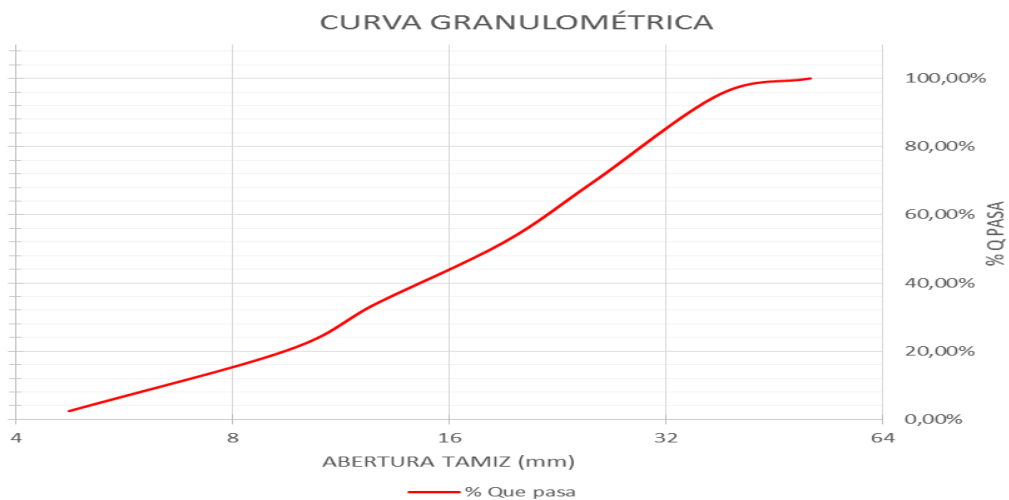
Fuente: [1, p. 67].

CURVAS GRANULOMÉTRICAS

Para confeccionar la curva granulométrica debemos conocer los porcentajes en masa de muestra que pasan por cada uno de los tamices seleccionados para dicho ensayo.

En el gráfico de las curvas representaremos sobre las ordenadas el porcentaje de material de la muestra que pasa el tamiz. En el eje de las abscisas se muestra la abertura de los tamices seleccionados para el ensayo según describe la norma respectiva, se lo realiza generalmente utilizando una escala logarítmica, obtenemos así entonces la curva granulométrica del material analizado. Como se puede observar a continuación un ejemplo de una curva granulométrica en la tabla mostrada.

Gráfico 3.- Modelo de gráfica de Curva granulométrica.



Fuente: Santiago Rodríguez V.

MÓDULO DE FINURA

El módulo de finura es un índice que nos ayuda a determinar las características que tienen los agregados. Este módulo es utilizado en los agregados finos (arena). Este módulo fue introducido por primera vez por Abrams.

El módulo de finura es definido como el número que obtenemos luego de proceder con la división por 100 de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie normalizada. El valor del módulo crece o decrece dependiendo del tamaño de los agregados presentes, es así que si los granos son más grandes o gruesos el módulo de finura es mayor y si los granos del agregado son más pequeños entonces el módulo se reduce también.

ESPECIFICACIONES DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS

Las granulometrías ideales solo existen a nivel teórico porque es muy difícil poder reproducirlos en la práctica. Existen dos curvas límites que son especificadas por las normas ASTM C33 para el agregado fino que será utilizado específicamente para la elaboración del hormigón.

Tabla 7.- Requisitos de granulometría de agregado fino para concreto según ASTM-C33.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
mm	Pulg	%
9.51	3/8	100
4.76	N°. 4	95 – 100
2.38	N°. 8	80 – 100
1.19	N°. 16	50 – 85
0.595	N°. 30	25 – 60
0.297	N°. 50	10 – 30
0.149	N°. 100	2 – 10

Fuente: [1, p. 75]

Tabla 8.-Requisitos de granulometría de agregado grueso para concreto según ASTM C33.

Agregado No.	Tamaño Nominal	Porcentaje que pasa cada uno de los siguientes tamices (mm)												
		100	90	75	63	50	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18
1	90-37.5	100	90-100	--	25-60	--	0-15	--	0-5	--	--	--	--	--
2	63-37.5	--	--	100	90-100	35-70	0-15	--	0-5	--	--	--	--	--
3	50-25.0	--	--	--	100	90-100	35-70	--	0-15	--	--	--	--	--
357	50-4.75	--	--	--	100	95-100	--	35-70	--	10-30	--	0-5	--	--
4	37.5-19	--	--	--	--	100	90-100	20-55	0-15	--	0-5	--	--	--
467	37.5-4.75	--	--	--	--	100	95-100	--	35-70	--	10-30	0-5	--	--
5	25.0-12.5	--	--	--	--	--	100	90-100	20-55	0-10	0-5	--	--	--
56	25.0-9.5	--	--	--	--	--	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-15	--	--
57	25.0-4.75	--	--	--	--	--	100	95-100	--	25-60	--	0-10	0-5	--
6	19.0-9.5	--	--	--	--	--	--	100	90-100	20-55	0-15	0-15	--	--
67	19.0-4.75	--	--	--	--	--	--	100	90-100	--	20-55	0-10	0-5	--
7	12.5-4.75	--	--	--	--	--	--	--	100	90-100	40-70	0-15	0-5	--
8	9.5-2.36	--	--	--	--	--	--	--	--	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Fuente: [1, p. 75]

ENSAYOS Y PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

Existen varios ensayos que se realizan al hormigón endurecido para determinar sus propiedades y asegurar su calidad requerida para la puesta en obra, como son las principales:

- Ensayo de resistencia a compresión.
- Ensayo a la resistencia a la flexión.

- Ensayo de tracción por compresión.
- Ensayo de penetración de agua.
- Módulo de elasticidad.
- Carbonatación.
- Retracción.

ENSAYO DE PENETRACIÓN DE AGUA

A continuación se detalla y describe la norma europea a utilizar en la presente investigación para llegar a determinar la permeabilidad de los hormigones ensayados en laboratorio, que textualmente dice:

El presente ensayo está basado sobre la Norma europea del comité técnico CEN/TC 104 “Hormigón: prestaciones, producción, puesta en obra y criterios de conformidad”, cuya secretaría desempeña DIN.

Esta norma pertenece a una serie de normas de métodos de ensayo del hormigón.

Está basada en el borrador de la Norma Internacional ISO (DIS) 7031 – Ensayos de hormigón endurecido. Determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión.

El uso de esta norma se ha restringido a los ensayos sobre probetas curadas en agua.

Se han omitido las especificaciones contenidas en el original del proyecto de norma ISO relativas a la determinación de la profundidad media de penetración.

Esta serie prEN 12390 incluye las partes siguientes, dándose entre paréntesis los números bajo los que estos métodos de ensayo se publicaron para encuesta CEN:

EN 12390 – Ensayos de hormigón endurecido.

Parte 1: Forma, dimensiones y otros requisitos para probetas y moldes (anteriormente prEN 12356:1996).

Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia (anteriormente prEN 12394:1996).

Parte 3: Resistencia a compresión de probetas de ensayo (anteriormente prEN 12394:1996).

Parte 4: Resistencia a compresión. Características de las máquinas de ensayo (anteriormente prEN 12390:1996).

Parte 5: Resistencia a flexión de probetas de ensayo (anteriormente prEN 12359:1996)

Parte 6: Rotura por tracción indirecta de probetas de ensayo (anteriormente prEN 12362:1996).

Parte 7: Densidad del hormigón endurecido (anteriormente prEN 12364:1996).

Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión (anteriormente prEN 12364:1996).

OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LA NORMA

Esta norma especifica un método para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en hormigones endurecidos que han sido curados en agua.

FUNDAMENTO

El agua es aplicada bajo presión a la superficie del hormigón endurecido. A continuación se divide la probeta por rotura en dos mitades y se mide la profundidad de penetración del frente de agua.

APARATOS

Equipo de ensayo.- El equipo consistirá en cualquier equipo en el que la probeta de ensayo, de dimensiones dadas, se pueda situar de tal manera que la presión del agua pueda actuar sobre la zona de ensayo y se visualice la presión aplicada de forma continua. Un ejemplo de un dispositivo de ensayo se muestra en la figura 1.

NOTA 1.- Es preferible que el equipo permita observar las otras caras de la probeta de ensayo.

NOTA 2.- La presión de agua se puede aplicar a la superficie de la probeta de ensayo ya sea por el fondo o por la parte superior.

Se debe realizar un sellado suficiente con caucho u otro material similar.

Las dimensiones de la zona de ensayo serán aproximadamente la mitad de la longitud del lado o del diámetro de la superficie de la cara de la probeta.

PROBETAS DE ENSAYO

Las probetas serán cúbicas, cilíndricas o prismáticas de longitud de lado, o diámetro, no menor de 150mm.

FORMA DE MEDICIÓN DE RESULTADOS PARA EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD

ALTURA MÁXIMA DE PENETRACIÓN.- Corresponde a la altura máxima de la huella de agua, medida desde la superficie de contacto hasta el punto máximo de penetración de agua, en cada una de las muestras, posterior a la rotura longitudinal de la misma por el ensayo a tracción indirecta.

Gráfico 4.- Forma de medir la altura máxima de la huella de penetración de agua a presión en una muestra en el ensayo de permeabilidad.

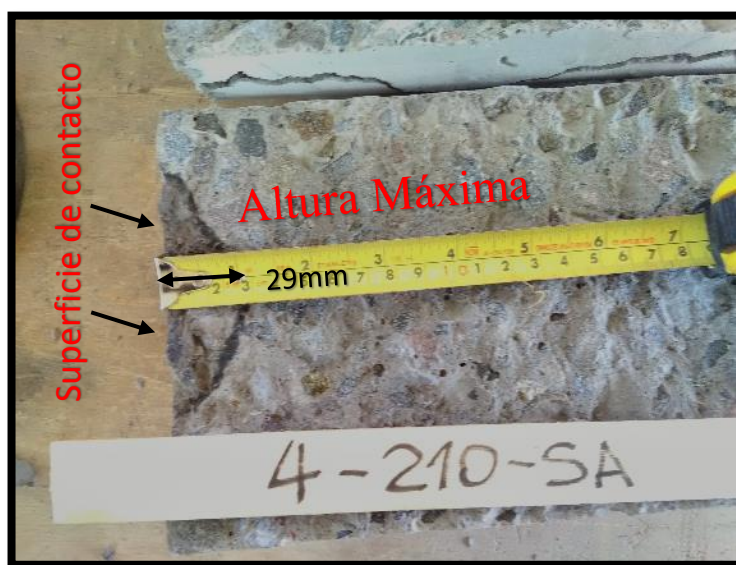


Gráfico 5.- Medición de Altura máxima de huella de penetración de agua a presión.



ALTURA MEDIA DE PENETRACIÓN.- Corresponde al promedio de penetraciones máximas obtenidas de los especímenes analizados con las mismas características.

2.2 HIPÓTESIS

El origen de los materiales y la adición de aditivo impermeabilizante será la principal causa para el comportamiento de la permeabilidad en hormigones.

2.3 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Origen local de materiales y la adición de aditivo impermeabilizante.

2.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Hormigones impermeables.

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los niveles de investigación a ser aplicados son: experimental y descriptivo.

El presente es experimental debido a que al analizar las propiedades de los agregados según su origen, se podrá establecer las características de los hormigones, tanto en su requerimiento principal de resistencia a la compresión como también a la permeabilidad. Describiremos también el uso de aditivo impermeabilizante y su incidencia final sobre las propiedades del hormigón endurecido y su aplicación a obras civiles en los que se requiera esta propiedad.

El nivel descriptivo para la presente investigación es debido a que no hay un conocimiento pleno sobre la calidad de los agregados con los que se elaboran hormigones, que al llegar a su estado endurecido sus propiedades finales como es la penetración de agua o permeabilidad también son ignoradas. Luego de la investigación propuesta se conocerán las propiedades del hormigón endurecido expuesto a la presión de agua sobre una de sus caras.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

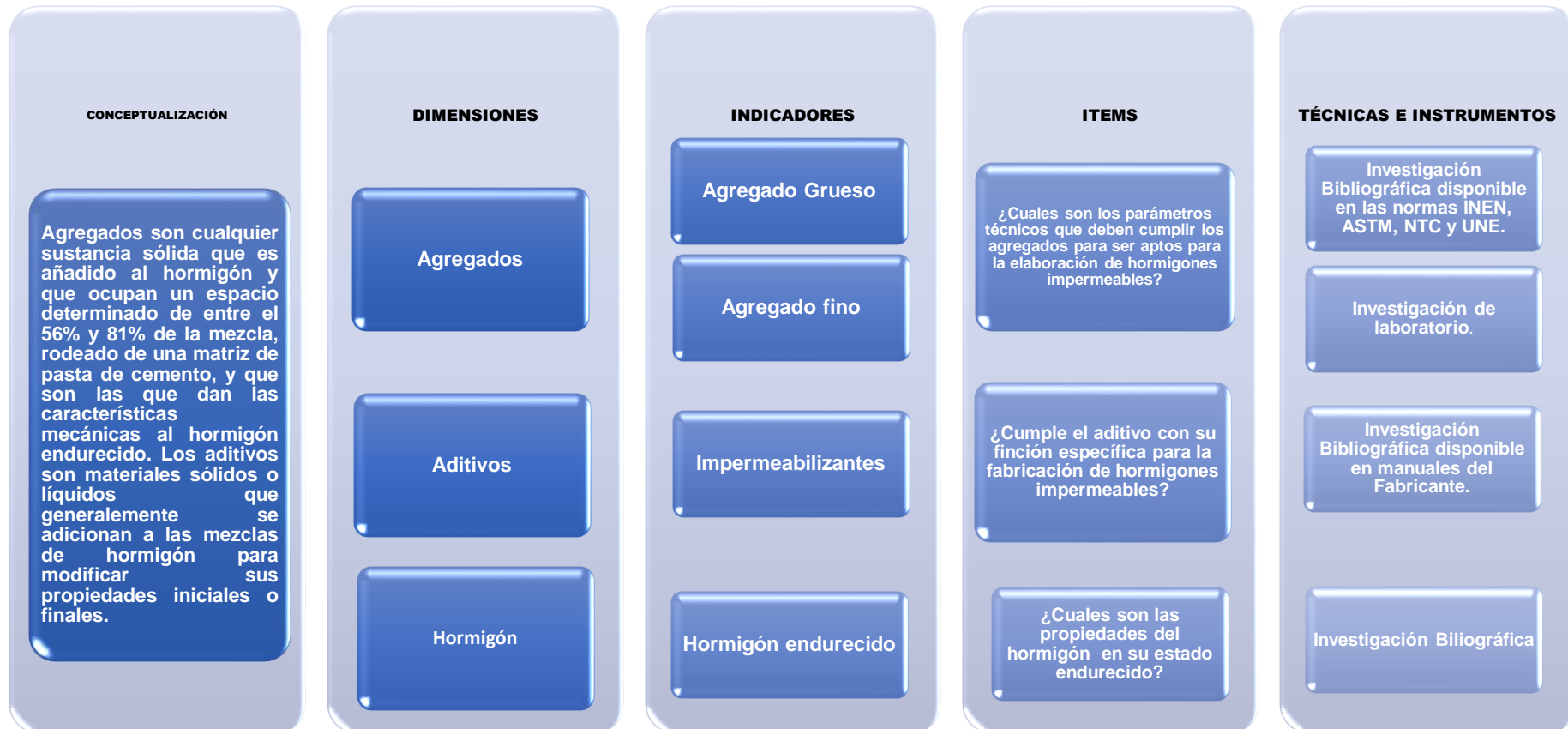
Para la presente investigación el universo es conformado por tres canteras, que son las principales fuentes de abasto de agregados para la confección de hormigones empleados en las diferentes obras civiles de la ciudad de Ambato. Las canteras analizadas son: Canteras Villacrés (Paso Lateral), Canteras Acosta (Vía Santa Rosa) y Mina San Sebastián (Vía Aguaján).

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

Materiales y Aditivo impermeabilizante.

Gráfico 6.-Operacionalización de la Variable Independiente.

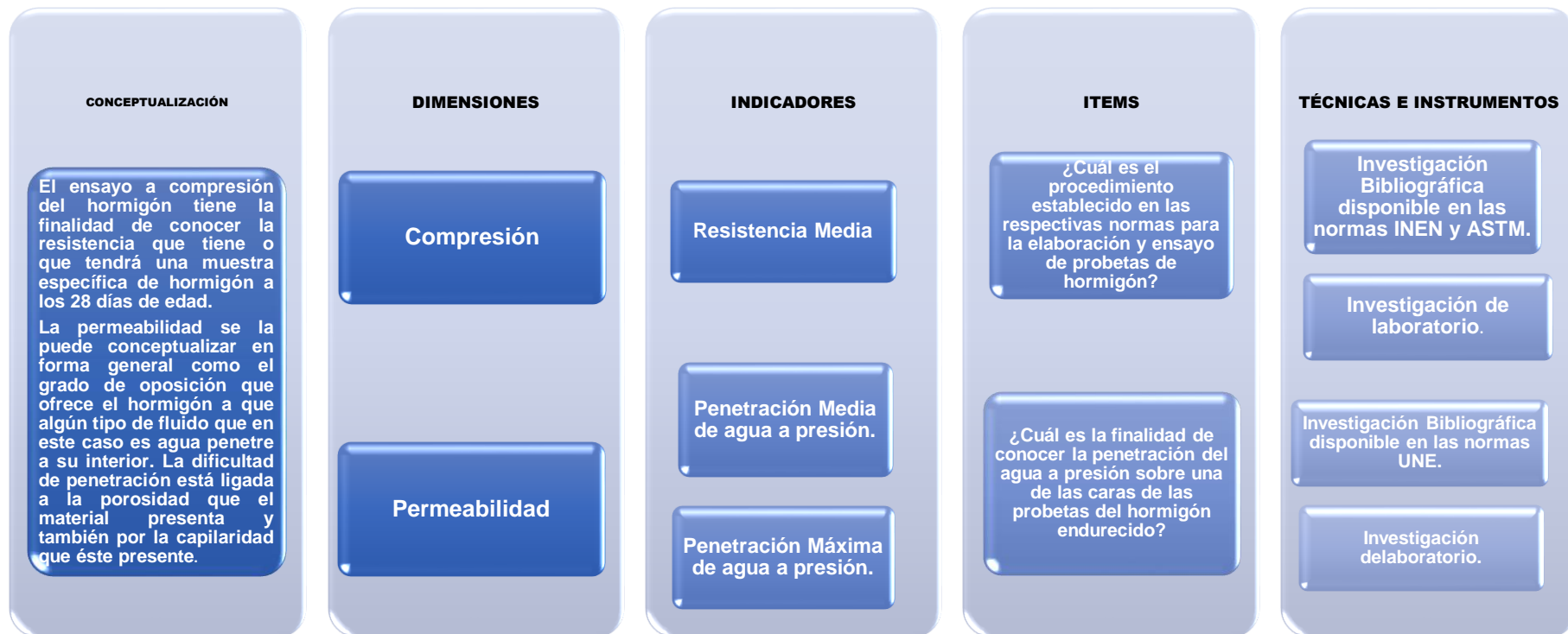


Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

3.3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

Hormigones Impermeables

Gráfico 7.- Operacionalización de la variable Dependiente.



Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 9.-Plan de Recolección de la Información.

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
1.- ¿Para qué?	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Determinar la influencia de los agregados por su calidad según su origen local de tres canteras de la ciudad de Ambato. ❖ Determinar el grado de penetración del agua en las probetas de hormigón luego de ensayar con agua a presión que se traduce en el grado de permeabilidad del hormigón. ❖ Determinar el grado de permeabilidad del hormigón en función de su resistencia y la adición de aditivo impermeabilizante.
2.- ¿De qué personas u objetivos?	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Materiales pétreos seleccionados de tres canteras de la ciudad de Ambato, uno de los cuales tendrá mejores características mecánicas. ❖ Probetas de hormigón de forma típica cilíndrica o cúbica según norma. ❖ Aditivo impermeabilizante específico para hormigones.
3.- ¿Sobre qué aspectos?	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Dosificación de los materiales para confección de hormigón según la resistencia requerida. ❖ Influencia del aditivo impermeabilizante en los hormigones según su resistencia. ❖ Influencia de la calidad de los agregados según su origen para la confección de hormigones.
4.- ¿Quién?	<ul style="list-style-type: none"> ❖ El investigador.

5.- ¿Dónde?	❖ Laboratorios de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
6.- ¿Cómo?	❖ Por medio de ensayos específico de laboratorio para permeabilidad y compresión del hormigón.

Fuente: Santiago Rodríguez V.

3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El plan de procesamiento y análisis de información y datos será el siguiente:

- Se realizará la toma y transporte de muestras obtenidas de las tres diferentes canteras de la zona del Cantón Ambato tanto de agregado grueso como agregado fino.
- Se comenzará con todos los ensayos previos para determinar las propiedades de los agregados que posteriormente se traducirán en las propiedades cualitativas de cada uno, y la elección final del material con el que se realicen los ensayos de permeabilidad.
- Se determinará la Densidad Real del Cemento (D.R.C.) para lo que debemos tener en cuenta que el cemento es uno de los materiales más pesados que existen con una densidad que llega a 3.10gr/m³. Este valor puede verse afectado incluso si las condiciones ambientales varían.
- La determinación de la propiedad D.R.C. (densidad real del cemento) se la puede realizar por dos métodos. El primero es el uso del Frasco de Chatelier o mediante un frasco volumétrico o picnómetro. De los anteriores se utilizará el Método del Picnómetro.
- Obtener primero el peso del picnómetro vacío P1. Añadimos la muestra de cemento en el picnómetro vacío y obtener el peso P2. Procedemos a colocar el material reactivo que para el caso sería gasolina hasta 1cm por debajo de la marca de aforo del picnómetro. Procedemos a tapar el picnómetro y agitar en forma rotacional para así poder extraer el aire atrapado, luego dejar reposar. Completar luego con el material reactivo (gasolina) hasta la marca de aforo y obtener el peso P3. Proceder a vaciar el picnómetro con el reactivo y

cemento. Llenar el picnómetro vacío con reactivo hasta la marca de llenado para obtener el peso P4. Obtenemos de los datos anteriores los valores correspondientes a: Densidad Real del Cemento.

- Preparar luego las muestras de áridos para los ensayos de granulométricos. Se denominan grava, ripio, árido o agregado grueso a la fracción mayor de 4,76mm (Tamiz No. 4) y llamaremos arena a la fracción menor que dicha abertura del tamiz No. 4.
- Iniciar con el agregado grueso para lo que se tomar los tamices de la serie módulo de finura de Duff Abrams: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No.4 y bandeja. Se requiere además contar con la balanza, recipientes, cepillo metálico ASTM C33.
- Secar la muestra en el horno a 110°C de 18 horas a 24 horas. Determinar el peso inicial de la muestra a ser ensayada. Colocar los tamices en la secuencia indicada anteriormente desde la bandeja e iniciando con la abertura más pequeña hasta llegar a la abertura mayor. Colocar la muestra sobre el primer tamiz, agitar vigorosamente cada uno de los tamices de 5 a 10 minutos según sea el caso se requiera. Determinar el peso de la muestra de material retenidos en cada uno de los tamices anotando los respectivos valores en el cuadro confeccionado para tal fin.
- Determinar el porcentaje retenido en cada uno de los tamices en relación al peso total de la muestra colocada al inicio del ensayo. El valor final referido del proceso de tamizaje no debe variar en un porcentaje mayor del 2% del peso inicial de la muestra ingresada, caso contrario se desechan los valores obtenidos y se debe realizar el ensayo desde el inicio.
- Determinar el tamaño nominal máximo de la muestra que corresponde al tamaño del tamiz anterior en el primero en el cual se haya retenido más del 15% de la muestra al tamizar.
- Determinar el porcentaje retenido acumulado de muestra en cada uno de los tamices de la serie utilizada. Determinar el porcentaje del peso del material que pasa cada uno de los tamices. % que pasa es igual al 100% menos el % retenido acumulado.
- Obtener la respectiva gráfica de la "Curva Granulométrica" del material analizado, en el cual en el eje de las ordenadas colocar el porcentaje

acumulado de material que pasa por los tamices. En el eje de las abscisas colocar los diámetros de los tamices por los cuales pasó la muestra en el ensayo granulométrico. Agregar a la gráfica las curvas adicionales que representan los máximos y mínimos o gradaciones óptimas que dicta la norma y poder calificar nuestra muestra como aceptable, no aceptable para el diseño de hormigones ASTM C33.

- Determinar la granulometría del agregado fino o arena siguiendo el mismo procedimiento anteriormente indicado para el agregado grueso. Utilizar la serie de tamices indicados a continuación 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No200.
- Utilizar máquina tamizadora colocando al final la fuente y al inicio la respectiva tapa. El proceso de tamizaje realizarlo por un tiempo de 5 a 10 minutos.
- Determinar los porcentajes que pasan por tamiz como se indica en el procedimiento anterior, se determinará adicionalmente, el módulo de finura que correspondería a la centésima parte de la suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices de la serie indicada anteriormente como lo especifica la norma ASTM C125.
- Dibujar la curva granulométrica para agregado fino teniendo en cuenta los valores de gradación óptimos que dicta la norma y que sirven de guía, en este caso para agregados finos sería ASTM C33.
- Determinar el peso específico o gravedad específica real de los agregados. El peso específico obtenido se traduce como el peso del material por unidad de volumen del mismo.
- Para determinar la Densidad Real de la Arena o agregado fino (D.R.A.), se requiere el siguiente equipo: Picnómetro, molde tronco cónico y pistón, balanza de precisión 0.1gr, bandejas y recipientes, horno, limpiador, embudo, espátula.
- Preparar la muestra dejándola sumergida en agua por 24 horas golpeando de vez en cuando el recipiente ligeramente para que el aire atrapado aflore de la muestra.

- Condición S.S.S. (Superficie Saturada Seca) debemos tomar una cantidad mayor de 500 gr haciendo que el exceso de agua sea escurrido. Colocar el material en una bandeja y secarlo a temperatura ambiente, llenar el molde tronco cónico con el material para luego utilizar el pistón para apisonar la muestra 25 veces dejando caer éste desde una altura de ± 3.5 cm. Luego retirar el material en exceso siempre limpiando la parte exterior del molde con el que estamos trabajando. Sacamos el molde y la condición S.S.S. se obtiene cuando el material se desliza cuando retiramos el molde.
- Realizado el procedimiento pesamos la cantidad de 500 gr del material en el estado S.S.S. para colocarlo en el picnómetro luego de haber colocado alrededor de 100 ml de agua previamente. Agitar vigorosamente en forma circular para extraer todo el aire atrapado en la muestra. Completar si es necesario el agua hasta la marca de aforo del picnómetro siempre evitando introducir aire al picnómetro. Pesamos el picnómetro P1, y medimos la temperatura del líquido. Con el valor de la temperatura se revisa en las curvas de calibración del peso del picnómetro lleno de agua P2. Verter todo el contenido del picnómetro en un embace apropiado para posteriormente colocarlo en el horno P3 (24 horas a 110°C). Obtener el peso del material seco más el recipiente P4. Con estos valores determinar Densidad S.S.S., absorción de agua.
- Hay que tener en cuenta que las fuentes de error más serias están en la determinación de la condición S.S.S. de la muestra y la incorrecta aireación de la muestra al no realizar un agitado suficiente para liberar el aire atrapado.
- Para determinar la D.R.R. (densidad real del ripio o agregado grueso) requerimos de los siguientes equipos: canastilla metálica, recipiente con agua (tanque), balanza capacidad 20 kg, recipientes metálicos, horno, franela o paño absorbente.
- Preparar la muestra durante 24 horas previas al ensayo sumergida completamente en agua, logrando la saturación de la misma, de igual manera que la arena habrá que dar pequeños golpes sobre el contenedor para lograr el desalojo de aire atrapado en la muestra al interior.
- De la muestra saturada escoger de 15 a 25 gravas que sean las más representativas de las cuales serán secadas sus superficies llegando a la condición S.S.S. Determinamos el peso de estas gravas P1. Colocamos el resto de la muestra en la canastilla y la sumergimos en el recipiente (tanque)

con agua para determinar así el peso sumergido de la muestra P2. Recogemos luego las gravas en un recipiente previamente pesadas y las llevamos al horno de 18 a 24 horas. Determinamos el peso del recipiente con la muestra seca. Determinar de los valores anteriores Superficie seca saturada del ripio y la absorción de agua.

- Determinar la Densidad Aparente de los agregados. Sabemos que el peso de un determinado volumen de material es variable dependiendo de la compactación del mismo. Esta es la razón principal por la que se deberá determinar las densidades sueltas y compactadas. Valores determinantes en la dosificación de hormigones especialmente en la dosificación volumétrica.
- Para determinar las densidades suelta y compactada de los agregados tanto fino como grueso se siguen los mismos procedimientos descritos a continuación. Para realizar este ensayo se requiere de los siguientes equipos: Recipiente adecuado, barra de compactación (varilla de diámetro igual a 16mm y de 600mm de longitud), balanza capacidad 20 kg, flexómetro, brocha y pala de jardinero.
- El procedimiento para la densidad suelta de los agregados es determinar el volumen del recipiente (V), procedemos a pesar el recipiente (P1), llenamos el recipiente con el material o muestra procurando no incurrir en mucha vibración hacia el molde, dejar caer el material hacia el recipiente de una altura no superior a cinco centímetros sobre el borde superior del recipiente. Enrasar el recipiente más el material suelto (P2).
- El procedimiento para la densidad compactada sería el determinar así mismo el volumen del recipiente utilizado (V). Pesar el recipiente vacío (P1). Llenar el recipiente procurando realizarlo en tres capas iguales, en cada una de las cuales se procede a compactarlas con 25 golpes de la barra de compactación. Enrasar el recipiente y retirar el material excedente. Determinar el peso del recipiente más el material compactado (P2).
- Calcular los valores de densidades para ambos casos, suelto y compactado para los dos agregados. $(P2-P1)/V$.
- Para obtener un valor con mayor representatividad deberemos realizar este ensayo por lo menos dos veces y obtener el promedio.

- Realizar el diseño de hormigón por el Método de la Densidad Óptima desarrollado en la Universidad Central del Ecuador, para obtener un hormigón de resistencia a la compresión a los 28 días de 210kg/cm² y 240kg/cm², el recomendado porque se acerca más a la situación local de la calidad de agregados en el país.
- Para el diseño de hormigón por el método anteriormente descrito se deberá continuar con el siguiente procedimiento: Elegir la relación agua cemento (w/c) adecuada con la resistencia a la que se requiere llegar a obtener, determinar luego la densidad real de la mezcla (D.R.M.), continuamos determinando el porcentaje óptimo de vacíos (P.O.V.), cantidad de pasta en función del asentamiento requerido en función del asentamiento requerido (C.P.), llegamos así a determinar la cantidad de cemento requerido para la mezcla (C), obtener la cantidad de agua de mezcla (A), calculamos finalmente la cantidad de los agregados que estarán presentes en la mezcla tanto ripio o agregado grueso (R), así como arena agregado fino (A). Si es necesario realizar una corrección de humedad por variación del estado S.S.S. en los agregados entonces determinamos el porcentaje de humedad del agregado llevando una muestra al horno de 18 a 24 horas.
- Se tomarán las muestras, curado y rotura según norma ASTM C-31, se controlará el asentamiento según norma ASTM C-143, y se determinará el peso unitario del hormigón según norma ASTM C-138.
- Para la confección del hormigón impermeable utilizaremos el aditivo comercial en dosificación que se encuentren en el rangos recomendado por el fabricante. En esta caso la carta de especificación dada por el fabricante para el uso de aditivo es bajo las siguientes condiciones para obtener la máxima permeabilidad y éstas son: Hormigones con contenido de cemento mínimo de 350 kg/m³ y relación agua cemento w/c de 0,45. El consumo del producto impermeabilizante es del 2% por peso del cemento incluido en la mezcla.
- Se realizará el ensayo de cilindros de diámetro 150mm y 300mm de altura para el ensayo de penetración de agua en hormigón endurecido según UNE 83-309-90 a falta de especificaciones nacionales, para realizar el ensayo de impermeabilidad.
- Confeccionados los hormigones de cada una de las resistencias indicadas se prepararán muestras cilíndricas para posterior ensayo. Tres unidades por cada diseño de hormigón para someterlos a rotura a los 28 días de edad. Tres muestras por cada resistencia sin aditivo impermeabilizante para ser aplicadas

agua a presión según describe el procedimiento. Tres muestras de cada una de las resistencias con la adición de aditivo impermeabilizante para ser ensayados con agua a presión. Tres muestras confeccionadas para una mezcla de relación w/c (agua cemento) según indica fabricante del aditivo de 0,45 para ser sometidas al ensayo de agua a presión, y finalmente, tres muestras para ensayo de rotura y determinar la resistencia alcanzada con la relación 0,45 de w/c y la adición del aditivo impermeabilizante.

- Obtenidas las probetas en número y propiedades según los procedimientos descritos anteriormente procederemos a realizar el ensayo para hormigón endurecido en las muestras de edades iguales o superiores a los 28 días.
- Inmediatamente después de haber terminado con el procedimiento de curado y desmolde de las muestras se debe desbastar la cara o superficie de la probeta que va a estar en expuesta a la presión del agua, para esto utilizaremos un cepillo de cerdas de acero [2].
- Aplicamos el agua a presión para lo cual: el ensayo debe comenzar cuando las probetas tengan al menos 28 días de edad como ya se dijo. No aplicar agua a presión a la cara de acabado de la probeta. La probeta se coloca en el aparato de ensayo y se aplica al agua una presión de (500 ± 50) KPa durante (72 ± 2) horas. Durante el ensayo, se observan periódicamente el estado de las superficies de la probeta de ensayo no expuestas al agua a presión para observar la posible presencia de agua. Si se observan filtraciones, se considerara la validez del resultado y el hecho será anotado en el informe final [2].
- Después de aplicar la presión durante el tiempo especificado, se retira la probeta del dispositivo de ensayo. Se limpia la cara a la que se aplicó la presión de agua para retirar el exceso de agua. Se rompe la probeta en dos mitades, perpendicularmente a la cara en la que se aplica la presión del agua. Cuando se rompa la probeta, y durante el examen, la cara de la probeta expuesta a la presión del agua se situará en el fondo. Tan pronto como la cara partida se ha secado de forma tal que se puede ver claramente la extensión del frente de penetración de agua, se marca en la probeta dicho frente de penetración. Se mide la profundidad máxima de penetración bajo la superficie de ensayo y se redondea al mm más próximo [2].
- El resultado del ensayo es la profundidad máxima de penetración, redondeada al mm más próximo [2].

- El ensayo de la rotura de las muestras longitudinalmente al sentido de la presión de agua se realizará con el ensayo Brasileño (ISO41-08, EN12390-6:2000, UNE 83-306-85).
- El ensayo de compresión se lo realizará tan pronto como se retira de la cámara de curado las muestras y un breve proceso de secado en la superficie medimos el diámetro de la probeta, pesamos la muestra, revisaremos la perpendicularidad del eje longitudinal del cilindro, limpiamos la superficie de apoyo de los cojinetes del equipo superior e inferior, colocaremos el cilindro sobre el cojinete inferior para alinear el eje del cilindro con el eje de aplicación de la carga de la máquina, aplicando carga continua sin golpear hasta que la muestra se rompa velocidad de aplicación de carga de 1.3mm/min para máquinas tipo tornillo y velocidad de 0.14 a 0.34 MPa/seg para máquinas que son operadas de manera hidráulica, registramos la carga máxima, anotaremos el tipo de falla y la apariencia del hormigón, calcularemos la resistencia a la compresión y se reportará con la precisión requerida (ASTM C231).
- Aplicar de la norma para evaluar los valores de penetración máxima y calificar el grado de permeabilidad alcanzado en cada uno de los especímenes analizados según su resistencia y la adición o no de aditivo específico impermeabilizante (EN12390-8:2000).
- Revisar la información recolectada.
- Analizar los resultados relacionados con los objetivos de la presente investigación.
- Tabular de resultados de análisis según las variables de la hipótesis.
- Representar los resultados por medio de gráficos estadísticos.

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

A continuación se muestran los datos obtenidos sobre los agregados finos, gruesos así como también para el cemento, el cual es uno de los más comúnmente utilizados en las obras civiles de nuestro medio local, mediante ensayos determinamos las propiedades mecánicas de los materiales de los diferentes orígenes en estudio. Posteriormente diseñamos hormigones de resistencias a los 28 días de 210kg/cm^2 y 240kg/cm^2 y utilizamos aditivo impermeabilizante en muestras de las mencionadas resistencias.

4.1.1 ENSAYOS REALIZADOS

4.1.1.1 AGREGADO FINO

- Densidad Real
- Capacidad de Absorción
- Densidad Compactada
- Densidad Suelta
- Análisis Granulométrico

4.1.1.2 AGREGADO GRUESO

- Densidad Real
- Capacidad de Absorción
- Densidad Compactada
- Densidad Suelta
- Análisis Granulométrico


4.1.1.3 MUESTRAS DE HORMIGONES ENDURECIDOS

- Ensayo a Compresión
- Ensayo de permeabilidad (penetración de agua a presión).

- Ensayo a tracción indirecta.

VALOR DE DENSIDAD REAL CEMENTO UTILIZADO PARA TODOS LOS ENSAYOS POSTERIORES



Tabla 10.-Densidad Real Cemento, Cemento Portland Tipo IP.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES			
TRABAJO EXPERIMENTAL					
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO					
TIPO:		PORTLAND	CLASE:		IP
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA:		19/feb/2016
NORMA:		NTE INEN 156			
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE					
TUTOR:		Ing. Msc Santiago Medina			
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL CEMENTO					
DATOS		DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1		Masa del picnómetro	gr	163,30	161,10
M2		Masa del picnómetro + muestra	gr	283,30	299,02
M3		Masa del picnómetro + muestra + gasolina	gr	618,80	630,10
M4=M3-M2		Masa gasolina añadida	gr	335,50	331,08
M5		Masa picnómetro + 500cc de gasolina	gr	528,40	526,40
M6=M5-M1		Masa de 500cc de gasolina	gr	365,10	365,30
DG=M6/500cm ³		Densidad de la gasolina	gr/cm ³	0,73	0,73
M7=M6-M4		Masa de la gasolina desalojada por la muestra	gr	29,60	34,22
M _c =M2-M1		Masa del cemento	gr	120,00	137,92
V _G =M7/DG		Volumen de la gasolina desalojada	cm ³	40,54	46,84
DRC=M _c /V _G		Densidad real del cemento	gr/cm ³	2,96	2,94
Densidad real promedio			gr/cm³	2,952	

Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.



**DATOS CORRESPONDIENTES A MATERIALES PÉTREOS OBTENIDOS
DESDE LA MINA DEL SECTOR SANTA ROSA “CANTERA ACOSTA”.**

Tabla 11.-Densidad Real y Capacidad de Absorción Agregado Fino, Cantera Acosta sector Santa Rosa.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES		
TRABAJO EXPERIMENTAL			
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE			
TUTOR:	Ing. Mg. Santiago Medina		
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO			
ORIGEN:	MINA SANTA ROSA "CANTERA ACOSTA"		
ENSAYADO POR:	SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA: 16/ene/2016	
NORMA:	NTE INEN 856		
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa del picnómetro	gr	146,40
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	369,30
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	776,10
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	406,80
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	642,90
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	496,50
DA=M6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	0,99
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	89,70
Msss=M2- M1	Masa del agregado	gr	222,90
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	90,33
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm3	2,468
CÁLCULO DE LACAPACIDAD DE ABSORCIÓN			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M7	Masa del recipiente	gr	25,30
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	158,90
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	133,60
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	156,50
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	131,20
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	1,83
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1,820





Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 12.-Densidad Real y Capacidad de Absorción Agregado Grueso, Cantera Acosta sector Santa Rosa.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES			
TRABAJO EXPERIMENTAL					
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE					
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina					
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO					
ORIGEN: MINA SANTA ROSA "CANTERA ACOSTA"					
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.		FECHA: 16/ene/2016	
NORMA: NTE INEN 857					
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1239,00		
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1079,00		
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	5379,00		
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	3608,00		
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	1,00		
M5 = M3 - M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	4140,00		
M6 = M4 - M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	2529,00		
VR = (M5 - M6) / DA	Volumen real de la muestra	cm3	1611,00		
DR = M5 / VR	Densidad real	gr/cm3	2,570		
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M7	Masa del recipiente	gr	24,70	25,80	
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	133,40	149,80	
M9 = M8 - M7	Masa de la muestra SSS	gr	108,70	124,00	
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	131,30	148,00	
M11 = M10 - M7	Masa de la muestra seca	gr	106,60	122,20	
CA = ((M9 - M11) / M11) * 100	Capacidad de absorción	%	1,97	1,47	
P2 = (CA1 + CA2) / 2	Capacidad de absorción promedio	%	1,721		

Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 13.-Densidad Aparente Compactada y Suelta Agregados Cantera Acosta sector Santa Rosa.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYOS DE MATERIALES			
TRABAJO EXPERIMENTAL					
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:		MINA SANTA ROSA "CANTERA ACOSTA"			
MASA RECIPIENTE (Kg):		9,85			
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA:		16/ene/2016
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		20,29			
NORMA:		NTE INEN 858:2010			
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE					
TUTOR:		Ing. Msc Santiago Medina			
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm³)	Promedio (kg/dm³)	
GRUESO	39,50	29,65	1,47	1,47	
	39,60	29,75	1,47		
FINO	43,30	33,45	1,65	1,65	
	43,40	33,55	1,65		
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES			
TRABAJO EXPERIMENTAL					
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:		MINA SANTA ROSA "CANTERA ACOSTA"			
MASA RECIPIENTE (Kg):		9,85			
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA:		16/ene/2016
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		20,29			
NORMA:		NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm³)	Peso Unitario Promedio (kg/dm³)	
GRUESO	37,80	27,95	1,38	1,38	
	37,60	27,75	1,37		
FINO	41,20	31,35	1,55	1,54	
	40,90	31,05	1,53		

Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 14.-Densidad Combinada Agregados Cantera Acosta sector Santa Rosa.



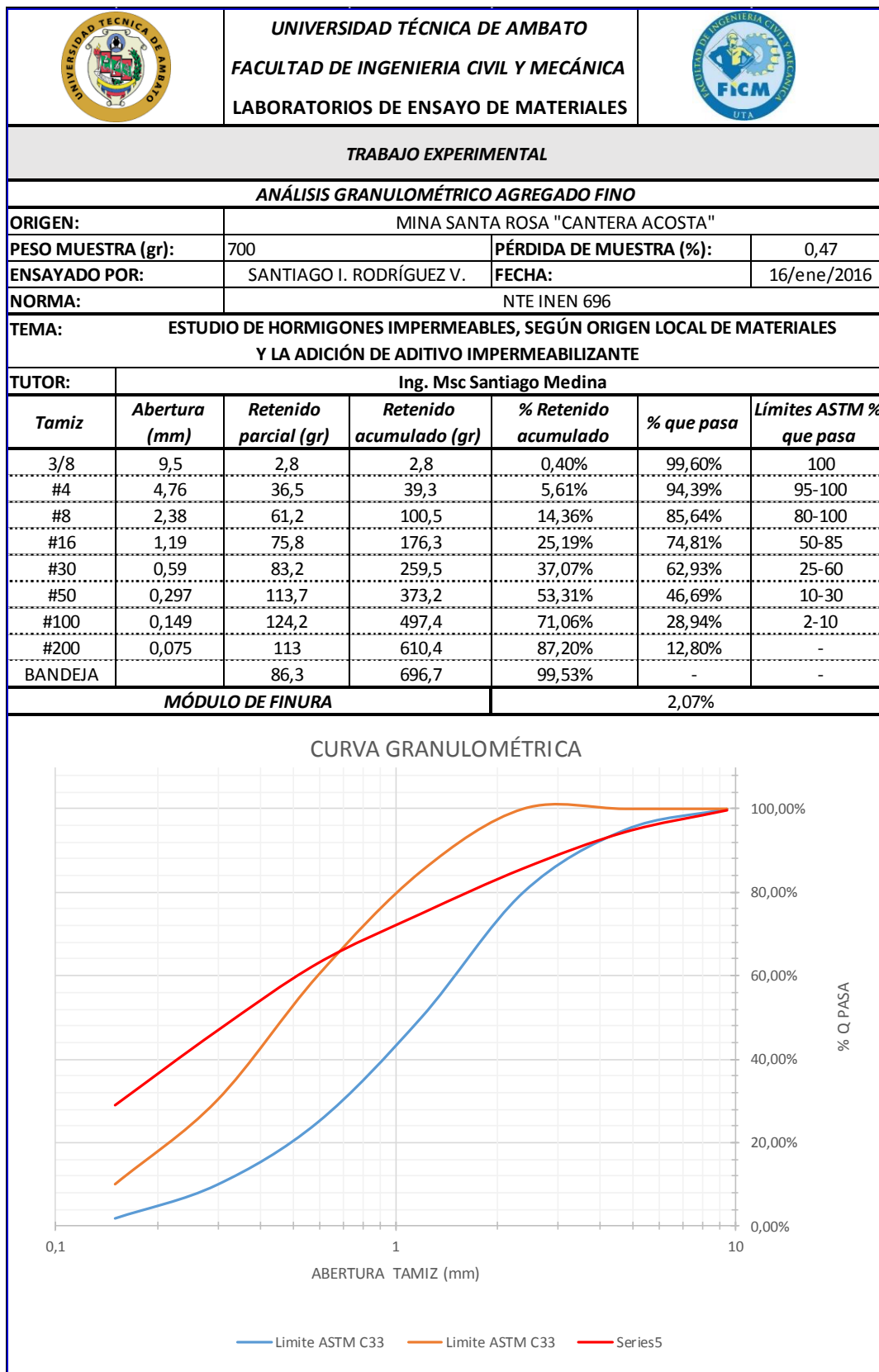
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYOS DE MATERIALES						
TRABAJO EXPERIMENTAL								
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA								
ORIGEN:		MINA SANTA ROSA "CANTERA ACOSTA"						
MASA RECIPIENTE (Kg):		9,85						
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.			FECHA:	16/ene/2016		
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		20,23						
NORMA:		NTE INEN 858:2010						
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE								
TUTOR:		Ing. Mg. Santiago Medina						
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm³)	Peso unitario promedio
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100,00%	0,00%	40,00	0,00	0,00	38,90	29,05	1,44	1,44
					39,10	29,25	1,45	
90,00%	10,00%	40,00	4,44	4,44	41,40	31,55	1,56	1,56
					41,60	31,75	1,57	
80,00%	20,00%	40,00	10,00	5,56	44,60	34,75	1,72	1,72
					44,70	34,85	1,72	
70,00%	30,00%	40,00	17,14	7,14	46,90	37,05	1,83	1,83
					47,00	37,15	1,84	
60,00%	40,00%	40,00	26,67	9,53	47,50	37,65	1,86	1,86
					47,40	37,55	1,86	
50,00%	50,00%	40,00	40,00	13,33	46,80	36,95	1,83	1,83
					46,90	37,05	1,83	
40,00%	60,00%	40,00	60,00	20,00	46,20	36,35	1,80	1,80
					46,30	36,45	1,80	

Gráfico Porcentaje Óptimo vs. Densidad aparente

Porcentaje máximo de agregado fino (%)	40,00%
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)	60,00%
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)	36,00%
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)	64,00%
Peso unitario máximo (gr/cm³)	1,860
Peso unitario óptimo (gr/cm³)	1,855

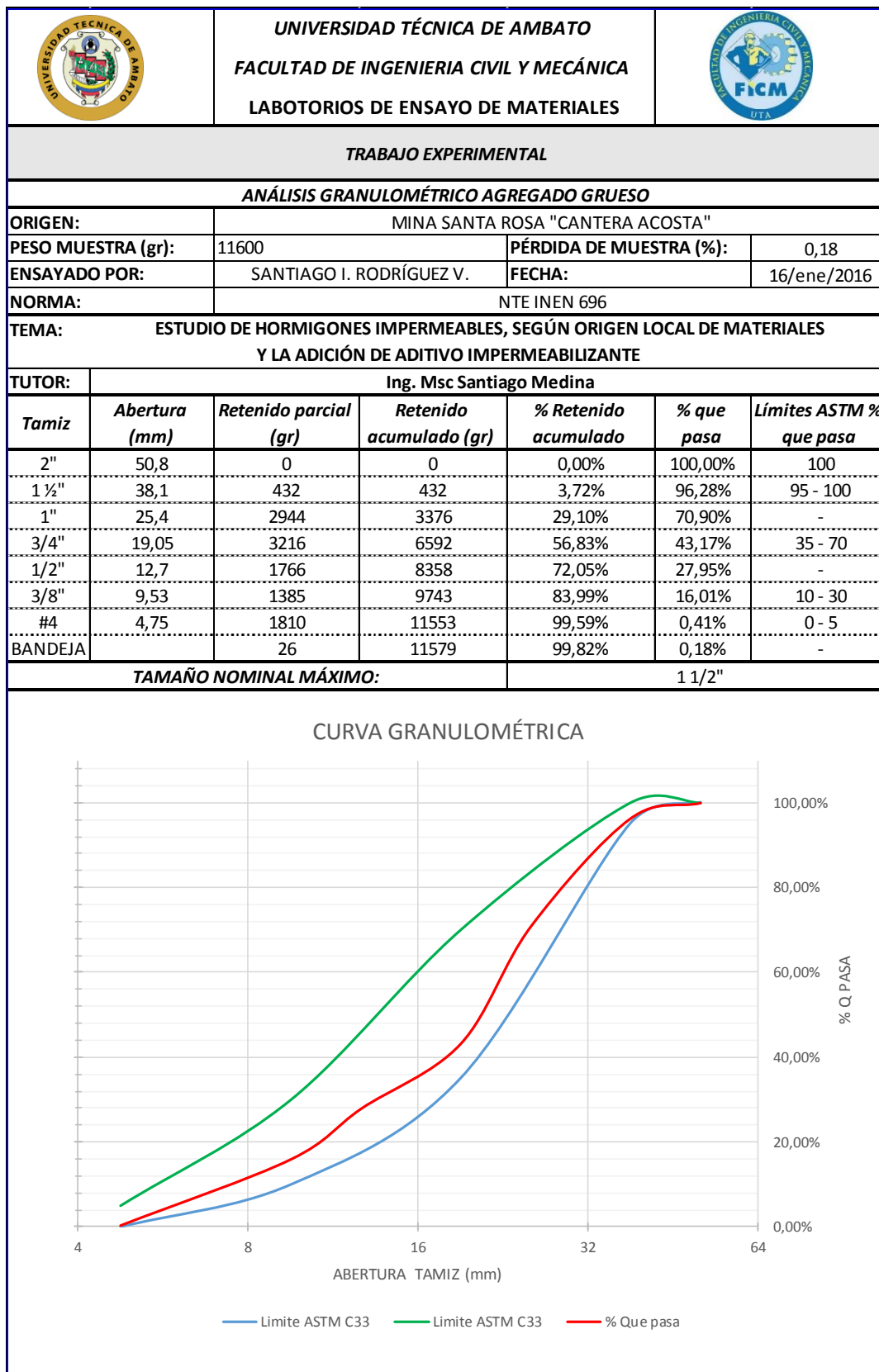
Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 15.-Granulometría Agregado Fino, Cantera Acosta sector Santa Rosa.



Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.



Tabla 16.-Granulometría Agregado Grueso, Cantera Acosta sector Santa Rosa.



Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.



**DATOS CORRESPONDIENTES A MATERIALES PÉTREOS OBTENIDOS
DESDE LA MINA DEL SECTOR AGUAJÁN “MINA SAN SEBASTIÁN”.**

Tabla 17.-Densidad Real y Capacidad de Absorción Agregado Fino, Mina San Sebastián Sector Aguaján.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYOS DE MATERIALES		
TRABAJO EXPERIMENTAL			
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO			
ORIGEN:	MINA AGUAJÁN Km 4.5 "MINA SAN SEBASTIAN"		
ENSAYADO POR:	SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA:	16/ene/2016
NORMA:	NTE INEN 856		
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa del picnómetro	gr	146,40
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	367,80
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	779,10
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	411,30
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	642,90
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	496,50
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0,99
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	85,20
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	221,40
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	85,80
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2,580
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M7	Masa del recipiente	gr	24,80
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	158,10
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	133,30
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	156,50
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	131,70
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	1,21
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1,292





Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 18.-Densidad Real y Capacidad de Absorción Agregado Grueso, Mina San Sebastián Sector Aguaján.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES		
TRABAJO EXPERIMENTAL			
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE			
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina			
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
ORIGEN:		MINA AGUAJÁN Km 4.5 "MINA SAN SEBASTIAN"	
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA: 16/ene/2016
NORMA:		NTE INEN 857	
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1239,00
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1079,00
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	5354,00
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	3628,00
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	1,00
M5 = M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	4115,00
M6 = M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	2549,00
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm3	1566,00
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm3	2,628
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M7	Masa del recipiente	gr	24,70 24,10
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	133,40 139,40
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	108,70 115,30
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	131,30 137,20
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	106,60 113,10
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	1,97 1,95
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1,958

Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 19.-Densidad Aparente Suelta y Compactada de Agregados, Mina San Sebastián Sector Aguaján.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES			
TRABAJO EXPERIMENTAL					
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:		MINA AGUAJÁN Km 4.5 "MINA SAN SEBASTIAN"			
MASA RECIPIENTE (Kg):		10,15			
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA:		16/ene/2016
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		20,56			
NORMA:		NTE INEN 858:2010			
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE					
TUTOR:		Ing. Msc Santiago Medina			
Agregado		Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm³)	Promedio (kg/dm³)
GRUESO		40,70	30,55	1,51	1,51
		40,80	30,65	1,52	
FINO		44,20	34,05	1,66	1,66
		44,30	34,15	1,66	
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES			
TRABAJO EXPERIMENTAL					
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:		MINA AGUAJÁN Km 4.5 "MINA SAN SEBASTIAN"			
MASA RECIPIENTE (Kg):		10,15			
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA:		16/ene/2016
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		20,56			
NORMA:		NTE INEN 858:2010			
Agregado		Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm³)	Peso Unitario Promedio (kg/dm³)
GRUESO		38,70	28,55	1,41	1,41
		38,60	28,45	1,41	
FINO		41,20	31,05	1,51	1,52
		41,40	31,25	1,52	

Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 20.-Densidad Combinada Agregados, Mina San Sebastián Sector Aguaján.



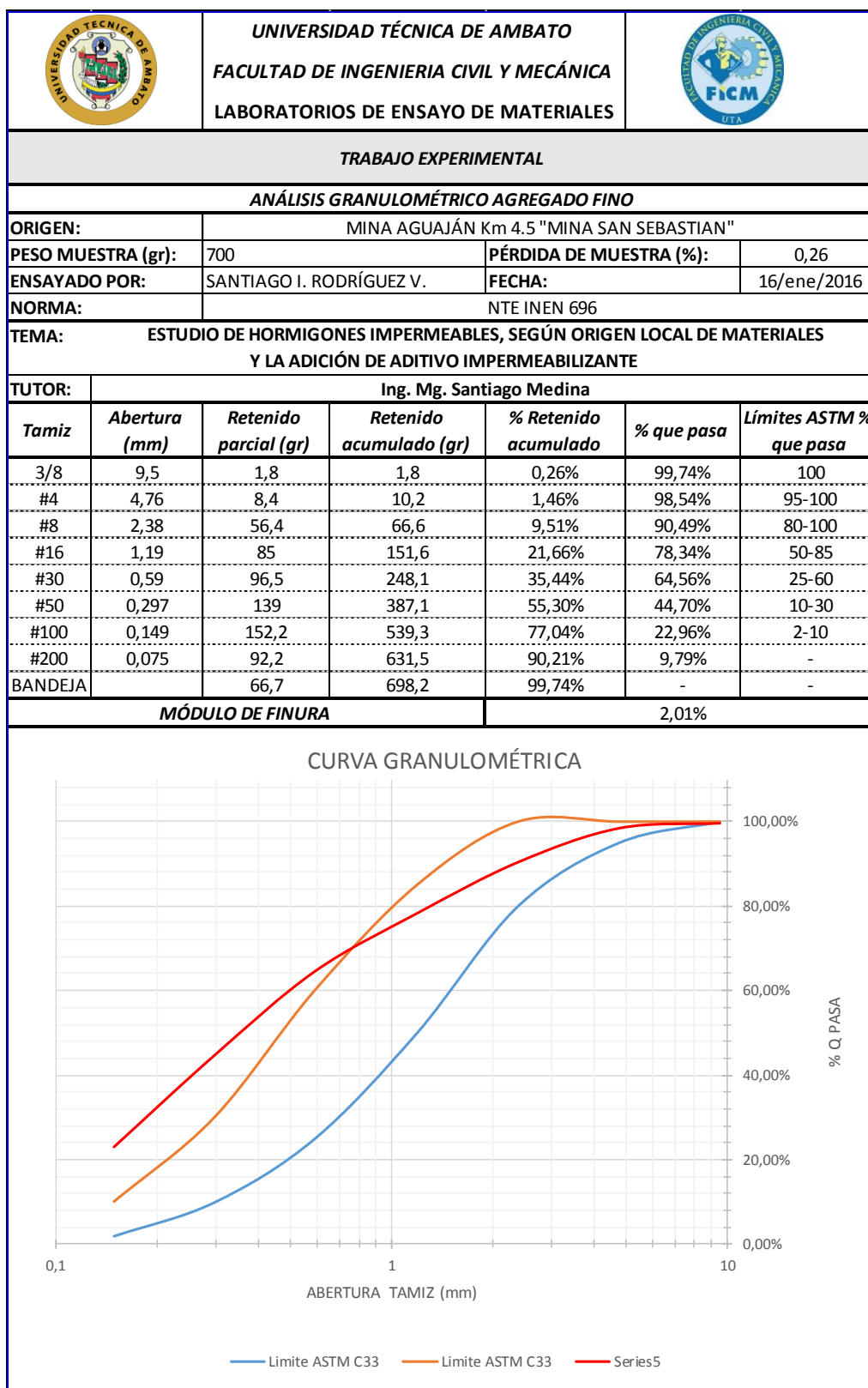
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYOS DE MATERIALES						
TRABAJO EXPERIMENTAL								
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA								
ORIGEN:		MINA AGUAJÁN Km 4.5 "MINA SAN SEBASTIAN"						
MASA RECIPIENTE (Kg):		10,15						
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.			FECHA:		16/ene/2016	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		20,23						
NORMA:		NTE INEN 858:2010						
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE								
TUTOR:		Ing. Mg. Santiago Medina						
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm³)	Peso unitario promedio
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100,00%	0,00%	40,00	0,00	0,00	38,90	28,75	1,42	1,43
					39,10	28,95	1,43	
90,00%	10,00%	40,00	4,44	4,44	41,40	31,25	1,54	1,55
					41,60	31,45	1,55	
80,00%	20,00%	40,00	10,00	5,56	44,60	34,45	1,70	1,71
					44,70	34,55	1,71	
70,00%	30,00%	40,00	17,14	7,14	46,90	36,75	1,82	1,82
					47,00	36,85	1,82	
60,00%	40,00%	40,00	26,67	9,53	47,50	37,35	1,85	1,84
					47,40	37,25	1,84	
50,00%	50,00%	40,00	40,00	13,33	46,80	36,65	1,81	1,81
					46,90	36,75	1,82	
40,00%	60,00%	40,00	60,00	20,00	46,20	36,05	1,78	1,78
					46,30	36,15	1,79	

Gráfico porcentaje óptimo vs. Densidad aparente

Porcentaje máximo de agregado fino (%)	40,00%
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)	60,00%
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)	36,00%
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)	64,00%
Peso unitario máximo (gr/cm³)	1,860
Peso unitario óptimo (gr/cm³)	1,850

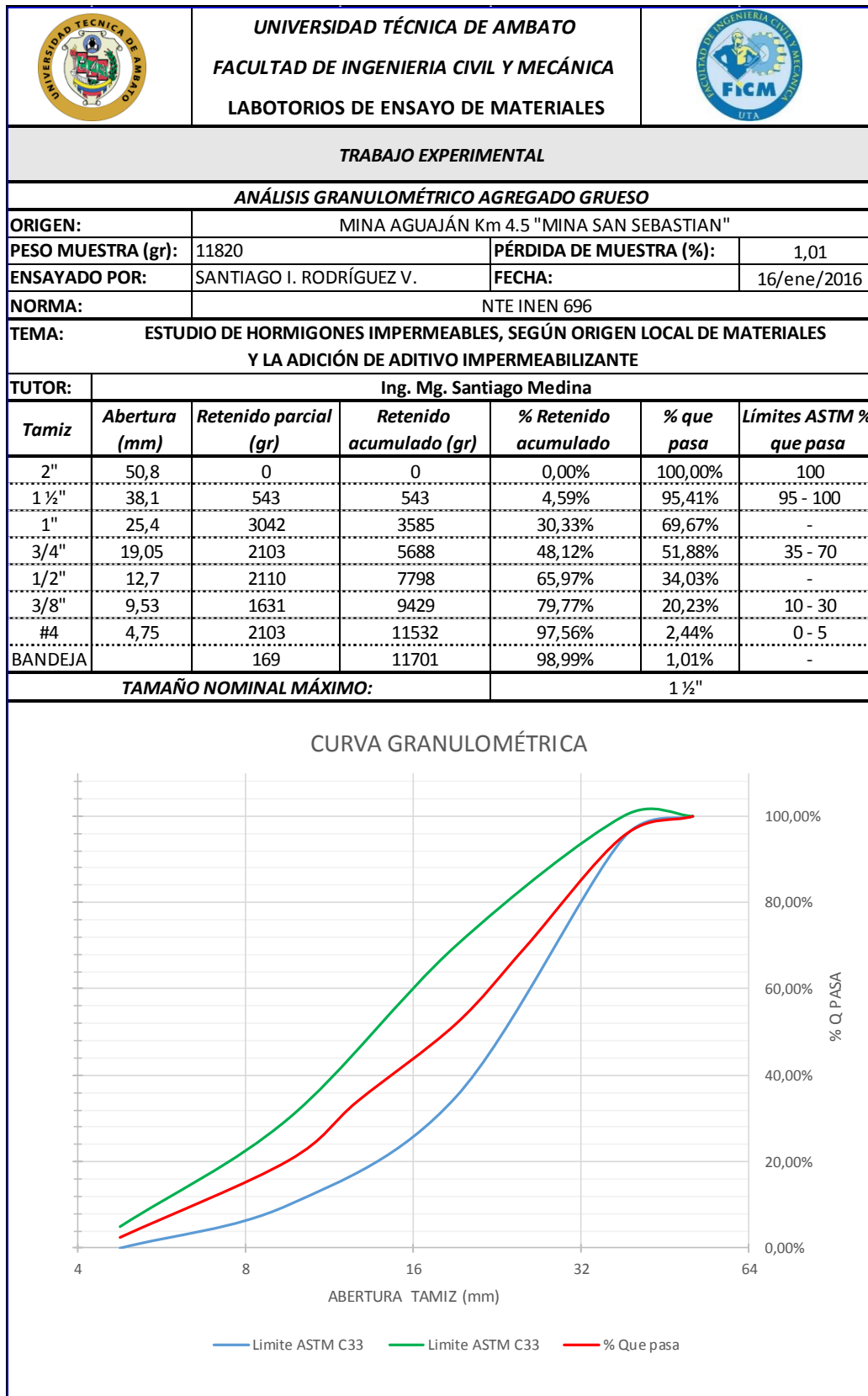
Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 21.-Granulometría Agregado Fino, Mina San Sebastián Sector Aguaján.



Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 22.-Granulometría Agregado Fino, Mina San Sebastián Sector Aguaján.



Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.



**DATOS CORRESPONDIENTES A MATERIALES PÉTREOS OBTENIDOS
DESDE LA MINA DEL SECTOR LAS VIÑAS “CANTERA VILLACRÉS”.**

Tabla 23.-Densidad Real y Capacidad de Absorción Agregado Fino, Cantera Villacrés Sector Las Viñas.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES		
TRABAJO EXPERIMENTAL			
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE			
TUTOR:	Ing. Mg. Santiago Medina		
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO			
ORIGEN:	"CANTERA VILLACRÉS"		
ENSAYADO POR:	SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA: 21/feb/2016	
NORMA:	NTE INEN 856		
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa del picnómetro	gr	161,30
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	442,20
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	833,20
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	391,00
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	658,10
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	496,80
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0,99
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	105,80
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	280,90
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	106,48
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2,638
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M7	Masa del recipiente	gr	23,70
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	253,40
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	229,70
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	252,00
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	228,30
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	0,61
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	0,627



Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 24.-Densidad Real y Capacidad de Absorción Agregado Grueso, Cantera Villacrés Sector Las Viñas.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS			
TRABAJO EXPERIMENTAL					
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE					
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina					
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO					
ORIGEN:			"CANTERA VILLACRÉS"		
ENSAYADO POR:			SANTIAGO I. RODRIGUEZ V.	FECHA:	21/feb/2016
NORMA:			NTE INEN 857		
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1229,00		
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1120,00		
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	4803,00		
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	3293,00		
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	1,00		
M5 = M3 - M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3574,00		
M6 = M4 - M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	2173,00		
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm3	1401,00		
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm3	2,551		
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M7	Masa del recipiente	gr	24,00	28,80	
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	173,60	178,80	
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	149,60	150,00	
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	171,00	176,20	
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	147,00	147,40	
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	1,77	1,76	
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1,766		

Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 25.-Densidad Aparente Suelta y Compactada de Agregados, Villacrés Sector Las Viñas.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYOS DE MATERIALES			
TRABAJO EXPERIMENTAL					
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:		"CANTERA VILLACRÉS"			
MASA RECIPIENTE (kg):		9,9			
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA:		21/feb/2016
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		20,29			
NORMA:		NTE INEN 858:2010			
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE					
TUTOR:		Ing. Msc Santiago Medina			
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm³)	Promedio (kg/dm³)	
GRUESO	39,00	29,10	1,44	1,443	
	39,20	29,30	1,45		
FINO	45,10	35,20	1,73	1,740	
	45,30	35,40	1,74		
TRABAJO EXPERIMENTAL					
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO					
ORIGEN:		"CANTERA VILLACRÉS"			
MASA RECIPIENTE (kg):		9,9			
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA:		21/feb/2016
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		20,29			
NORMA:		NTE INEN 858:2010			
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm³)	Peso Unitario Promedio (kg/dm³)	
GRUESO	35,80	25,90	1,28	1,283	
	35,90	26,00	1,29		
FINO	42,20	32,30	1,59	1,594	
	42,30	32,40	1,60		

Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 26.-Densidad Combinada Agregados, Villacrés Sector Las Viñas.



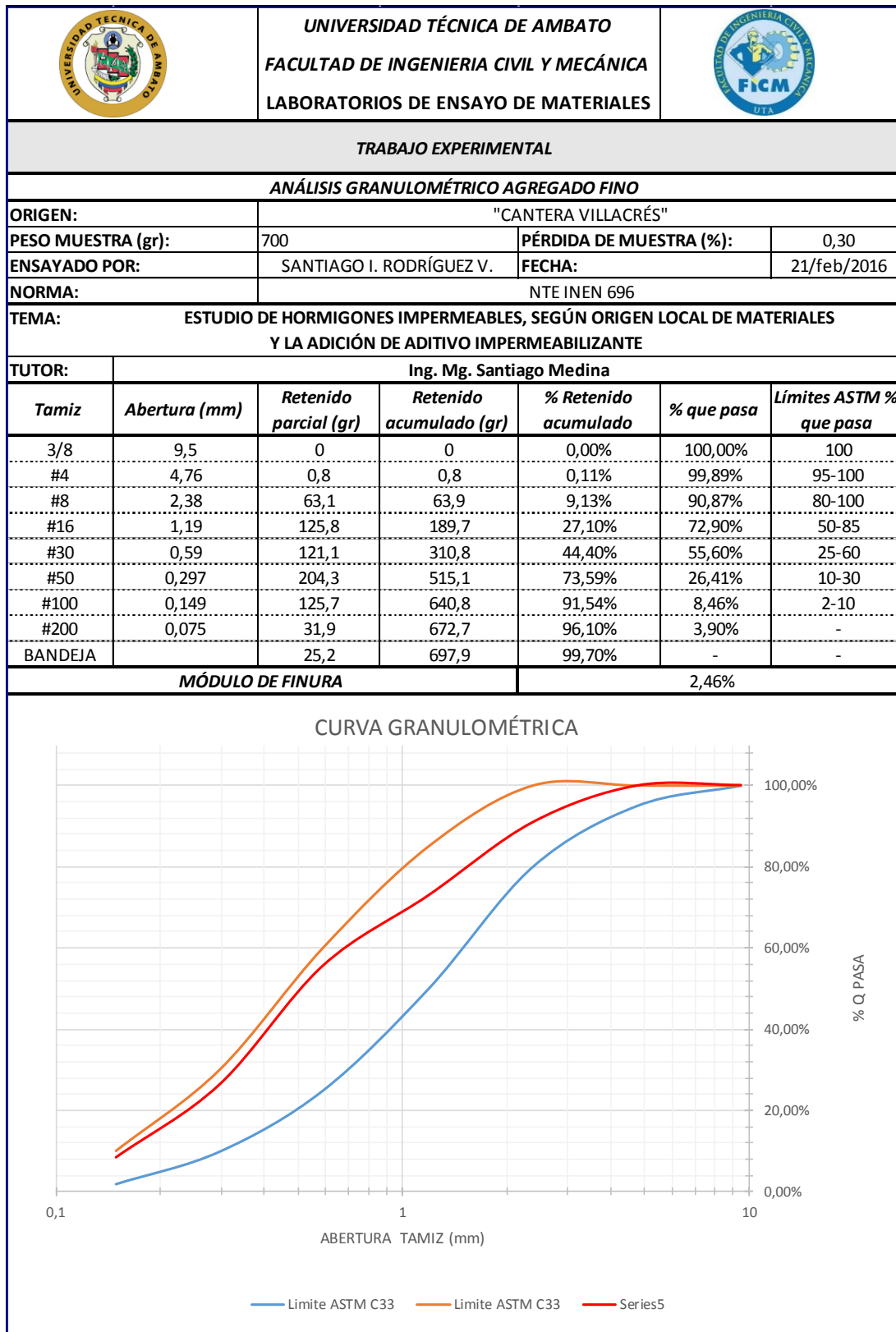
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYOS DE MATERIALES						
TRABAJO EXPERIMENTAL								
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA								
ORIGEN:		"CANTERA VILLACRÉS"						
MASA RECIPIENTE (Kg):		10,00						
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.			FECHA:		21/feb/2016	
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):		20,23						
NORMA:		NTE INEN 858:2010						
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE								
TUTOR:		Ing. Mg. Santiago Medina						
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm³)	Peso unitario promedio
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100,00%	0,00%	40,00	0,00	0,00	39,10	29,10	1,44	1,438
					39,10	29,10	1,44	
90,00%	10,00%	40,00	4,44	4,44	42,30	32,30	1,60	1,594
					42,20	32,20	1,59	
80,00%	20,00%	40,00	10,00	5,56	45,60	35,60	1,76	1,780
					46,40	36,40	1,80	
70,00%	30,00%	40,00	17,14	7,14	47,70	37,70	1,86	1,869
					47,90	37,90	1,87	
60,00%	40,00%	40,00	26,67	9,53	48,70	38,70	1,91	1,918
					48,90	38,90	1,92	
50,00%	50,00%	40,00	40,00	13,33	48,70	38,70	1,91	1,913
					48,70	38,70	1,91	
40,00%	60,00%	40,00	60,00	20,00	48,10	38,10	1,88	1,888
					48,30	38,30	1,89	

Gráfico Porcentaje Óptimo vs. Densidad aparente

Porcentaje máximo de agregado fino (%)	42,00%
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)	58,00%
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)	38,00%
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)	62,00%
Peso unitario máximo (gr/cm³)	1,915
Peso unitario óptimo (gr/cm³)	1,911

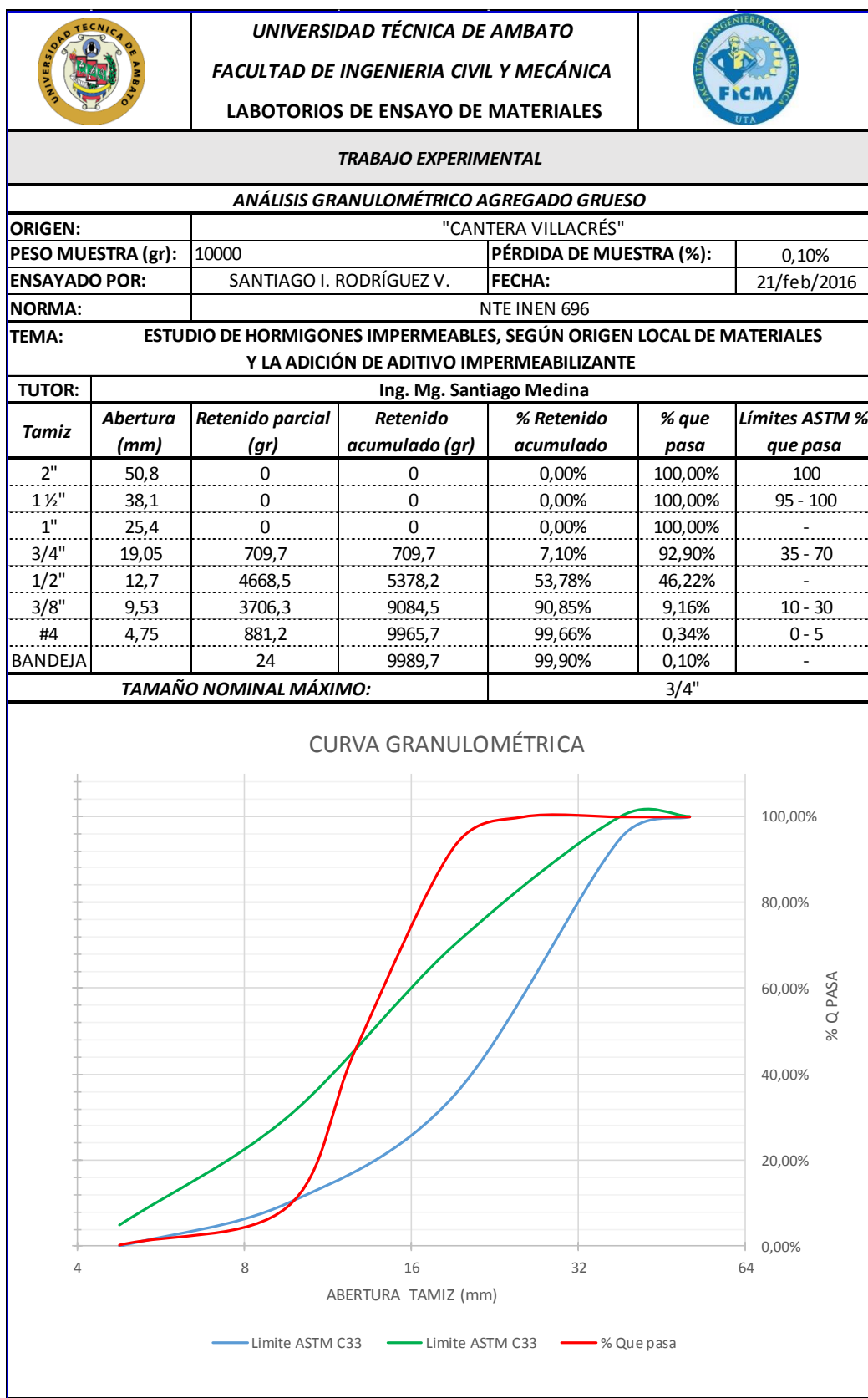
Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 27.-Granulometría Agregado Fino, Villacrés Sector Las Viñas.





Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 28.-Granulometría Agregado Fino, Villacrés Sector Las Viñas.



Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 29.-Requerimientos Diseño Hormigón sin Adición de Aditivo Impermeabilizante para un $f'c=240\text{kg/cm}^2$, Agregados Cantera Villacrés, Sector Las Viñas.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES 		
TRABAJO EXPERIMENTAL		
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE		
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina		
DISEÑO DE HORMIGÓN SIN ADICIÓN DE ADITIVO		
RESISTENCIA DE DISEÑO	240	kg/cm²
RELACIÓN AGUA / CEMENTO	0,56	w/c
ASENTAMIENTO	8,00	cm
D.R.C. (DENSIDAD REAL DEL CEMENTO)	2,952	kg/dm³
D.R.A. (DENSIDAD REAL DE LA ARENA)	2,638	kg/dm³
D.R.R. (DENSIDAD REAL RÍPIO)	2,551	kg/dm³
P.O.A. (PORCENTAJE ÓPTIMO ARENA)	38,00	%
P.O.R. (PORCENTAJE ÓPTIMO RÍPIO)	62,00	%
D.O.M. (DENSIDAD ÓPTIMA DE LA MEZCLA)	1,911	kg/dm³
DOSIS ADITIVO	0,00	%
ADITIVO	0,00	Kg
CÁLCULOS		
D.R.M. (DENSIDAD REAL DE LA MEZCLA) D.R.A.*P.O.A.+D.R.R.*P.O.R.	2,584	kg/dm³
P.O.V. (PORCENTAJE DE VACÍOS / VOLUMEN) $\frac{D.R.M. - D.O.M.}{D.R.M.} \times 100$	26,06	%
CANTIDAD PASTA $C.P. = P.O.V. + 2\% + 8\% (P.O.V.)$	30,14	%
	301,40	dm³
CANTIDAD CEMENTO EN PESO NECESARIO PARA 1m³ DE H° $C = \frac{CP}{W/C + 1/D.R.C.}$	335,37	kg por m³ de H°
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLA $W = (W/C) * C$	187,81	kg ó Lt por m³ de H°
CANTIDAD AGREGADO FINO (ARENA) $A = (100 - C.P.) * D.R.A.* P.O.A./100$	700,31	kg por m³ de H°
CANTIDAD AGREGADO GRUESO (RÍPIO) $R = (1000 - C.P.) * D.R.R.* P.O.R./100$	1104,94	kg por m³ de H°

Relación agua cemento w/c valores tomados de la Tabla 50 en Anexos.

Fuente.- Santiago I. Rodríguez

V.

Tabla 30.-Dosificación Hormigón para un $f'c=240\text{kg/cm}^2$ sin adición de Aditivo Impermeabilizante, Agregados Cantera Villacrés, Sector Las Viñas.

DOSIFICACIÓN AL PESO				
MATERIAL	CANTIDAD EN kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO		DOSIFICACIÓN EN Kg PARA UN VOLUMEN V
W (AGUA)	187,81	0,56	Ok	9,96
C (CEMENTO)	335,37	1,00		17,78
A (ARENA)	700,31	2,09		37,13
R (RIPIO)	1104,94	3,29		58,58
a (ADITIVO)	0,00	0,00		0,00



DOSIFICACIÓN AL PESO				
MATERIAL	CANTIDAD EN kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO		CANTIDAD kg POR SACO DE CEMENTO
W (AGUA)	0,56	0,56	Ok	28,00
C (CEMENTO)	1,00	1,00		50,00
A (ARENA)	2,09	2,09		104,41
R (RIPIO)	3,29	3,29		164,74
a (ADITIVO)	0,00	0,00		0,00

DOSIFICACIÓN AL PESO					
MATERIAL	CANTIDAD EN kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO	VOL APARENTE dm ³ POR SACO CEMENTO	DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN EN OBRA	
W (AGUA)	0,56	0,56	-	28,00	Litros
C (CEMENTO)	1,00	1,00	-	1,00	Saco
A (ARENA)	2,09	2,09	65,49	2,50	Cajonetas
R (RIPIO)	3,29	3,29	128,42	4,00	Cajonetas
a (ADITIVO)	0,00	0,00	-	0,00	Litros
CAJONETAS DOSIFICADORAS EN OBRA 30cm x 30cm x 30cm			0,027	VOL dm ³ = 27,00	

Fuente.- Santiago I. Rodríguez

V.

Tabla 31.-Requerimientos Diseño Hormigón Adición Aditivo Impermeabilizante para un $f'c=240\text{kg/cm}^2$, Agregados Cantera Villacrés, Sector Las Viñas.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES</p> 		
TRABAJO EXPERIMENTAL		
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE		
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina		
DISEÑO DE HORMIGÓN CON ADICIÓN DE ADITIVO		
RESISTENCIA DE DISEÑO	240	kg/cm ²
RELACIÓN AGUA / CEMENTO	0,56	w/c
ASENTAMIENTO	8,00	cm
D.R.C. (DENSIDAD REAL DEL CEMENTO)	2,952	kg/dm ³
D.R.A. (DENSIDAD REAL DE LA ARENA)	2,638	kg/dm ³
D.R.R. (DENSIDAD REAL RÍPIO)	2,551	kg/dm ³
P.O.A. (PORCENTAJE ÓPTIMO ARENA)	38,00	%
P.O.R. (PORCENTAJE ÓPTIMO RÍPIO)	62,00	%
D.O.M. (DENSIDAD ÓPTIMA DE LA MEZCLA)	1,911	kg/dm ³
DOSIS ADITIVO	2,00	%
ADITIVO	6,71	Kg
CÁLCULOS		
D.R.M. (DENSIDAD REAL DE LA MEZCLA) D.R.A.*P.O.A.+D.R.R.*P.O.R.	2,584	kg/dm ³
P.O.V. (PORCENTAJE DE VACÍOS / VOLUMEN) $\frac{D.R.M. - D.O.M.}{D.R.M.} \times 100$	26,06	%
CANTIDAD PASTA $C.P. = P.O.V. + 2\% + 8\% (P.O.V.)$	30,14	%
	301,40	dm ³
CANTIDAD CEMENTO EN PESO NECESARIO PARA 1m ³ DE H° $C = \frac{CP}{W/C + 1/D.R.C.}$	335,37	kg por m ³ de H°
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLA $W = (W/C) * C$	187,81	kg ó Lt por m ³ de H°
CANTIDAD AGREGADO FINO (ARENA) $A = (100 - C.P.) * D.R.A.*P.O.A./100$	700,31	kg por m ³ de H°
CANTIDAD AGREGADO GRUESO (RÍPIO) $R = (1000 - C.P.) * D.R.R.*P.O.R./100$	1104,94	kg por m ³ de H°

Relación agua cemento w/c valores tomados de la Tabla 50 en Anexos.

Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 32.-Dosificación Hormigón para un $f'c=240\text{kg/cm}^2$ con adición de Aditivo Impermeabilizante, Agregados Cantera Villacrés, Sector Las Viñas.

DOSIFICACIÓN AL PESO			
MATERIAL	CANTIDAD EN kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DISIFICACIÓN AL PESO	DOSIFICACIÓN EN Kg PARA UN VOLUMEN V
W (AGUA)	187,81	0,56	9,96
C (CEMENTO)	335,37	1,00	17,78
A (ARENA)	700,31	2,09	37,13
R (RIPIO)	1104,94	3,29	58,58
a (ADITIVO)	6,71	0,02	0,36



DOSIFICACIÓN AL PESO			
MATERIAL	CANTIDAD EN kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DISIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD kg POR SACO DE CEMENTO
W (AGUA)	0,56	0,56	28,00
C (CEMENTO)	1,00	1,00	50,00
A (ARENA)	2,09	2,09	104,41
R (RIPIO)	3,29	3,29	164,74
a (ADITIVO)	0,02	0,02	1,00

DOSIFICACIÓN AL PESO					
MATERIAL	CANTIDAD EN kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DISIFICACIÓN AL PESO	VOL APARENTE dm ³ POR SACO CEMENTO	DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN EN OBRA	
W (AGUA)	0,56	0,56	-	28,00	Litros
C (CEMENTO)	1,00	1,00	-	1,00	Saco
A (ARENA)	2,09	2,09	65,49	2,50	Cajonetas
R (RIPIO)	3,29	3,29	128,42	4,00	Cajonetas
a (ADITIVO)	0,02	0,02	-	0,00	Litros
CAJONETAS DOSIFICADORAS EN OBRA 30cm x 30cm x 30cm			0,027	VOL dm ³ = 27,00	

Fuente.- Santiago I. Rodríguez

V.

Tabla 33.-Requerimientos Diseño Hormigón sin Adición de Aditivo Impermeabilizante para un $f'c=210\text{kg/cm}^2$, Agregados Cantera Villacrés, Sector Las Viñas.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES 		
TRABAJO EXPERIMENTAL		
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE		
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina		
DISEÑO DE HORMIGÓN SIN ADICIÓN DE ADITIVO		
RESISTENCIA DE DISEÑO	210	kg/cm ²
RELACIÓN AGUA / CEMENTO (xx)	0,58	w/c
ASENTAMIENTO	8,00	cm
D.R.C. (DENSIDAD REAL DEL CEMENTO)	2,952	kg/dm ³
D.R.A. (DENSIDAD REAL DE LA ARENA)	2,638	kg/dm ³
D.R.R. (DENSIDAD REAL RÍPIO)	2,551	kg/dm ³
P.O.A. (PORCENTAJE ÓPTIMO ARENA)	38,00	%
P.O.R. (PORCENTAJE ÓPTIMO RÍPIO)	62,00	%
D.O.M. (DENSIDAD ÓPTIMA DE LA MEZCLA)	1,911	kg/dm ³
DOSIS ADITIVO	0,00	%
ADITIVO	0,00	dm ³
D.R.M. (DENSIDAD REAL DE LA MEZCLA) D.R.A.*P.O.A.+D.R.R.*P.O.R.	2,584	kg/dm ³
P.O.V. (PORCENTAJE DE VACÍOS / VOLUMEN) $\frac{D.R.M. - D.O.M.}{D.R.M.} \times 100$	26,06	%
CANTIDAD PASTA $C.P. = P.O.V. + 2\% + 8\% (P.O.V.)$	30,14	%
	301,40	dm ³
CANTIDAD CEMENTO EN PESO NECESARIO PARA 1m ³ DE H° $C = \frac{CP}{W/C + 1/D.R.C.}$	328,07	kg por m ³ de H°
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLA $W = (W/C) * C$	190,28	kg ó Lt por m ³ de H°
CANTIDAD AGREGADO FINO (ARENA) $A = (100 - C.P.) * D.R.A.*P.O.A./100$	700,31	kg por m ³ de H°
CANTIDAD AGREGADO GRUESO (RÍPIO) $R = (1000 - C.P.) * D.R.R.*P.O.R./100$	1104,94	kg por m ³ de H°

Relación agua cemento w/c valores tomados de la Tabla 50 en Anexos.

Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 34.-Dosificación Hormigón para un $f'c=210\text{kg/cm}^2$ sin adición de Aditivo Impermeabilizante, Agregados Cantera Villacrés, Sector Las Viñas.

DOSIFICACIÓN AL PESO				
MATERIAL	CANTIDAD EN kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO		DOSIFICACIÓN EN Kg PARA UN
W (AGUA)	190,28	0,58	Ok	10,09
C (CEMENTO)	328,07	1,00		17,39
A (ARENA)	700,31	2,13		37,13
R (RIPIO)	1104,94	3,37		58,58
a (ADITIVO)	0,00	0,00		0,00



DOSIFICACIÓN AL PESO				
MATERIAL	CANTIDAD EN kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO		CANTIDAD kg POR SACO DE
W (AGUA)	0,58	0,58	Ok	29,00
C (CEMENTO)	1,00	1,00		50,00
A (ARENA)	2,13	2,13		106,73
R (RIPIO)	3,37	3,37		168,40
a (ADITIVO)	0,00	0,00		0,00

DOSIFICACIÓN AL PESO					
MATERIAL	CANTIDAD EN kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO	VOL APARENTE dm ³ POR SACO CEMENTO	DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN EN OBRA	
W (AGUA)	0,58	0,58	-	29,00	Litros
C (CEMENTO)	1,00	1,00	-	1,00	Saco
A (ARENA)	2,13	2,13	66,94	2,50	Cajonetas
R (RIPIO)	3,37	3,37	131,28	4,00	Cajonetas
a (ADITIVO)	0,00	0,00	-	0,00	Litros
CAJONETAS DOSIFICADORAS EN OBRA 30cm x 30cm x 30cm			0,027	VOL dm ³ =	27,00

Fuente.- Santiago I. Rodríguez

V.

Tabla 35.-Requerimientos Diseño Hormigón con Adición de Aditivo Impermeabilizante para un $f'c=210\text{kg/cm}^2$, Agregados Cantera Villacrés, Sector Las Viñas.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES 		
TRABAJO EXPERIMENTAL		
TEMA:	ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE	
TUTOR:	Ing. Mg. Santiago Medina	
DISEÑO DE HORMIGÓN CON ADICIÓN DE ADITIVO		
RESISTENCIA DE DISEÑO	210	kg/cm²
RELACIÓN AGUA / CEMENTO (xx)	0,58	w/c
ASENTAMIENTO	8,00	cm
D.R.C. (DENSIDAD REAL DEL CEMENTO)	2,952	kg/dm³
D.R.A. (DENSIDAD REAL DE LA ARENA)	2,638	kg/dm³
D.R.R. (DENSIDAD REAL RÍPIO)	2,551	kg/dm³
P.O.A. (PORCENTAJE ÓPTIMO ARENA)	38,00	%
P.O.R. (PORCENTAJE ÓPTIMO RÍPIO)	62,00	%
D.O.M. (DENSIDAD ÓPTIMA DE LA MEZCLA)	1,911	kg/dm³
DOSIS ADITIVO	2,00	%
ADITIVO	6,56	dm³
D.R.M. (DENSIDAD REAL DE LA MEZCLA) D.R.A.*P.O.A.+D.R.R.*P.O.R.	2,584	kg/dm³
P.O.V. (PORCENTAJE DE VACÍOS / VOLUMEN)	26,06	%
CANTIDAD PASTA	30,14	%
	301,40	dm³
CANTIDAD CEMENTO EN PESO NECESARIO PARA 1m³ DE H°	328,07	kg por m³ de H°
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLA	190,28	kg ó Lt por m³ de H°
CANTIDAD AGREGADO FINO (ARENA)	700,31	kg por m³ de H°
CANTIDAD AGREGADO GRUESO (RIPIO)	1104,94	kg por m³ de H°

Relación agua cemento w/c valores tomados de la Tabla 50 en Anexos.

Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 36.-Dosificación Hormigón para un $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de Aditivo Impermeabilizante, Agregados Cantera Villacrés, Sector Las Viñas.

DOSIFICACIÓN AL PESO				
MATERIAL	CANTIDAD EN kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DISIFICACIÓN AL PESO	DOSIFICACIÓN EN Kg PARA UN	
W (AGUA)	190,28	0,58	Ok	10,09
C (CEMENTO)	328,07	1,00		17,39
A (ARENA)	700,31	2,13		37,13
R (RIPIO)	1104,94	3,37		58,58
a (ADITIVO)	6,56	0,02		0,35

DOSIFICACIÓN AL PESO				
MATERIAL	CANTIDAD EN kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DISIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD kg POR SACO DE	
W (AGUA)	0,58	0,58	Ok	29,00
C (CEMENTO)	1,00	1,00		50,00
A (ARENA)	2,13	2,13		106,73
R (RIPIO)	3,37	3,37		168,40
a (ADITIVO)	0,02	0,02		1,00

DOSIFICACIÓN AL PESO					
MATERIAL	CANTIDAD EN kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN	DISIFICACIÓN AL PESO	VOL APARENTE dm ³ POR SACO CEMENTO	DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN EN OBRA	
W (AGUA)	0,58	0,58	-	29,00	Litros
C (CEMENTO)	1,00	1,00	-	1,00	Saco
A (ARENA)	2,13	2,13	66,94	2,50	Cajonetas
R (RIPIO)	3,37	3,37	131,28	4,00	Cajonetas
a (ADITIVO)	0,02	0,02	-	1,00	Litros
CAJONETAS DOSIFICADORAS EN OBRA 30cm x 30cm x 30cm			0,027	VOL dm ³ =	27,00

Fuente.- Santiago I. Rodríguez V.

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.2.1 AGREGADOS DE LA CANTERA ACOSTA, SECTOR SANTA ROSA

4.2.1.1 AGREGADO FINO

Realizados los respectivos ensayos al agregado fino de la Cantera Acosta se determinaron sus propiedades mecánicas, las cuales se han sometido a un análisis aplicando las normas que para cada ensayo determinarán la idoneidad del material y especialmente una de las características requeridas sobre la capacidad de absorción que nos llevarán a situar éste material en el rango de recomendable para la confección de hormigones impermeables.

- Al observar la curva granulométrica del Agregado Fino nos lleva a indicar que se trata de una arena muy fina que está debajo del rango más bajo del

límite requerido para la confección de hormigones según la norma. El valor obtenido es de 2.07.

- En el ensayo de capacidad de absorción del Agregado Fino se obtuvo un valor de 1.820%. Se puede indicar que es un valor alto, por lo tanto, la capacidad de absorción de éste material también es alto, haciendo que su calidad se vea disminuida al momento de calificarla para la confección de hormigones impermeables (rango considerado 0.2% – 2%).
- El valor de Densidad Real para el Agregado Fino es de 2.468gr/cm³, lo que se puede observar que el valor es aceptables para la confección de hormigones por encontrarse dentro del rango aceptable.

Tabla 37.-Agregado Fino Cantera Acosta Sector Santa Rosa. Resumen resultados ensayos de Laboratorio.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES			
TRABAJO EXPERIMENTAL					
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE					
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina					
RESUMEN PROPIEDADES MECÁNICAS AGREGADO FINO					
ORIGEN:			CANTERA ACOSTA		
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.		FECHA:	23/may/2016
PROPIEDAD				VALOR:	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA				1,65	
DENSIDAD APARENTE SUELTA				1,54	
DENSIDAD REAL				2,468	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN				1,820	
MÓDULO DE FINURA				2,07	

Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

4.2.1.2. AGREGADO GRUESO

Realizados los respectivos ensayos al agregado grueso de la Cantera Acosta, se determinaron sus propiedades mecánicas, las cuales se han sometido a un análisis aplicando las normas que para cada ensayo determinarán la idoneidad del material y

especialmente una de las características requeridas sobre la capacidad de absorción que nos llevarán a situar éste material en el rango de recomendable para la confección de hormigones impermeables.

- Al analizar la curva granulométrica del agregado Grueso se obtiene que el Tamaño Máximo Nominal obtenido para este agregado es de 1 ½” podemos observar que se trata de una muestra gruesa bastante bien graduada apta para la confección de hormigones.
- Al analizar la capacidad de absorción para el Agregado Grueso se obtiene que el valor obtenido al ser un valor de 1.720% es menor al valor medio por lo tanto es un material de calidad aceptable para la confección de hormigones impermeables (rango considerado 0.2% – 4%).
- El valor de Densidad Real para el Agregado Grueso es de 2.570gr/cm³, lo que se puede observar que este valor es aceptables para la confección de hormigones por encontrarse dentro del rango el uno y muy cercano el otro al rango admisible de entre 2500 kg/cm³ y 2700 kg/cm³.

Tabla 38.-Agregado Grueso Cantera Acosta Sector Santa Rosa. Resumen resultados ensayos de Laboratorio.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES		
TRABAJO EXPERIMENTAL			
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE			
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina			
RESUMEN PROPIEDADES MECÁNICAS AGREGADO GRUESO			
ORIGEN:		CANTERA ACOSTA	
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA: 23/may/2016
PROPIEDAD		VALOR:	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		1,47	
DENSIDAD APARENTE SUELTA		1,38	
DENSIDAD REAL		2,570	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		1,721	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO		1 1/2"	

Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

4.2.2 AGREGADOS DE LA MINA SAN SEBASTIÁN, SECTOR AGUAJÁN.

4.2.2.1 AGREGADO FINO

Realizados los respectivos ensayos al agregado fino de la Cantera Acosta se determinaron sus propiedades mecánicas, las cuales se han sometido a un análisis aplicando las normas que para cada ensayo determinarán la idoneidad del material y especialmente una de las características requeridas sobre la capacidad de absorción que nos llevarán a situar éste material en el rango de recomendable para la confección de hormigones impermeables.

- Al analizar la curva granulométrica del Agregado Fino se puede observar que el valor de Módulo de Finura para la arena analizada es de 2.01, con lo cual se concluye que la arena es muy fina al ubicarse por debajo del límite inferior del rango aceptable para este tipo de agregados.
- En el ensayo de la Capacidad de Absorción del Agregado Fino se determina un valor de 1.292%, ligeramente superior al valor medio del rango en que se califica a los agregados finos (rango considerado 0.2% – 2%). Se concluye que este material tiene una capacidad de absorción media lo que lo hace no aconsejable para la utilización del mismo para la confección de hormigones impermeables.

Tabla 39.-Agregado Fino Mina San Sebastián Sector Aguaján. Resumen resultados ensayos de Laboratorio.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES		
TRABAJO EXPERIMENTAL			
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE			
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina			
RESUMEN PROPIEDADES MECÁNICAS AGREGADO FINO			
ORIGEN:		MINA SAN SEBASTIÁN	
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA: 23/may/2016
PROPIEDAD		VALOR:	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		1,66	
DENSIDAD APARENTE SUELTA		1,52	
DENSIDAD REAL		2,580	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		1,292	
MÓDULO DE FINURA		2,01	

Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

4.2.2.2 AGREGADO GRUESO

Realizados los respectivos ensayos al agregado grueso de la Mina San Sebastián, se determinaron sus propiedades mecánicas, las cuales se han sometido a un análisis aplicando las normas que para cada ensayo determinarán la idoneidad del material y especialmente una de las características requeridas sobre la capacidad de absorción que nos llevarán a situar éste material en el rango de recomendable para la confección de hormigones impermeables.

- La curva granulométrica del Agregado Grueso indica que el Tamaño Nominal Máximo para el ripio es de 1 ½” lo que lleva a concluir que el material es grueso, con una graduación buena y aceptable para la confección de hormigones.
- Analizado el ensayo de la Capacidad de Absorción para el Agregado Grueso se concluye que es un valor medio de absorción igual a 1.985% (rango

considerado 0.2% – 4%) y califica a este material para ser utilizado en la confección de hormigones impermeables.

- El valor de la Densidad Real del Agregado Grueso de 2.628 kg/cm³ se obtiene a partir de realizar el respectivo ensayo. Se obtiene el valor de Densidad Real del Agregado Fino de 2.580 kg/cm³ así mismo, podemos concluir entonces que los valores obtenidos se encuentran en el rango de entre 2500 kg/cm³ y 2700 kg/cm³ haciendo aceptables los materiales para la confección de hormigones.

Tabla 40.-Agregado Grueso Cantera Acosta Sector Santa Rosa. Resumen resultados ensayos de Laboratorio.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES			
TRABAJO EXPERIMENTAL					
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE					
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina					
RESUMEN PROPIEDADES MECÁNICAS AGREGADO GRUESO					
ORIGEN:			MINA SAN SEBASTIÁN		
ENSAYADO POR:			SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.		FECHA: 23/may/2016
PROPIEDAD			VALOR:		
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA			1,51		
DENSIDAD APARENTE SUELTA			1,41		
DENSIDAD REAL			2,628		
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN			1,958		
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL			1 1/2"		

Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

4.2.3 AGREGADOS DE LA CANTERA VILLACRÉS, SECTOR LAS VIÑAS.

4.2.3.1 AGREGADO FINO

Realizados los respectivos ensayos al agregado fino de la Cantera Acosta se determinaron sus propiedades mecánicas, las cuales se han sometido a un análisis aplicando las normas que para cada ensayo determinarán la idoneidad del material y especialmente una de las características requeridas sobre la capacidad de absorción que nos llevarán a situar éste material en el rango de recomendable para la confección de hormigones impermeables.

- La curva granulométrica del Agregado Fino nos indica que el valor correspondiente para el Módulo de Finura es de 2.46, por lo tanto se concluye que se trata de una arena fina por tener un valor cercano al extremo mínimo del rango para este tipo de agregado que esta entre el 2.3 y el 3.1.
- Realizado el ensayo de Capacidad de Absorción para el Agregado Fino se obtuvo un valor de 0.627%, se concluye que este material analizado tiene un valor bajo, lo que lo hace muy aceptable para la confección de hormigones impermeables (rango considerado 0.2% – 2%).
- Los valores obtenidos para la Densidad Real de los Agregados Fino es de 2.638 kg/cm³ por lo que podemos decir que el material es aceptable dentro de los rangos indicados.

Tabla 41.-Agregado Fino Cantera Villacrés Sector Las Viñas. Resumen resultados ensayos de Laboratorio.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES		
TRABAJO EXPERIMENTAL			
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE			
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina			
RESUMEN PROPIEDADES MECÁNICAS AGREGADO FINO			
ORIGEN:		CANTERA VILLACRÉS	
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA: 23/may/2016
PROPIEDAD		VALOR:	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		1,74	
DENSIDAD APARENTE SUELTA		1,59	
DENSIDAD REAL		2,638	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		0,627	
MÓDULO DE FINURA		2,46	

Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

4.2.3.2 GREGADO GRUESO

Realizados los respectivos ensayos al agregado grueso de la Mina San Sebastián, se determinaron sus propiedades mecánicas, las cuales se han sometido a un análisis aplicando las normas que para cada ensayo determinarán la idoneidad del material y especialmente una de las características requeridas sobre la capacidad de absorción que nos llevarán a situar éste material en el rango de recomendable para la confección de hormigones impermeables.

- Al revisar la curva granulométrica del Agregado Grueso se puede observar que el valor para el Tamaño Máximo Nominal es de $\frac{3}{4}$ ", con lo que podemos mencionar que la muestra analizada se trata de un material de tamaño medio.
- En el ensayo de Capacidad de Absorción para Agregado Grueso se ha llegado a obtener un valor de 1.766%, el cual está por debajo del valor medio dado en el rango de entre 0.2% y 4%, por lo que se puede decir que el material es apto para la elaboración de hormigones impermeables.
- Los valores obtenidos para la Densidad Real del Agregados Grueso es de 2.551 kg/cm³. Los márgenes aceptables para el material pétreo están entre

2500 kg/cm³y 2700 kg/cm³, por lo que podemos indicar que el material es aceptable dentro de los rangos indicados.

Tabla 42.- Agregado Grueso Mina Villacrés Sector Las Viñas. Resumen resultados ensayos de Laboratorio.


	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES		
TRABAJO EXPERIMENTAL			
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE			
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina			
RESUMEN PROPIEDADES MECÁNICAS AGREGADO GRUESO			
ORIGEN:		CANTERA VILLACRÉS	
ENSAYADO POR:		SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.	FECHA: 23/may/2016
PROPIEDAD		VALOR:	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA		1,44	
DENSIDAD APARENTE SUELTA		1,28	
DENSIDAD REAL		2,551	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		1,766	
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		3/4"	

Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

4.2.4 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DE HORMIGONES IMPERMEABLES.

Al comparar los valores obtenidos de los materiales provenientes de tres orígenes diferentes, y sus propiedades mecánicas obtenidas en laboratorio especialmente su capacidad de absorción, se puede concluir que el material más apto para proceder con los diseños de hormigón según la resistencia y hormigones con adición de aditivo impermeabilizante, corresponde a los materiales provenientes de la Cantera Villacrés como se muestra a continuación en las Tablas 43 y las referencias de la Tabla 44.

Tabla 43.- Tabla de Resumen valores de ensayos en agregados según su origen

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES					
RESUMEN PROPIEDADES DE AGREGADOS POR SU ORIGEN						
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE						
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina						
ENSAYOS DE LABORATORIO PARA AGREGADOS						
TIPO DE ENSAYO	MINA: ACOSTA		MINA: SN. SEBASTIÁN		MINA: VILLACRÉS	
	AG. FINO	AG. GRUESO	AG. FINO	AG. GRUESO	AG. FINO	AG. GRUESO
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA	1,65	1,47	1,66	1,51	1,74	1,44
DENSIDAD APARENTE SUELTA	1,54	1,38	1,52	1,41	1,59	1,28
DENSIDAD REAL	2,468	2,570	2,580	2,628	2,638	2,551
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	1,820	1,721	1,292	1,958	0,627	1,766
MÓDULO DE FINURA	2,07	-	2,01	-	2,46	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO	-	1/2"	-	1 1/2"	-	3/4"

Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 44.- Rangos aceptables de las propiedades de agregados para la fabricación de hormigones.

CRITERIO DE RANGOS ACEPTABLES PARA AGREGADOS EN LA FABRICACIÓN DE HORMIGONES SEGÚN LA NORMA					
TIPO DE ENSAYO		VALORES RECOMENDADOS		CONDICIÓN	NORMA
Densidad Real Agregado Fino	MAYOR A:	2,55		ADMISIBLE	NTE INEN 856
Densidad Real Agregado Fino	MENOR A:	2,30		NO ADMISIBLE	NTE INEN 856
Densidad Real Agregado Grueso	MAYOR A:	2,60		ADMISIBLE	NTE INEN 857
Densidad Real Agregado Grueso	MENOR A:	2,30		NO ADMISIBLE	NTE INEN 857
Capacidad de Absorción Agregado Fino	ENTRE:	0,2%	2%	ADMISIBLE	NTE INEN 856
Capacidad de Absorción Agregado Grueso	ENTRE:	0,2%	4%	ADMISIBLE	NTE INEN 857
Módulo de Finura Agregado Fino	ENTRE:	2,3	3,1	ADMISIBLE	ASTM C125

Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

4.2.5 ENSAYO A COMPRESIÓN MUESTRAS $f'c=210\text{kg/cm}^2$

Tabla 45.- Rotura muestras $f'c=210\text{kg/cm}^2$, Hormigón confeccionado con agregados de la Mina Villacrés, Sector Las Viñas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES		
TRABAJO EXPERIMENTAL						
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE						
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina						
ENSAYO A COMPRESIÓN CILINDROS						
FECHA VACIADO:		30/04/2016		FECHA ROTURA: 29/05/2016		
RESISTENCIA:		210		SIN ADITIVO kg/cm ²		
EDAD ESPÉCIMEN:		7 - 14 - 21 - 28		días		
ENSAYADO POR: Santiago I. Rodríguez V.		REVISADO POR:		Ing. Mg. Santiago Medina		
DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS						
DIÁMETRO	ALTURA	ÁREA	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	LECTURA	ESFUERZO	RESISTENCIA
cm	cm	cm ²	210kg/cm ²	CARGA KN	Mpa	CORREGIDA kg/cm ²
15,1	30,0	179,08	2-210-SA	234,8	13,73	133,7
15,2	30,0	181,46	9-210-SA	251,1	14,21	138,4
15,1	30,0	179,08	6-210-SA	228,9	13,12	127,8
15,1	30,0	179,08	4-210-SA	325,21	18,65	181,6
15,2	30,0	181,46	7-210-SA	338,24	19,14	186,4
15,0	30,0	176,72	12-210-SA	317,20	18,43	179,5
15,1	30,0	179,08	8-210-SA	364,43	20,76	203,5
15,0	30,0	176,72	11-210-SA	359,62	20,76	203,5
15,0	30,0	176,72	10-210-SA	352,02	20,32	199,2
15,2	30,0	181,46	1-210-SA	385,6	21,82	216,8
15,2	30,0	181,46	3-210-SA	394,1	22,3	217,2
15,2	30,0	181,46	5-210-SA	391,4	22,15	215,7

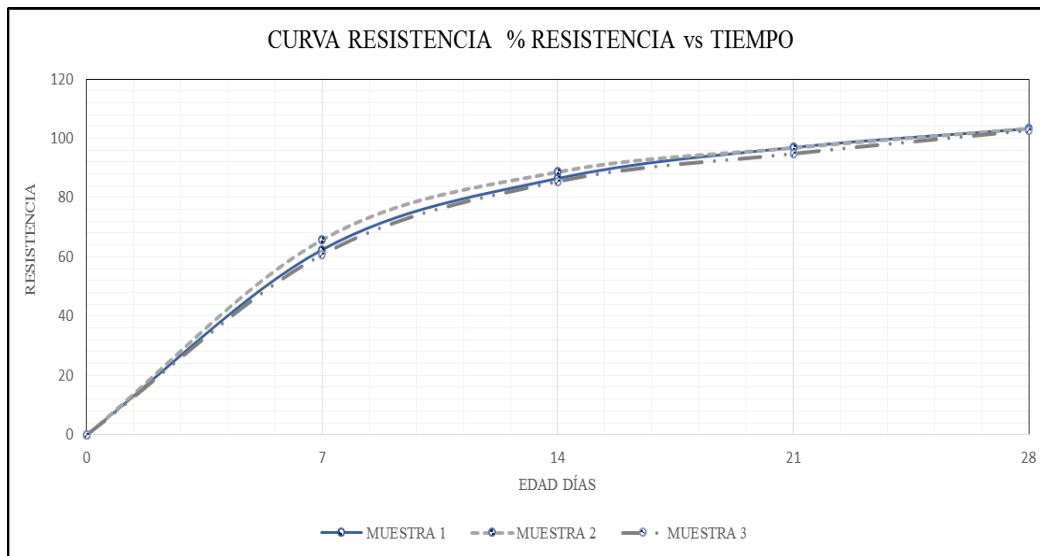
Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

Gráfico 8.- Ensayo a compresión de muestras $f'c=210\text{kg/cm}^2$, verificación de diseño.



Fuente.- Santiago Rodríguez V.

Gráfico 9.- Comportamiento hormigón, % de Resistencia vs Tiempo.



Fuente.- Santiago Rodríguez V.

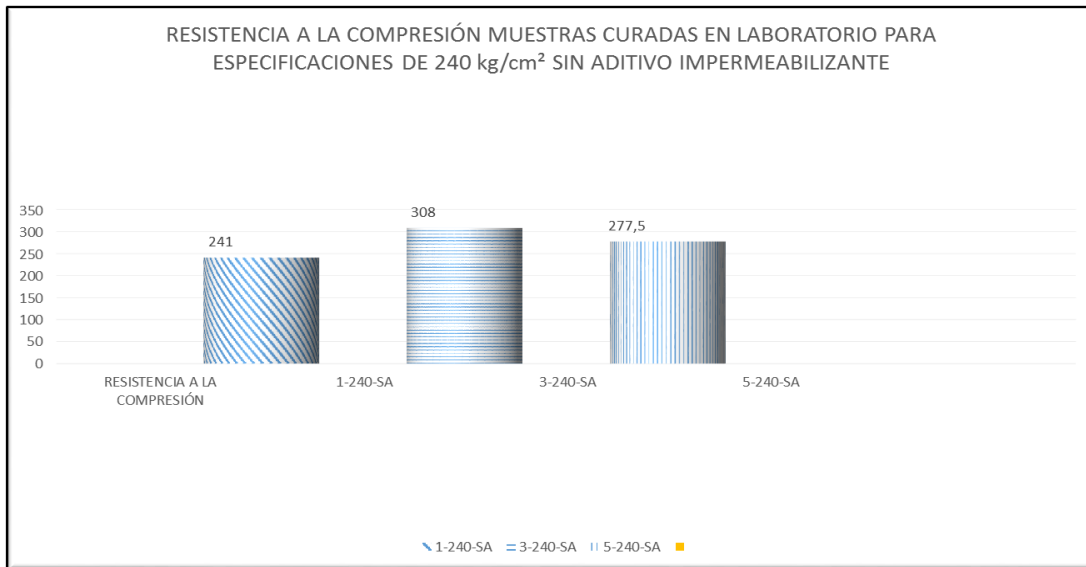
4.2.6 ENSAYO A COMPRESIÓN MUESTRAS $f'_c=240\text{kg/cm}^2$

Tabla 46.- Rotura muestras $f'_c=240\text{kg/cm}^2$, Hormigón confeccionado con agregados de la Mina Villacrés, Sector Las Viñas.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES		
TRABAJO EXPERIMENTAL						
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE						
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina						
ENSAYO A COMPRESIÓN CILINDROS						
FECHA VACIADO:	30/04/2016	FECHA ROTURA:	29/05/2016			
RESISTENCIA:	240	SIN ADITIVO	kg/cm ²			
EDAD ESPÉCIMEN:	7 - 14 - 21 - 28	días				
ENSAYADO POR:	Santiago I. Rodríguez V.	REVISADO POR:	Ing. Mg. Santiago Medina			
DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS						
DIÁMETRO	ALTURA	ÁREA	IDENTIFICACIÓN MUESTRAS	LECTURA	ESFUERZO	RESISTENCIA
cm	cm	cm ²	240kg/cm ²	CARGA KN	Mpa	CORREGIDA kg/cm ²
15,2	30,0	181,46	11-240-SA	313,8	17,91	176,4
15,1	30,0	179,08	7-240-SA	355,8	20,18	198,7
15,2	30,0	181,46	4-240-SA	340,2	19,04	187,5
15,0	30,0	176,72	9-240-SA	391,4	22,49	221,5
15,0	30,0	176,72	8-240-SA	471,3	27,08	266,7
15,2	30,0	181,46	6-240-SA	433,9	24,28	239,1
15,0	30,0	176,72	2-240-SA	411,9	23,67	233,1
15,1	30,0	179,08	10-240-SA	521,5	29,57	291,2
15,1	30,0	179,08	12-240-SA	470,1	26,66	262,5
15,2	30,0	181,46	1-240-SA	428,6	24,25	240,9
15,1	30,0	179,08	3-240-SA	551,9	31,23	308,2
15,2	30,0	181,46	5-240-SA	503,5	28,49	277,5

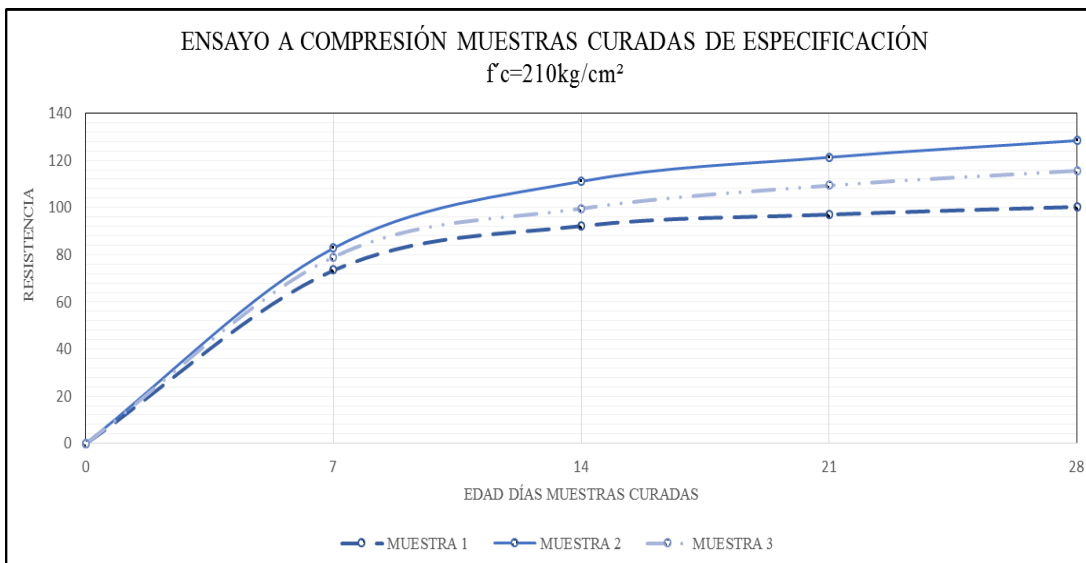
Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

Gráfico 10.- Ensayo a compresión de muestras $f'c=240\text{kg/cm}^2$, verificación de diseño.



Fuente: Santiago I. Rodríguez V.



Gráfico 11.- Comportamiento hormigón, % de Resistencia vs Tiempo.



Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

4.2.7 ENSAYOS DE PERMEABILIDAD HORMIGONES $f'c=210\text{kg/cm}^2$

Tabla 47.-Ensayo de muestras $f'c=210\text{ kg/cm}^2$, sin aditivo impermeabilizante.



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES					
TRABAJO EXPERIMENTAL							
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE							
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina							
ENSAYO PERMEABILIDAD EN MUESTRAS DE HORMIGÓN ENDURECIDO							
RESISTENCIA:	$f'c =$	210	kg/cm^2	ADICIÓN ADITIVOS:	kg/kg CEMENTO	0%	
ENSAYADO POR:	SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.			FECHA FUNDICIÓN:	11/04/2016		
CURADO:	28	días		FECHA FIN CURADO:	09/05/2016		
FECHA REPORTE:	01/06/2016				HORA REPORTE:	13H10	
IDENTIFICACIÓN PROBETAS	FECHA ENSAYO	HORA ENSAYO	DESCRIPCIÓN PROBETA	DIRECCIÓN APLICACIÓN PRESIÓN AGUA EN RELACIÓN CON EL HORMIGONADO	PROFUNDIDAD MÁXIMA PENETRACIÓN (mm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE PENETRACIÓN (mm)	
6-210-SA	30/05/2016	15H10	ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR	40	30	
4-210-SA	30/05/2016	15H10	ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR	29		
5-210-SA	30/05/2016	15H10	ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR	20		

Nomenclatura Identificación Muestras: 1-210-SA. (Número de Probeta) –

(Resistencia Especificada) – (Sin Aditivo Impermeabilizante SA).

Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

Tabla 48.-Ensayo de muestras $f'c=210\text{ kg/cm}^2$, con aditivo impermeabilizante.

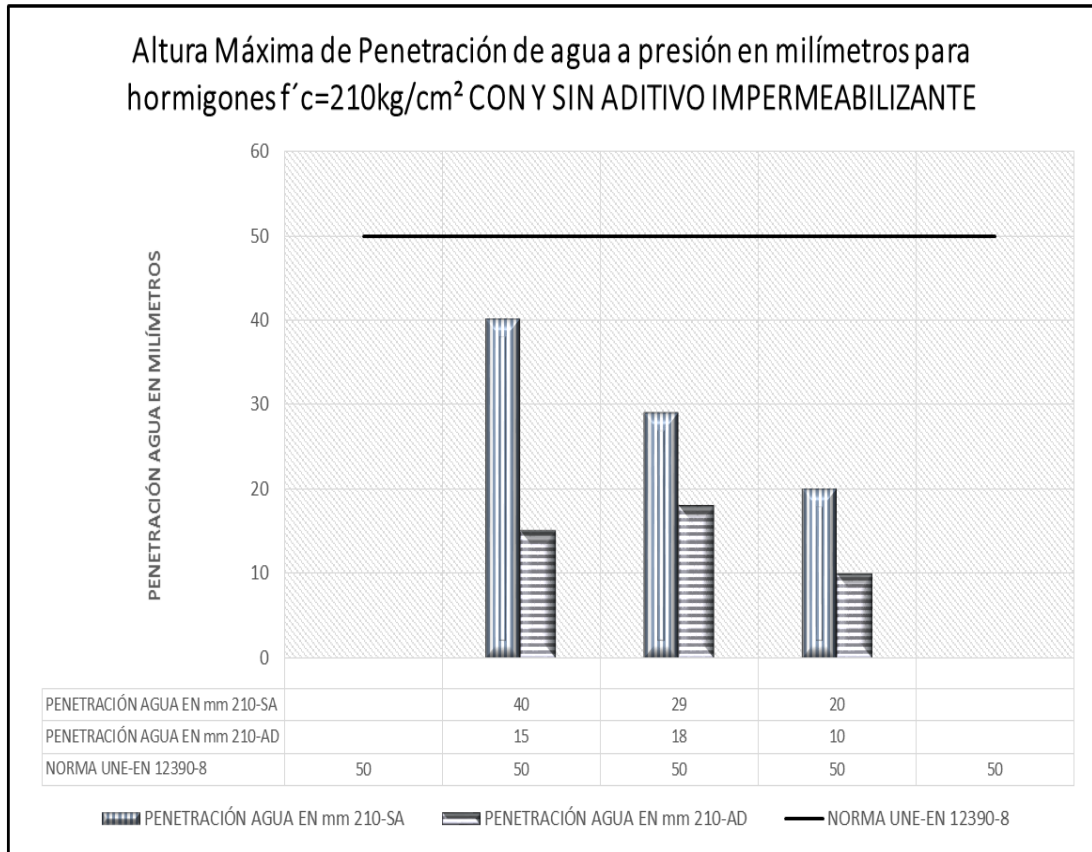
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES					
TRABAJO EXPERIMENTAL							
TEMA: ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE							
TUTOR: Ing. Mg. Santiago Medina							
ENSAYO PERMEABILIDAD EN MUESTRAS DE HORMIGÓN ENDURECIDO							
RESISTENCIA:	$f'c =$	210	kg/cm^2	ADICIÓN ADITIVOS:	kg/kg CEMENTO	2%	
ENSAYADO POR:	SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.			FECHA FUNDICIÓN:	11/04/2016		
CURADO:	28	días		FECHA FIN CURADO:	09/05/2016		
FECHA REPORTE:	03/06/2016				HORA REPORTE:	15h10	
IDENTIFICACIÓN PROBETAS	FECHA ENSAYO	HORA ENSAYO	DESCRIPCIÓN PROBETA	DIRECCIÓN APLICACIÓN PRESIÓN AGUA EN RELACIÓN CON EL HORMIGONADO	PROFUNDIDAD MÁXIMA PENETRACIÓN (mm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE PENETRACIÓN (mm)	
1-210-AD	01/06/2016	16h00	ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR	15	14	
2-210-AD	01/06/2016	16h00	ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR	18		
3-210-AD	01/06/2016	16h00	ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR	10		

Nomenclatura Identificación Muestras: 1-210-AD. (Número de Probeta) –

(Resistencia Especificada) – (Con Aditivo Impermeabilizante AD).

Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

Gráfico 12.-Gráfica ensayo permeabilidad de muestras curadas con edades mayores a 28 días y resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$.





Nomenclatura Identificación Muestras: 1-210-AD. (Número de Probeta) –
(Resistencia Especificada) – (Con Aditivo Impermeabilizante AD)

Fuente: Santiago Rodríguez V.

4.2.8 ENSAYO DE PERMEABILIDAD HORMIGONES $f'c=240\text{kg/cm}^2$


Tabla 49.-Gráfica ensayo permeabilidad de muestras curadas con edades mayores a 28 días y resistencia $f'c=240\text{kg/cm}^2$ sin adición de aditivo impermeabilizante.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES					
TRABAJO EXPERIMENTAL							
TEMA:		ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE					
TUTOR:		Ing. Mg. Santiago Medina					
ENSAYO PERMEABILIDAD EN MUESTRAS DE HORMIGÓN ENDURECIDO							
RESISTENCIA:	$f'c =$	240	kg/cm ²	ADICIÓN ADITIVOS:	kg/kg CEMENTO	0%	
ENSAYADO POR:	SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.			FECHA FUNDICIÓN:	12/04/2016		
CURADO:	28	días		FECHA FIN CURADO:	10/05/2016		
FECHA REPORTE:		06/06/2016			HORA REPORTE:		15H20
IDENTIFICACIÓN PROBETAS	FECHA ENSAYO	HORA ENSAYO	DESCRIPCIÓN PROBETA	DIRECCIÓN APLICACIÓN PRESIÓN AGUA EN RELACIÓN CON EL HORMIGONADO	PROFUNDIDAD MÁXIMA PENETRACIÓN (mm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE PENETRACIÓN (mm)	
1-240-SA	03/06/2016	16H00	ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR	17	19	
3-240-SA	03/06/2016	16H00	ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR	15		
6-240-SA	03/06/2016	16H00	ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR	25		

Nomenclatura Identificación Muestras: 1-240-SA. (Número de Probeta) – (Resistencia Especificada) – (Sin Aditivo Impermeabilizante SA).

Fuente: Santiago Rodríguez V.

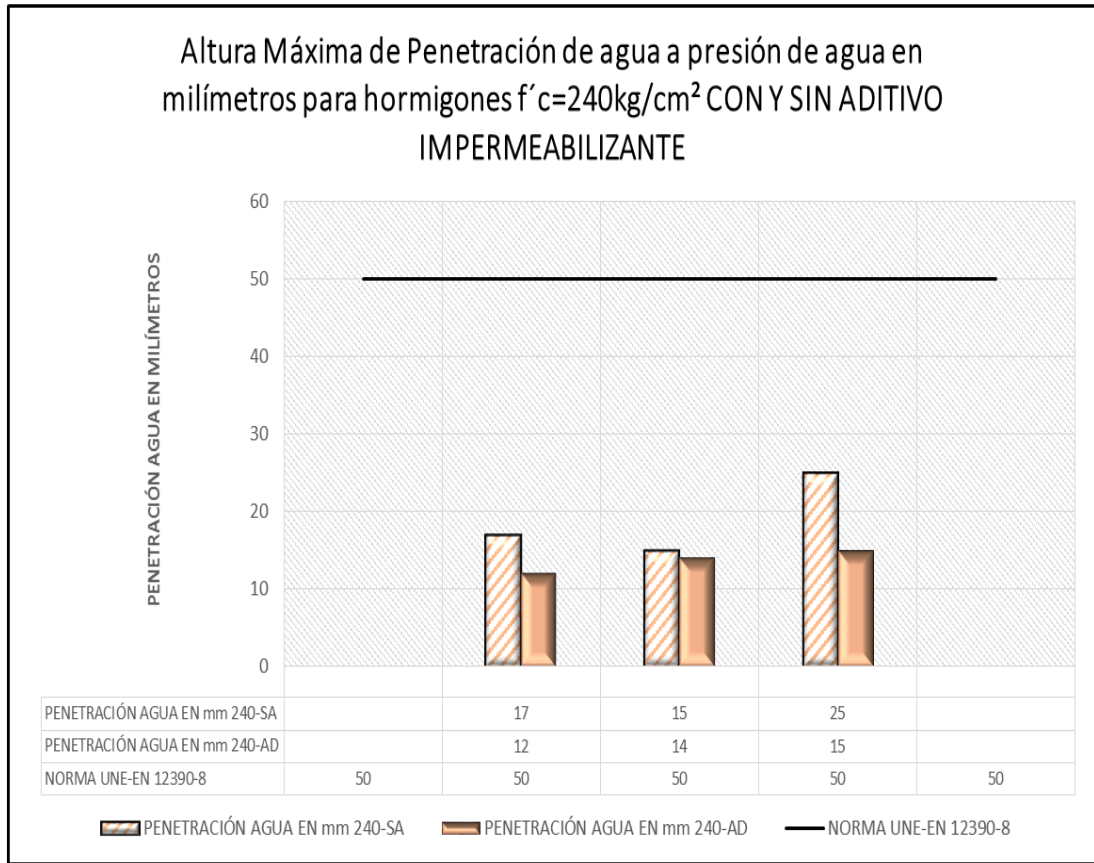
Tabla 50.-Gráfica ensayo permeabilidad de muestras curadas con edades mayores a 28 días y resistencia $f'c=240\text{kg/cm}^2$ sin adición de aditivo impermeabilizante.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES					
TRABAJO EXPERIMENTAL							
TEMA:		ESTUDIO DE HORMIGONES IMPERMEABLES, SEGÚN ORIGEN LOCAL DE MATERIALES Y LA ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE					
TUTOR:		Ing. Mg. Santiago Medina					
ENSAYO PERMEABILIDAD EN MUESTRAS DE HORMIGÓN ENDURECIDO							
RESISTENCIA:	$f'c =$	240	kg/cm ²	ADICIÓN ADITIVOS:	kg/kg CEMENTO	2%	
ENSAYADO POR:	SANTIAGO I. RODRÍGUEZ V.			FECHA FUNDICIÓN:	12/04/2016		
CURADO:	28	días		FECHA FIN CURADO:	10/05/2016		
FECHA REPORTE:		09/06/2016			HORA REPORTE:		17H00
IDENTIFICACIÓN PROBETAS	FECHA ENSAYO	HORA ENSAYO	DESCRIPCIÓN PROBETA	DIRECCIÓN APLICACIÓN PRESIÓN AGUA EN RELACIÓN CON EL HORMIGONADO	PROFUNDIDAD MÁXIMA PENETRACIÓN (mm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE PENETRACIÓN (mm)	
1-240-AD	06/06/2016	16H30	ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR	12	14	
2-240-AD	06/06/2016	16H30	ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR	14		
3-240-AD	06/06/2016	16H30	ARISTAS RECTAS	PERPENDICULAR	15		

Nomenclatura Identificación Muestras: 1-210-AD. (Número de Probeta) – (Resistencia Especificada) – (Con Aditivo Impermeabilizante AD).

Fuente: Santiago Rodríguez V.

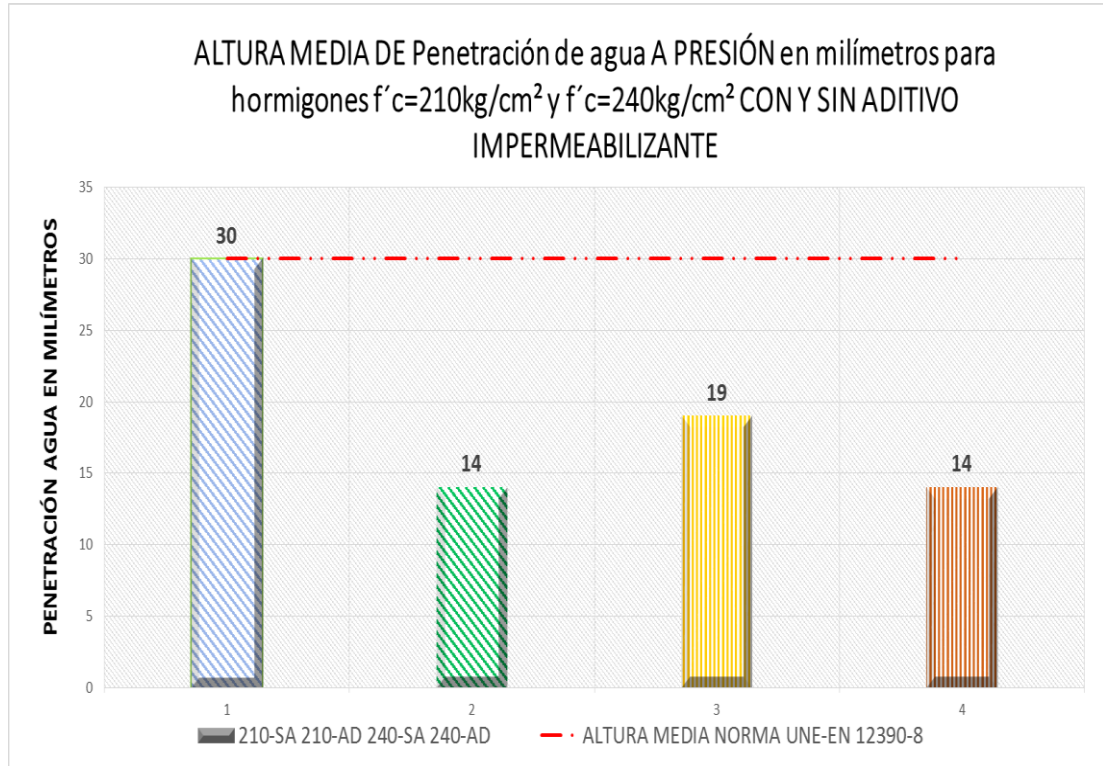
Gráfico 13.-Gráfica ensayo permeabilidad de muestras curadas con edades mayores a 28 días y resistencia $f'c=240\text{kg/cm}^2$.



Nomenclatura Identificación Muestras: 1-210-AD. (Número de Probeta) – (Resistencia Especificada) – (Con Aditivo Impermeabilizante AD).

Fuente: Santiago Rodríguez V.

Gráfico 14.-Gráfica ensayo permeabilidad de muestras curadas con edades mayores a 28 días y resistencia $f'c=210\text{kg/cm}^2$ / $f'c=240\text{kg/cm}^2$.



Nomenclatura Identificación Muestras: 1-210-AD. (Número de Probeta) – (Resistencia Especificada) – (Con Aditivo Impermeabilizante AD).

Fuente: Santiago Rodríguez V

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Luego de realizar los respectivos ensayos a los materiales provenientes de las tres fuentes es evidenciable claramente que los valores de los resultados obtenidos no son iguales, lo que indica que las propiedades de cada uno dependen de su origen local de donde son extraídos los agregados. Estas propiedades nos indican que los valores que se obtienen en impermeabilidad variarán y no serán los mismos.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se concluye que al utilizar una dosificación para una especificación de **$f'c=210\text{kg/cm}^2$ sin adición de aditivo impermeabilizante**, la Altura Media de penetración de agua es de 30mm y la Altura Máxima mayor obtenida es de 40mm, valores que no superan lo solicitado por la Norma UNE EN 12390-8, lo que lo califican como hormigón impermeable.
- Se puede concluir que para un hormigón de especificación **$f'c=210\text{kg/cm}^2$ con la adición de Aditivo impermeabilizante** a un 2% del peso en cemento de la mezcla, se obtuvo un valor de penetración Media de agua de 14mm y un valor de Altura Máxima de: 18mm, valores menores al límite indicado por la respectiva normativa UNE EN 12390-8, por lo cual se lo califica como hormigón impermeable.
- Al **no incluir aditivo impermeabilizante** para una mezcla de hormigón de especificación **$f'c=240\text{kg/cm}^2$** , la Altura Media de penetración de agua obtenida es de: 19mm y la Altura Máxima de penetración es: 25mm, menor a la altura Media y Máxima límite de la norma UNE EN 12390-8, lo que lo califica como hormigón impermeable.
- Al adicionar el 2% de aditivo impermeabilizante para una mezcla de hormigón de especificación $f'c=240\text{kg/cm}^2$, se obtiene una penetración de agua a presión Media de: 14mm y una Altura Máxima de: 15mm. Se observa además una repulsión evidente del agua en la superficie de contacto. Por lo mencionado éste hormigón es calificado también como impermeable al aplicar la norma utilizada para la presente investigación UNE EN 12390-8.

- Al observar los resultados de penetración Media de agua a presión sobre las muestras ensayadas en las dos especificaciones estudiadas de 210kg/cm^2 y 240kg/cm^2 con la adición de aditivo impermeabilizante, se obtuvo resultados iguales, un valor de 14mm. Se puede concluir que al adicionar el 2% por peso de cemento de aditivo impermeabilizante el valor de penetración Media de agua llega a un valor igual de: 14mm aunque la relación agua / cemento disminuya de 0,58 a 0,56.
- La Altura Media de penetración de agua en el hormigón confeccionado sin la adición de aditivo impermeabilizante y de resistencia $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ es de: 30mm, así mismo la Altura Máxima de penetración obtenida para el mismo tipo de hormigón fue de: 40mm. Este hormigón tiene una penetración cercana e igual a los valores de recubrimientos mínimos solicitados en la sección 7 del ACI 318 específicamente: 7.7.1 “Hormigón Construido en sitio (no preesforzado, Ver Anexos Tabla 49), en el literal b.- Concreto expuesto a suelo o a la interperie: Barras No. 16, alambre MW200 ó MD200 (16mm de diámetro) y menores es: 40mm”. Esta investigación concluye por lo tanto que al utilizar los valores de la norma citada tendríamos una disminución evidente de la vida útil de estructuras construidas por la afectación y corrosión de los aceros de refuerzo. No debemos olvidar que los agregados utilizados son los materiales que mejores propiedades presentaron, especialmente en la capacidad de absorción. Lo que nos hace pensar que los demás materiales de la zona tendrán una afectación peligrosa a la funcionalidad y vida útil de las estructuras.
- En la sección 7.7.2 del ACI 318: “Concreto construido en sitio (preesforzado) en el literal b.- Concreto expuesto a suelo o a la interperie: Paneles de muros, losas, viguetas es 25mm y Otros elementos 40mm”. Nuevamente estos valores se muestran insuficientes para la protección de este tipo de elementos al contacto con el suelo o a la interperie.
- Por lo general en nuestro medio el recubrimiento más comúnmente utilizado en elementos como columnas es de 25mm. De lo anterior, al utilizar un

hormigón de resistencia $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ **sin la adición de aditivo impermeabilizante** estaríamos en grave riesgo de afectar la funcionalidad con el paso del tiempo de este tipo de elementos principales en una estructura y peor aún en plintos. Se concluye que los recubrimientos que actualmente son utilizados podrían no garantizar la durabilidad y la vida útil de un elemento, reduciendo gravemente su funcionalidad estructural con el paso del tiempo.

- Los valores de penetración Máxima para un hormigón analizado de $f'_c=240\text{kg/cm}^2$ sin la adición de aditivo impermeabilizante es de 25mm. Este valor es igual al recubrimiento que más comúnmente se utiliza en las construcciones de nuestra zona. Aunque la relación agua-cemento ha disminuido para esta especificación vemos que es necesario revisar seriamente los valores que utilizamos para las construcciones locales. Al analizar el mismo hormigón con la adición de aditivo impermeabilizante se observa la disminución evidente con una altura Máxima de 15mm, donde tenemos un rango de protección para este tipo de elementos.
- En el Capítulo 4 del ACI 318, específicamente 4.2.2 (Ver tabla 53 y 54), se mencionan los requisitos para condiciones de exposición especiales. Estas condiciones indican los rangos de las relaciones agua/cemento recomendados de: 0.40, 0.45 y 0.50 para resistencias de: 35MPa, 31MPa y 28MPa respectivamente y las composiciones sugeridas para los cementos utilizados para la mezcla. Al aplicarse estas condiciones en el caso local de Ambato tendríamos hormigones económicamente no viables. En la presente investigación se demuestra que al adicionarse aditivo impermeabilizante para relaciones agua cemento entre 0.58 y 0.56 se obtienen valores de permeabilidad aceptables con una altura Media de 14mm.
- En el caso de exposición a sulfatos la norma indica revisar la Tabla 4.3.1 del Capítulo 4 del ACI 318 (Ver tabla 55), donde recomienda la utilización del tipo de cemento específico para la exposición a sulfatos. En nuestro país los tipos de cementos solicitados por la norma serían económicamente no viables su utilización especialmente para obras de escala pequeña como son

viviendas u obras complementarias que se realizan comúnmente como muros, losas, etc. Por lo que la presente investigación nos brinda un lineamiento sobre los valores de recubrimiento necesarios para garantizar la vida útil de este tipo de estructuras.

- El hormigón estudiado en la presente investigación para el caso de las dos especificaciones analizadas sin la adición de aditivo impermeabilizante tienen una Altura Media de penetración de 30mm y 19mm respectivamente. Al realizar una comparación el recubrimiento mínimo de estructuras sanitarias citadas en el ACI 350, en la sección 2.5 “Recubrimiento de concreto para el refuerzo”, se observa que el recubrimiento requerido es superior a los valores encontrados. Por lo tanto el hormigón estudiado es impermeable y califica dentro de los requisitos solicitados en el mencionado reglamento.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se amplíe el presente estudio de permeabilidad, tomando los agregados proporcionados por las diferentes minas de nuestro medio. Para determinar, un valor recomendado de recubrimientos mínimos para las diferentes estructuras, por los diferentes grados de exposición de las mismas. Actualmente los códigos utilizados muestran valores de recubrimientos mínimos que son el resultado de estudios que tienen procedencia de otros países, las características de los materiales son incompatibles con los de orígenes locales.
- Es recomendable que el diseñador de una estructura tome como base este tipo de ensayos de permeabilidad para complementar un diseño de hormigón, cuando se busca el mejor material para la construcción de una estructura y asegurar su vida útil, ya que de esta propiedad se derivan la durabilidad que tendrá y la vida útil que se proyecta para cualquier proyecto de obra civil a cualquier escala.

- Se recomienda cambiar el anillo de estanquidad del equipo cada seis ensayos realizados o ir verificando el estado del mismo haciendo una revisión visual por el apareamiento de grietas o imperfecciones que podrían evitar el sellado perfecto.
- Es recomendable que al tener tipos de estructuras tales como: Puentes, Tanques reservorios, represas, pozos de visita, estaciones de bombeo, etc., se convenga realizar los estudios de los agregados que intervienen en la fabricación de los hormigones, para asegurar que los rangos de penetración de agua estén bajo los requeridos por las normas que actualmente son las utilizadas en el diseño de cualquier tipo de estructura y se encuentran reglamentadas en las leyes de nuestro país.
- Es preciso señalar además que es recomendable tener en cuenta que las estructuras que estarán sujetas al contacto con sustancias químicas, al mojado y secado alternados tienen un evidente riesgo de daño en su durabilidad deben tener necesariamente un previo estudio de permeabilidad de los hormigones que se utilizarán y evidentemente el análisis de los agregados que intervienen en dichas mezclas.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASOCRETO, Tecnología del concreto, Tercera Edición ed., vol. Tomo 1, Bogotá, D.C.: Nomos Impresores, 2010, p. 228.
- [2] N. Española, «Ensayos de hormigón endurecido Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión». España Patente UNE-EN 12390-8, 01 Junio 2001.
- [3] M. S. d. J. A. D. C. L. S. M. y. F. J. P. Pilar Alaejos, «Primera experiencia internacional de empleo de hormigón reciclado estructural en un puente atirantado (Parte II),» *Revista Técnica CEMENTO HORMIGÓN*, vol. 25, nº 946, pp. 70-87, 2011.
- [4] BASF, «Hormigón de baja permeabilidad,» 01 Agosto 2011. [En línea]. Available: http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art_tec/hormigon-baja-permeabilidad.pdf. [Último acceso: 02 03 2016].
- [5] G. H. Ph.D, «Concreto de baja Permeabilidad, algo más que disminuir A/C,» *SIKA*, vol. 24, nº 56, pp. 8-12, 2013.
- [6] S. y. L. J. Alegre, «Permeabilidad del hormigón a los gases y líquidos. Nuevo método de determinación.,» *Materconstrucc*, vol. 34, nº 195, p. 13, 1984.
- [7] L. M. Vélez, «Permeabilidad y Porosidad en Concreto,» *Revista Tecno Lógicas*, vol. 18, nº 25, pp. 169-189, 2010.
- [8] N. R. Adroher, «Definiciones de,» DATOS LSSI, 01 01 2010. [En línea]. Available: www.definicionesde.com. [Último acceso: 02 03 2016].
- [9] Sika Colombia S.A., «Concreto,» *Concreto Impermeable*, Vols. %1 de %2DCT-V0, nº 198-10, p. 32, 2014.
- [10] P. C. R. y. J. R. Jiménez, *Ciencia de Materiales*, Barcelona: PIRAMIDE, 2000.
- [11] COMITÉ ACI 318, «Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05),» FARMINGTON HILL, MICHIGAN 48333-9094 USA, AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2005, p. 495.

2. ANEXOS

2.1 RECOLECCIÓN DE MATERIALES PÉTREOS



FOTO 1. CANTERA ACOSTA, VÍA SANTA ROSA



FOTO 2. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MATERIALES



FOTO 3. MINA SAN SEBASTIÁN, AGUAJÁN Km. 4.5



FOTO 4. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE MATERIALES

2.2 GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS



FOTO 1. PREPARACIÓN DE MUESTRA AGREGADO GRUESO



FOTO 2. PROCESO DE TAMIZADO AGREGADO GRUESO



FOTO 3. SERIE DE TAMICES AGREGADO GRUESO



FOTO 4. PREPARACIÓN MUESTRA AGREGADO FINO



FOTO 5. PROCESO TAMIZADO AGREGADO FINO



FOTO 6. SERIE TAMICES AGREGADO FINO

2.3 MISELÁNEO ENSAYOS CON AGREGADOS GRUESO Y FINO



FOTO 1. ENSAYO DE DENSIDADES EN AGREGADO GRUESO



FOTO 2. ENSAYO DE DENSIDADES EN AGREGADO FINO



FOTO 3. PROCESO SATURACIÓN DE AGREGADO GRUESO PREVIO ENSAYO ABSORCIÓN Y ESTADO SSS.



FOTO 4. PROCESO DE ENSAYO DE ESTADO SSS PARA AGREGADO FINO

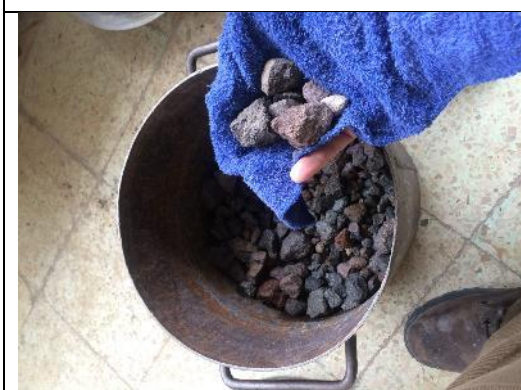




FOTO 5. PROCESO DE SECADO SUPERFICIAL DE AGREGADO GRUESO ESTADO SSS



FOTO 6. PROCESO DE SECADO DE MUESTRAS EN HORNO PARA OBTENCIÓN DE PORCENTAJES DE HUMEDAD

2.4 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE EQUIPO PARA ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

	
<p>FOTO 1. TUBERIA PVC PARA INGRESO DE AGUA A PRESIÓN AL SISTEMA</p>	<p>FOTO 2. MANÓMETRO ANALÓGICO EN GLICERINA</p>
	
<p>FOTO 3. PLACAS DE SOPORTE EXTREMOS SUPERIOR E INFERIOR DE MUESTRAS</p>	<p>FOTO 4. VARILLAS CON ROSCA DE 1/2" , NEPLOS DE 1/2" PARA ENTRADA DE AGUA</p>
	
<p>FOTO 5. MONTAJE DE NEPLOS DE</p>	<p>FOTO 6. SOLDADURA DE</p>

H.G. DE ½”	NEPLOS DE ENTRADA
	
FOTO 7. LIMPIEZA Y PULIDO DE SOLDADURA	FOTO 8. PERFORACIONES Y FIJADO DE NEPLO H.G. PARA INGRESO DE AGUA
	
FOTO 9. MONTAJE DE ANILLO DE SOPORTE CON SURCO PARA CAUCHOS DE ESTANQUIEDAD	FOTO 10. MONTAJE DE PLACAS EN BASE METÁLICA PARA 3 MUESTRAS
	
FOTO 11. MONTAJE DE TUBERIA P.V.C. Y MONTAJE DE APARATOS DE MEDIDA (MANÓMETROS)	FOTO 12. PRUEBA DE MONTAJE PREVIO DE CILINDROS EN EL EQUIPO DE IMPERMEABILIDAD



FOTO 13. PROCESO DE FABRICACIÓN DE VARILLAS DE SOPORTE, ANILLOS DE ESTANQUIEDAD



FOTO 14. BOMBA DE PRUEBAS DE PRESIÓN MARCA RIDGID 1450 CON MANÓMETRO INCLUIDO



FOTO 15. EQUIPO MONTADO PRESURIZADO



FOTO 16. PRESURIZACIÓN DEL SISTEMA



FOTO 17. PINTURA DE ACABADO ANTI-ÓXIDO GALBANIZANTE EN FRÍO.



FOTO18. EQUIPO TERMINADO

**2.5 ELABORACIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN
DOSIFICACIONES ESPECIFICADAS – ENSAYO A COMPRESIÓN
EN EQUIPO ESPECIALIZADO**



FOTO 1. DOSIFICADO DE AGREGADO GRUESO



FOTO 2. ADICIÓN ADITIVO IMPERMEABILIZANTE



FOTO 3. DOSIFICADO DE CEMENTO



FOTO 4. MEZCLADO DE PROPORCIONES DE MATERIALES



FOTO 5. PROCESO DE TOMA DE MUESTRAS Y VIBRADO



FOTO 6. PROCESO DE CURADO DE MUESTRAS



FOTO 7. PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA ENSAYO A COMPRESIÓN



FOTO 8. PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA ENSAYO A COMPRESIÓN



FOTO 9. ENSAYO COMPRESIÓN MUESTRAS

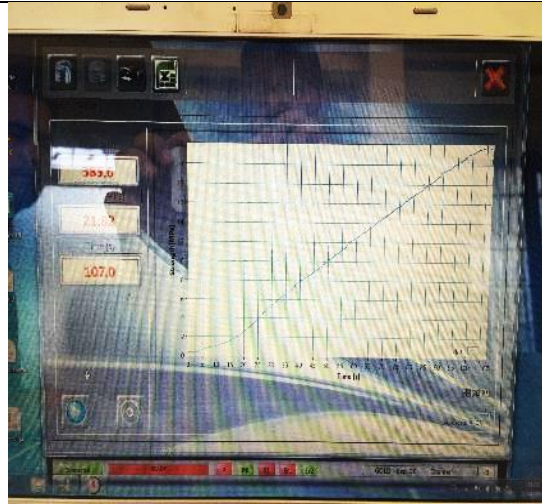


FOTO 10. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA HORMIGÓN $f'c=210\text{kg/cm}^2$

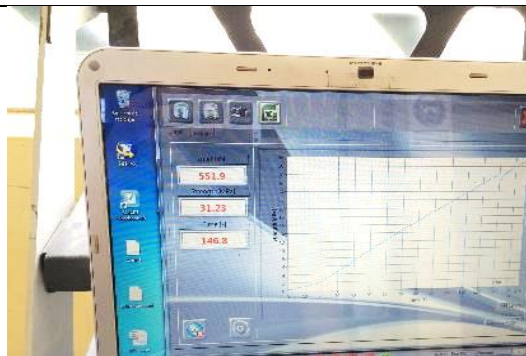


FOTO 11. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA HORMIGÓN $f'c=240\text{kg/cm}^2$



FOTO 12. MUESTRA ENSAYADA A COMPRESIÓN

2.6 ENSAYOS DE PERMEABILIDAD – PROCESO DE ENSAYO



FOTO 1.- RETIRO DE IMPUREZAS EN LA CARA INFERIOR ANTES DEL INICIO DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD



FOTO 2.- MONTAJE DE MUESTRAS EN EL EQUIPO, CARGA DE PRESIÓN 500±50 MPa



FOTO 3.- PRESURIZACIÓN DEL SISTEMA, BOMBA MANUAL



FOTO 4.- LECTURA EN MANÓMETRO DE LA PRESIÓN



FOTO 5.- DESMONTAJE DE PLACA, DESCARGA DEL SISTEMA PARA ROTURA



FOTO 6.- MONTAJE PARA ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

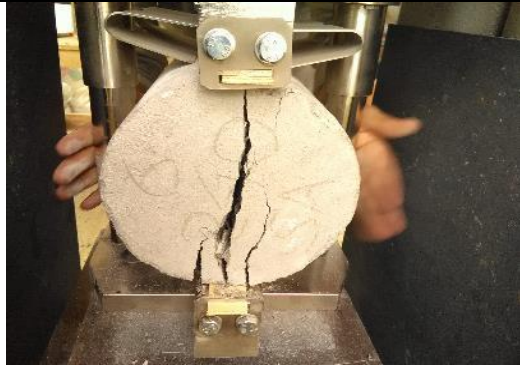


FOTO 7.- MUESTRA LUEGO DE APLICACIÓN DE CARGA (ROTURA TRANSVERSAL)



FOTO 8.- MARCADO DE HUELLA DE AGUA Y REGISTRO DE MUESTRA



FOTO 9.- MEDICIÓN DE ALTURA MÁXIMA DE PENETRACIÓN DE AGUA

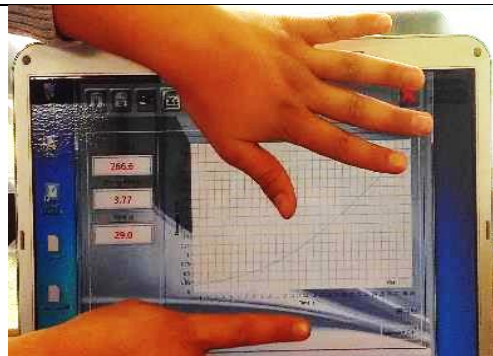


FOTO 10.- RESULTADO DE ENSAYO A TRACCIÓN INDIRECTA EN HORMIGÓN



FOTO 11.- MUESTRA RESISTENCIA 240kg/cm CON ADICIÓN DE ADITIVO IMPERMEABILIZANTE CON EVIDENTE MUESTRA DE REPULSIÓN DE AGUA EN LA SUPERFICIE DE CONTACTO



FOTO 12.- MUESTRAS ENSAYADAS Y REGISTRADAS LUEGO DE ENSAYO DE IMPERMEABILIDAD (AGUA A PRESIÓN)

2.7 RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS SEGÚN ACI 318.

TABLA 51.-RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS PARA DIFERENTES CASOS DE EXPOSICIÓN EN CIMENTACIONES.

Caso	Recubrimiento mínimo [cm]	
	Hormigón Armado H°A°	Hormigón preesforzado H°P°
Hormigón vaciado directamente en el suelo y expuesto permanentemente a el suelo	7,5	7,5
Hormigón expuesto al suelo o a la intemperie:		
Barras Ø20 y mayores	5	-
Barras Ø 16 y menores	4	-
Losas, muros, viguetas	-	2,5
Otros elementos	-	4
Hormigón no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo:		
Losas, muros, viguetas:		
Barras Ø 35 y menores	2	2
Vigas, columnas:		
Refuerzo principal	4	4
anillos, estribos, espirales,	4	2,5
Cáscaras, placas plegadas:		
Barras Ø 20 y mayores	2	-
Barras Ø 16 y menores	1,5	1
Otro tipo de refuerzo	-	d_b^* pero no menor a 2,0

d_b = diámetro nominal de una barra, alambre o cable de refuerzo [cm]

La cubierta de hormigón como protección del refuerzo contra el clima y otros efectos, se mide desde la superficie del hormigón hasta la superficie exterior del acero, a la cual se aplica el recubrimiento. El recubrimiento mínimo para un miembro estructural, debe medirse hasta el borde mas externo del refuerzo, ya sea transversal o longitudinal. En el caso de elementos postensados, hasta el borde de las vainas.

La condición " Hormigón expuesto al suelo o a la intemperie" se refiere a la exposición directa a los cambios de la humedad y de temperatura.

Fuente: A.C.I. 318-05 SECCIÓN 7.7.1 Concreto construido en sitio (no preesforzado). [11].

TABLA 52.-RECUBRIMIENTO MÍNIMO PARA HORMIGÓN PREFABRICADO BAJO CONDICIONES DE CONTROL DE PLANTA.

RECUBRIMIENTO EN HORMIGÓN ARMADO - HORMIGÓN PREFABRICADO (cm)	
a) HORMIGÓN EXPUESTO AL SUELO A LA INTERPERIE	
PANELES DE MUROS:	
Barras No. 44 y No. 57 tendones de presforzado mayores de 40mm de diámetro	4
Barras No. 36 y menores, tendones de presforzado mayores de 40mm de diámetro y menores, alambres MW200 ó MD200(16mm de diámetro) y menores	2
OTROS ELEMENTOS:	
Barras No. 43 y No. 57, tendones de preesforzado mayores de 40mm de diámetro	5
Barras No. 19 al No. 36, tendones de preesforzado mayores de 16mm de diámetro hasta 40mm de diámetro	4
Barras No. 16 y menores, tendones de preesforzado de 16mm de diámetro y menores, alambre MW200 ó MD200	3
b) CONCRETO NO EXPUESTO A LA ACCIÓN DE LA INTERPERIE NI EN CONTACTO CON EL SUELO	
LOSAS, MUROS Y VIGUETAS	
Barras No. 43 y No. 57, tendones de preesforzado mayores de 40mm de diámetro	3
Tendones de preesforzado de 40mm de diámetro y menores	2
Barras No. 36 y menores, alambres MW200 ó MD200 (16mm de diámetro) y menores	15

Fuente: A.C.I. 318-05-7.7.3 [11]

TABLA 53.- REQUISITOS PARA CONDICIONES DE EXPOSICIÓN ESPECIALES DE HORMIGONES.

Condición de exposición	Concreto de peso normal; relación* máxima agua-material cementante en peso	Concreto con agregado normal y ligero, f'_c mínima, MPa*
Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua.	0.50	28
Concreto expuesto a congelamiento y deshielo en condición húmeda ó a productos químicos descongelantes.	0.45	31
Para proteger el refuerzo en el concreto de la corrosión cuando está expuesto a cloruros de sales descongelantes, sal, agua salobre, o salpicaduras del mismo origen.	0.40	35

* Cuando se consideran ambas Tablas 4.3.1 y 4.2.2, se debe utilizar la menor relación máxima agua-material cementante aplicable y el mayor f'_c mínimo.

Fuente: A.C.I. 318-05 CAPÍTULO 4 SECCIÓN 4.2.2 [11]

TABLA 54.- REQUISITOS PARA HORMIGONES EXPUESTOS A PRODUCTOS QUÍMICOS DESCONGELANTES.

Materiales cementantes	Porcentaje Máximo sobre el Total de Materiales Cementantes en Peso*
Cenizas volantes u otras puzolanas que cumplen ASTM C 618	25
Escoria que cumple ASTM C 989	50
Humo de sílice que cumple ASTM C 1240	10
Total de cenizas volantes u otras puzolanas, escoria, y humo de sílice.	50 [†]
Total de cenizas volantes u otras puzolanas y humo de sílice	35 [†]

* El total de materiales cementantes también incluye cementos ASTM C 150, C 595, C 845 y C 1157.

Los porcentajes máximos anteriores incluyen:

- (a) Cenizas volantes u otras puzolanas presentes en cementos adicionados tipo IP o I(PM), según ASTM C 595 o ASTM 1157
- (b) Escoria usada en la fabricación de cementos adicionados tipo IS o I(SM), según ASTM C 595 o ASTM C 1157
- (c) Humo de sílice, según ASTM C 1240, presente en cementos adicionados

[†] Las cenizas volantes u otras puzolanas y el humo sílice no deben constituir más del 25 y 10 por ciento, respectivamente, del peso total de materiales cementantes.

FUENTE: A.C.I. 318-05 CAPÍTULO 4 SECCIÓN 4.2.3 [11]

TABLA 55.- REQUISITOS PARA HORMIGONES EXPUESTOS A SOLUCIONES QUE CONTIENEN SULFATOS.

Exposición a sulfatos	Sulfato acuosoluble (SO ₄) en suelo, porcentaje en peso	Sulfato (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Concreto de peso normal, relación máxima agua-material cementante en peso*	Concreto de peso normal y ligero, f' _c mínimo, MPa*
Insignificante	0.00 ≤ SO ₄ < 0.10	0 ≤ SO ₄ < 150	—	—	—
Moderada [†]	0.10 ≤ SO ₄ < 0.20	150 ≤ SO ₄ < 1 500	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0.50	28
Severa	0.20 ≤ SO ₄ < 2.00	1 500 ≤ SO ₄ < 10 000	V	0.45	31
Muy severa	SO ₄ > 2.00	SO ₄ > 10 000	V más puzolana‡	0.45	31

* Cuando se consideran las ambas Tablas 4.3.1 y 4.2.2, se debe usar la menor relación máxima agua-material cementante aplicable y el mayor f'_c mínimo.

[†] Agua de mar

[‡] Puzolana que se ha determinado por medio de ensayos o por experiencia que mejora la resistencia a sulfatos cuando se usa en concretos que contienen cemento tipo

TABLA 56.- RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS DE HORMIGÓN PARA EL ACERO DE REFUERZO

Tabla 2.5 - Recubrimiento mínimo de concreto para el refuerzo	
Losas y largueros:	
varillas superiores e inferiores para condiciones secas:	
varillas # 14 y # 18	4cm.
varillas # 11 y menores	2cm.
Superficies de concreto expuestas a tierra agua o clima y sobre o en contacto con aguas negras y para la parte inferior que se apoya en plataformas o losas que soportan un relleno de tierra.	
varillas # 5 y más pequeñas	4 cm.
varillas # 6 hasta # 18	5 cm.
Vigas y columnas	
para condiciones secas:	
estribos, espirales y anillos	
refuerzo principal	5 cm.
expuestas a tierra, agua, aguas negras y clima	
estribos y anillos	5 cm.
refuerzo principal	6.5 cm.
Muros:	
para condiciones secas:	
varillas # 11 y más pequeñas	2 cm.
varillas del # 14 hasta # 18	4 cm.
superficies de concreto expuestas a tierra, agua, aguas negras, clima o en contacto con el suelo:	
tanques circulares con tensión anular	5 cm.
todas las demás	5 cm.
Zapatas y losas de base:	
en la superficie y en el fondo de los apoyos de losas de concreto	5 cm.
en superficies sin moldear y bases en contacto con la tierra	7 cm.
parte superior de zapatas igual que en las losas sobre la parte superior de los pilotes	5 cm.

Fuente: A.C.I. 350 [11]

2.8 DATOS PARA EL DISEÑO DE HORMIGONES RELACIONES W/C Y PORCENTAJE ÓPTIMO DE VACÍOS

Tabla 57.-Relaciones agua cemento w/c para diferentes resistencias, Método de la densidad Óptima (Universidad Central del Ecuador).

RELACIÓN AGUA CEMENTO w/c MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS EN Mpa	RELACIÓN AGUA CEMENTO w/c
45	0,37
42	0,40
40	0,42
35	0,46
32	0,50
30	0,51
28	0,52
25	0,55
24	0,56
21	0,58
18	0,60

Fuente: Ing. Mg. Santiago Medina (Folleto Hormigón).

Tabla 58.-Tabla de asentamientos para determinar el Porcentaje Óptimo de Vacíos en la mezcla, Método de la densidad Óptima (Universidad Central del Ecuador).

ASENTAMIENTO EN cm	CANTIDAD DE PASTA EN %
0 - 3	POV + 2% + 3% (POV)
3 - 6	POV + 2% + 6% (POV)
6 - 9	POV + 2% + 8% (POV)
9 - 12	POV + 2% + 11% (POV)
12 - 15	POV + 2% + 13% (POV)
POV = PORCENTAJE ÓPTIMO DE VACÍOS	

Fuente: Ing. Mg. Santiago Medina (Folleto Hormigón).

2.9 TABLAS ESPECIFICACIONES NORMA EHE-08

Tabla 59.- Tabla 8.2.2 Clases generales de exposición relativas a la corrosión de las armaduras

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN	SUBCLASE	DESIGNACIÓN	TIPO DE PROCESO		
NO AGRESIVA		I	NINGUNO	Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones. Elementos de hormigón en masa	Interiores de edificios, protegidos de la interperie
NORMAL	HUMEDAD ALTA	Ila	CORROSIÓN DE ORIGEN DIFERENTE DE LOS CLORUROS	Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (>65%) oa condensaciones Exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600mm. Elementos enterrados o sumergidos	Sótanos no ventilados Cimentaciones Tableros y pilas de puentes en zonas con precipitación media anual superior a 600mm elementos de hormigón en cubiertas de edificios
	HUMEDAD MEDIA	Ilb	CORROSIÓN DE ORIGEN DIFERENTE DE LOS CLORUROS	Exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600mm	Construcciones exteriores protegidas de la lluvia Tableros y pilas de puentes, en zonas de precipitación media anual inferior a 600mm
MARINA	AÉREA	IIla	CORROSIÓN POR CLORUROS	Elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5Km)	Edificaciones en las proximidades de la costa Puentes en la proximidad de la costa Zonas aéreas de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral Instalaciones portuarias
	SUMERGIDA	IIlb	CORROSIÓN POR CLORUROS	Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar	Zonas sumergidas de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral Cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en el mar
	EN ZONA DE MAREAS	IIlc	CORROSIÓN DE CLORUROS	Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas	Zonas situadas en el recorrido de marea de diques, pantanales y otras obras de defensa litoral Zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de la marea
CON CLORUROS DE ORIGEN DIFERENTES DEL MEDIO MARINO		IV	CORROSIÓN POR CLORUROS	Instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino Superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas	Piscinas e interiores de los edificios que los albergan Pilas de pasos superiores o pasarelas en zonas de nieve Estaciones de tratamiento de agua

Fuente: Norma Española de Hormigón Estructural EHE. [2]

Tabla 60.- Tabla sección 37.3.3 Impermeabilidad del Hormigón

“Una comprobación experimental de la consecución de una estructura porosa del hormigón suficientemente impermeable para el ambiente en el que va a estar ubicado, puede realizarse comprobando la impermeabilidad al agua del hormigón, mediante el método de determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión, según la UNE EN 12390-8.

Esta comprobación se deberá realizar cuando, de acuerdo con 8.2.2 (Tabla 2.9 Anexos), las clases generales de exposición sean III ó IV, o cuando el ambiente presente cualquier clase específica de exposición” [2].

Un hormigón se considera suficientemente impermeable al agua si los resultados del ensayo de penetración de agua cumplen simultáneamente que:

CLASE DE EXPOSICIÓN AMBIENTAL	ESPECIFICACIÓN PARA LA PROFUNDIDAD MÁXIMA	ESPECIFICACIÓN PARA LA PROFUNDIDAD MEDIA
IIIa, IIIb, IV, Qa, E, H, F, Qb(SOLO EN EL CASO DE ELEMENTOS PRETENSADOS)	50mm	30mm
IIIC, Qc, Qb(solo en caso de elementos pretensados)	30mm	20mm

Fuente: Sección 37.3.3 Impermeabilidad del Hormigón. Título 4º DURABILIDAD, CAPÍTULO VII, Artículo 37º Durabilidad del hormigón y de las armaduras. Norma EHE 08. [2].

Tabla 61.- Tabla 37.2.4.1.b Recubrimiento mínimo (mm) para las clases generales de exposición III y IV.

Hormigón	Cemento	Vida útil de proyecto (t_g) (años)	Clase general de exposición			
			IIIa	IIIb	IIIc	IV
Armado	CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM III/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsílíce superior al 6% o de	50	25	30	35	35
		100	30	35	40	40
	Resto de cementos utilizables	50	45	40	*	*
		100	65	*	*	*
Pretensado	CEM II/A-D o bien con adición de humo de sílice superior al 6%	50	30	35	40	40
		100	35	40	45	45
	Resto de cementos utilizables, según el Artículo 26º	50	65	45	*	*
		100	*	*	*	*

Fuente: Sección 37.2.4.1 Recubrimientos Mínimos. Título 4º DURABILIDAD, CAPÍTULO VII, Artículo 37º Durabilidad del hormigón y de las armaduras. Norma EHE 08 [2].

Tabla 62.- Denominación de cementos UNE-EN

TIPOS DE CEMENTO	DENOMINACIONES	DESIGNACIONES
I	Cemento Portland	CEM I
II	Cemento Portland con adiciones	CEM II
III	Cemento Portland con escorias de horno alto	CEM III
IV	Cemento Puzolánico	CEM IV
V	Cemento compuesto	CEM V

Fuente: Norma Europea – EN

Tabla 63.- Recubrimientos mínimos para las clases específicas de exposición.

En caso de mecanismos de deterioro distintos de la corrosión de las armaduras, se emplearán los valores de la tabla 37.2.4.1.c.

Tabla 37.2.4.1.c Recubrimientos mínimos para las clases específicas de exposición

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm ²]	Vida útil de proyecto (t _p), (años)	
			50	100
H	CEM III	25 ≤ f _{ck} < 40	25	50
		f _{ck} ≥ 40	15	25
	Otros tipos de cemento	25 ≤ f _{ck} < 40	20	35
		f _{ck} ≥ 40	10	20
F	CEM I I/A-D	25 ≤ f _{ck} < 40	25	50
		f _{ck} ≥ 40	15	35
	CEM III	25 ≤ f _{ck} < 40	40	75
		f _{ck} ≥ 40	20	40
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	25 ≤ f _{ck} < 40	20	40
		f _{ck} ≥ 40	10	20
E ⁽¹⁾	Cualquiera	25 ≤ f _{ck} < 40	40	80
		f _{ck} ≥ 40	20	35
Qa	CEM III, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsílíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	-	40	55
	Resto de cementos utilizables	-	*	*
Qb, Qc	Cualquiera	-	(2)	(2)

(1) Estas situaciones obligarían a unos recubrimientos excesivos

(1) Estos valores corresponden a condiciones moderadamente duras de abrasión. En el caso de que se prevea una fuerte abrasión, será necesario realizar un estudio detallado.

(2) El Autor del proyecto deberá fijar estos valores de recubrimiento mínimo y, en su caso, medidas adicionales, al objeto de que se garantice adecuadamente la protección del hormigón y de las armaduras frente a la agresión química concreta de que se trate.

Fuente: Sección 37.2.4.1 Recubrimientos Mínimos. Título 4º DURABILIDAD, CAPÍTULO VII, Artículo 37º Durabilidad del hormigón y de las armaduras. Norma EHE 08 [2].

Son cementos unitarios (CEM I), binarios (CEM II y CEM III), ternarios, cuaternarios, quinarios e incluso senarios, en función del número de componentes de que pueden constar. Los componentes adicionales, que acompañan al CLINKER, son los 9 siguientes:

Tabla 64.- Designaciones de compuestos o adiciones en cementos según norma Europea UNE-EN.

ADICIONES	
DENOMINACIONES	DESIGNACIONES
Escoria de alto horno	S
Humo de sílice	D
Puzolana natural	P
Puzolana natural calcinada	Q
Ceniza volante silíceo	V
Ceniza volante calcárea	W
Esquisto calcinado	T
Caliza L	L
Caliza LL	LL

Fuente: Norma Europea – EN

Tabla 65.- Denominación cementos resistentes a sulfatos y al agua de mar.

Tipos	Denominaciones		Subtipos (designaciones)	Especificaciones del clinker de los cementos SR	
				C ₃ A %	C ₃ A + C ₄ AF %
I	Cementos Portland resistentes a los sulfatos		I	≤ 5	≤ 22
II	Cementos Portland con adiciones resistentes a sulfatos	Con escoria de horno alto (S)	II/A-S	≤ 6	≤ 22
			II/B-S		
		Con humo de sílice (D)	II/A-D		
			II/B-D		
		Con puzolana natural (P)	II/A-P		
			II/B-P		
Con ceniza volante (V)	II/A-V				
	II/B-V				
III	Cementos con adiciones, resistentes a los sulfatos	Con escoria de horno alto (S)	III/A	≤ 8	≤ 25
			III/B	Ninguna ¹⁾	
			III/C		
IV	Cementos puzolánicos (D+P+V)	IV/A	≤ 6	≤ 22	
IV/B					
V	Cementos compuestos (S+P+V)	V/A	≤ 8	≤ 25	

NOTA - Los tipos y subtipos de los cementos se refieren a los homólogos definidos en la Norma UNE-EN 197-1.

¹⁾ Los cementos CEM III/B y CEM III/C siempre son resistentes a los sulfatos.

Fuente: Norma Europea – EN

2.10 NORMA ESPAÑOLA UNE-EN 12390-8

Gráfico 15.- Norma UNE-EN 12390-8

norma española		UNE-EN 12390-8
		Junio 2001
TÍTULO	Ensayos de hormigón endurecido Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión <i>Testing hardened concrete. Part 8: Depth of penetration of water under pressure.</i> <i>Essai pour béton durci. Partie 8: Profondeur de pénétration d'eau sous pression.</i>	
CORRESPONDENCIA	Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 12390-8 de octubre 2000.	
OBSERVACIONES	Esta norma anulará y sustituirá a la Norma UNE 83309 EX de junio 1990 antes de 2004-01-01.	
ANTECEDENTES	Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 83 <i>Hormigón</i> cuya Secretaría desempeña ANEFHOP.	
Editada e impresa por AENOR Depósito legal: M 26597:2001	LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A: AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación. C Génova, 6 28004 MADRID-España	Teléfono 91 432 60 00 Fax 91 310 40 32
© AENOR 2001 Reproducción prohibida		8 Páginas Grupo 8

ICS 91.100.30

Versión en español

Ensayos de hormigón endurecido
Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión

Testing hardened concrete.
Part 8: Depth of penetration of water
under pressure.

Essai pour béton durci.
Partie 8: Profondeur de pénétration
d'eau sous pression.

Prüfung von Festbeton.
Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck.

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2000-02-18. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquellas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

© 2000 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES	5
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	6
2 FUNDAMENTO	6
3 APARATOS	6
4 PROBETAS DE ENSAYO.....	6
5 PROCEDIMIENTO	6
6 RESULTADO DEL ENSAYO.....	7
7 INFORME DEL ENSAYO	7
8 PRECISIÓN	7
Figura 1 – Ejemplo de dispositivo de ensayo	8

ANTECEDENTES

Esta norma europea ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 104 "Hormigón: prestaciones, producción, puesta en obra y criterios de conformidad", cuya Secretaría desempeña DIN.

Esta norma europea deberá recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de abril de 2001, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deberán anularse antes de finales de diciembre de 2003.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los organismos de normalización de los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

Esta norma pertenece a una serie de normas de métodos de ensayo del hormigón.

Está basada en el borrador de Norma Internacional ISO (DIS) 7031 – Ensayos de hormigón endurecido. Determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión.

El uso de esta norma ha sido restringido a los ensayos sobre probetas curadas en agua.

Se han omitido las especificaciones contenidas en el original del proyecto de norma ISO relativas a la determinación de la profundidad media de penetración.

Un borrador de esta norma fue publicado en 1996 para encuesta CEN como prEN 12364. Pertenecía a una serie de normas destinadas al ensayo del hormigón fresco u hormigón endurecido que se numeraron individualmente. Ahora por conveniencia se ha decidido combinar estos proyectos de normas individuales en tres nuevas normas con partes independientes para cada método de ensayo, como se indica a continuación:

- Ensayos de hormigón fresco (EN 12350);
- Ensayos de hormigón endurecido (EN 12390);
- Ensayos del hormigón en estructuras (EN 12504).

Esta serie prEN 12390 incluye las partes siguientes, dándose entre paréntesis los números bajo los que estos métodos de ensayo se publicaron para encuesta CEN:

EN 12390 – Ensayos de hormigón endurecido.

Parte 1: Forma, dimensiones y otros requisitos para probetas y moldes (anteriormente prEN 12356:1996).

Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia (anteriormente prEN 12379:1996).

Parte 3: Resistencia a compresión de probetas de ensayo (anteriormente prEN 12394:1996).

Parte 4: Resistencia a compresión. Características de las máquinas de ensayo (anteriormente prEN 12390:1996).

Parte 5: Resistencia a flexión de probetas de ensayo (anteriormente prEN 12359:1996).

Parte 6: Rotura por tracción indirecta de probetas de ensayo (anteriormente prEN 12362:1996).

Parte 7: Densidad del hormigón endurecido (anteriormente prEN 12363:1996).

Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión (anteriormente prEN 12364:1996).

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma especifica un método para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en hormigones endurecidos que han sido curados en agua.

2 FUNDAMENTO

El agua es aplicada bajo presión a la superficie del hormigón endurecido. A continuación se divide la probeta por rotura en dos mitades y se mide la profundidad de penetración del frente de agua.

3 APARATOS

3.1 Equipo de ensayo

El equipo consistirá en cualquier equipo en el que la probeta de ensayo, de dimensiones dadas, se pueda situar de tal manera que la presión del agua pueda actuar sobre la zona de ensayo y se visualice la presión aplicada de forma continua. Un ejemplo de un dispositivo de ensayo se muestra en la figura 1.

NOTA 1 – Es preferible que el aparato permita observar las otras caras de la probeta de ensayo.

NOTA 2 – La presión de agua se puede aplicar a la superficie de la probeta de ensayo ya sea por el fondo o por la parte superior.

Se debe realizar un sellado suficiente con caucho u otro material similar.

Las dimensiones de la zona de ensayo serán aproximadamente la mitad de la longitud del lado o del diámetro de la superficie de la cara de la probeta.

4 PROBETAS DE ENSAYO

Las probetas serán cúbicas, cilíndricas o prismáticas de longitud de lado, o diámetro, no menor de 150 mm.

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Preparación de la probeta de ensayo

Inmediatamente después de desmoldar la probeta, se desbasta la superficie de la cara de la probeta que va a estar expuesta a la presión del agua, con un cepillo de púas metálicas

5.2 Aplicación del agua a presión

El ensayo debe comenzar cuando la probeta tengan al menos una edad de 28 días. No aplicar el agua a presión a la cara de acabado de la probeta. La probeta se coloca en el aparato de ensayo y se aplica al agua una presión de (500 ± 50) kPa durante (72 ± 2) h. Durante el ensayo, se observaran periódicamente el estado de las superficies de la probeta de ensayo no expuestas al agua a presión para observar la posible presencia de agua. Si se observaran filtraciones, se reconsiderara la validez del resultado y el hecho será anotado en el informe.

NOTA – El uso de agua de red se considera satisfactorio.

5.3 Examen de probeta

Después de aplicar la presión durante el tiempo especificado, se retira la probeta del dispositivo de ensayo. Se limpia la cara a la que se aplicó la presión de agua para retirar el exceso de agua. Se rompe la probeta en dos mitades, perpendicularmente a la cara en la que se aplica la presión de agua. Cuando se rompa la probeta, y durante el examen, la cara de la probeta expuesta a la presión de agua se situará en el fondo. Tan pronto como la cara partida se ha secado de forma tal que se puede ver claramente la extensión del frente de penetración de agua, se marca en la probeta dicho frente de penetración. Se mide la profundidad máxima de penetración bajo la superficie de ensayo y se redondea al mm más próximo.

6 RESULTADO DEL ENSAYO

El resultado del ensayo es la profundidad máxima de penetración, redondeada al mm más próximo.

7 INFORME DEL ENSAYO

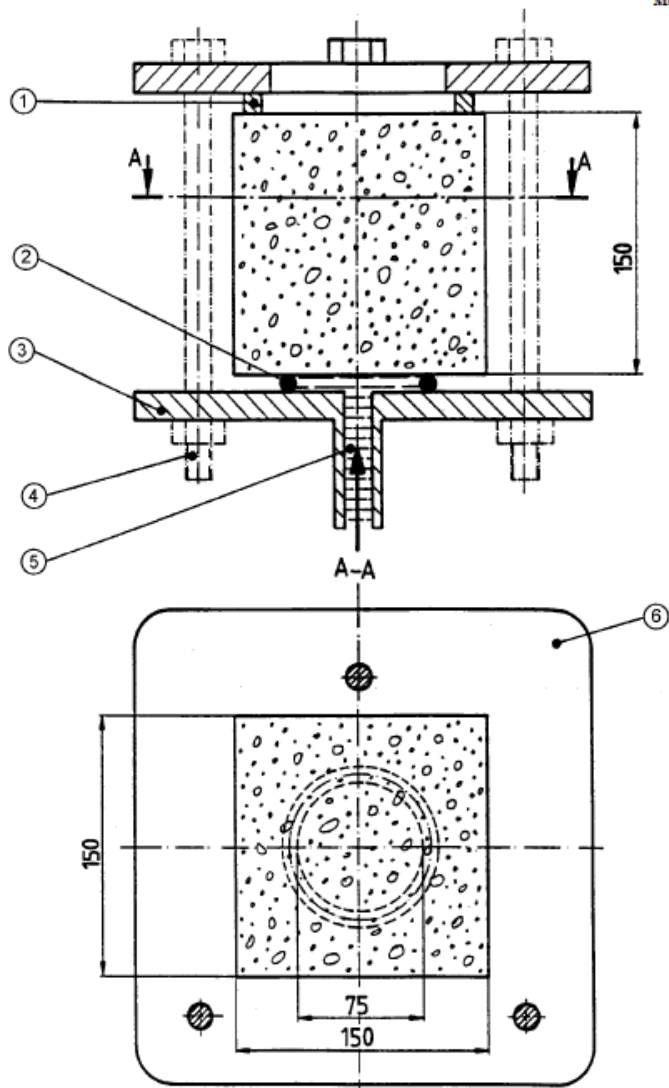
El informe debe incluir

- a) identificación de la probeta de ensayo;
- b) fecha y hora de realización del ensayo;
- c) descripción de la probeta;
- d) dirección de aplicación del agua a presión con relación a la dirección de hormigonado;
- e) profundidad de penetración máxima, en milímetros;
- f) cualquier filtración y consideración sobre la validez de los resultados, (si procede);
- g) cualquier desviación respecto al método de ensayo normalizado;
- h) una declaración de la persona técnicamente responsable de la realización del ensayo de que este fue realizado de acuerdo con esta norma, excepto lo anotado en el punto g).

8 PRECISIÓN

No existen datos disponibles sobre la precisión.

Medidas en milímetros



- Leyenda
- 1 Soporte
 - 2 Anillo de estanquidad
 - 3 Placa atornillada
 - 4 Soporte atornillado
 - 5 Agua a presión
 - 6 Placa atornillada

Fig. 1 - Ejemplo de dispositivo de ensayo

Fuente: Norma Europea – EN 12390-

2.11 FORMATO ENSAYO DE PERMEABILIDAD

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE ENSAYO DE MATERIALES						
ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN MUESTRAS DE HORMIGÓN ENDURECIDO								
NORMA:		CEN - AENOR - UNE-EN 12390-8 (NORMA EUROPEA - ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN)						
REVISADO POR:		-						
RESISTENCIA:		f'c =	-	kg/cm ²	ADICIÓN ADITIVOS:	kg/kg CEMENTO	-	
ENSAYADO POR:		-			FECHA FUNDICIÓN:	-		
CURADO:		-	días	FECHA FIN CURADO:	-			
FECHA REPORTE:			-			HORA REPORTE:		-
IDENTIFICACIÓN PROBETAS	FECHA ENSAYO	HORA ENSAYO	DESCRIPCIÓN PROBETA	DIRECCIÓN APLICACIÓN PRESIÓN AGUA EN RELACIÓN CON EL	PROFUNDIDAD MÁXIMA PENETRACIÓN (mm)	PROFUNDIDAD MEDIA DE PENETRACIÓN (mm)		
..... REALIZADO POR:			 REVISADO POR:				

Fuente: Santiago I. Rodríguez V.

