UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO:

ANÁLISIS COMPARATIVO DE IMPERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN MEDIANTE ESTUDIO EXPERIMENTAL DE ADITIVOS POR CRISTALIZACIÓN.

TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO PARA EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:

PEDRO ALEJANDRO CARGUA SÁNCHEZ

NOMBRE DEL TUTOR:

ING. BLAS CRUZ CARPIO, M.I

SAMBORONDÓN, SEPTIEMBRE 2017

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del estudiante Pedro Alejandro Cargua Sánchez estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil, carrera dictada en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UEES, certifico: Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE IMPERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN MEDIANTE ESTUDIO EXPERIMENTAL DE ADITIVOS POR CRISTALIZACIÓN**, presentado por el estudiante con cedula de ciudadanía N º. 1310446073, como requisito previo para optar el Grado Académico de Ingeniería Civil, y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Defensa Final.

_____

Tutor: Ing. Blas Cruz Carpio, M.I.

Samborondón, Septiembre 2017.

DEDICATORIA

El presente trabajo quiero dedicarlo de manera especial a mis padres, quienes han sido los pilares fundamentales para forjar la persona que soy ahora inculcándome valores y principios que me sirvieron para ser perseverante con mis metas académicas y personales. A mis profesores, compañeros de carrera y personal administrativo de la facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la Universidad de Especialidades Espíritu Santo, por todo el apoyo y comprensión brindado durante todo el proceso de formación académica.

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos al Ing. Blas Cruz y a la Dra. Olga Roa, por todo el apoyo brindado en proceso del desarrollo de la tesis de grado. Un agradecimiento al Ing. Jorge Flores (Director del Centro Tecnológico del Hormigón – CTH) de la compañía HOLCIM Ecuador, por la apertura del laboratorio del CTH y todos los materiales y equipos que me facilitó para el proceso experimental del presente trabajo.

Además, un agradecimiento a la compañía SIKA por los materiales brindados para la elaboración de varias pruebas en el desarrollo de este trabajo.

Finalmente quiero agradecer a todos los profesores que aportaron con sus conocimientos para la obtención del Título de Grado de Ingeniero Civil.

ÍNDICE

1 Capítulo I. Bases del proceso de investigación 1
1.1 Tema seleccionado 1
1.2 Delimitación del tema 1
1.3 Planteamiento del problema 3
1.4 Formulación del problema 4
1.4.1 Hipótesis: 4
1.5 Título 5
1.6 Justificación y pertinencia 5
1.7 Objetivos. 5
1.7.1 Objetivo General. 5
1.7.2 Objetivos Específicos. 5
2 Capítulo II. Fundamentos teóricos de la investigación 7
2.1 Densidad. 7
2.2 Porosidad (p). 7
2.3 Porosidad en el hormigón. 9
2.4 Agregados porosos. 9
2.5 Porosidad de la pasta de cemento. 9
2.6 Porosidad del hormigón. 10
2.7 Permeabilidad Pm. 10
2.8 Permeabilidad del hormigón. 11
2.9 Impermeabilidad. 12
2.10 Impermeabilidad del hormigón. 13
2.11 Aditivos impermeabilizantes. 13
2.12 Tipos de cemento. 13
2.12.1 Holcim Fuerte Tipo GU: 14
2.12.2 Holcim Ultra Durable GU HS: 14
2.12.3 Holcim Premium Tipo HE: 14
2.13 Requisitos para mezclas de hormigón. 14
2.14 Requisitos para mezclas de hormigón 17

2.15 Ensayos de permeabilidad del hormigón. 18
2.16 Prueba de permeabilidad Torrent. 18
2.17 Prueba Torrent. 19
2.17.1 Proceso Experimental. 22
3 Capítulo III. Bases metodológicas de la investigación 25
3.1 Tipo y diseño de la investigación. 25
3.2 Descripción de variables 25
3.2.1 Identificación de las variables. 25
3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos. 26
4 Capítulo IV. Diseño del proceso experimental 27
4.1 Diseño de hormigón para probetas. 27
4.2 Diseño de probetas con aditivos. 28
4.3 Aplicación de aditivos impermeabilizantes. 33
5 Capítulo V. Análisis e Interpretación de resultados. 39
5.1 Análisis de permeabilidad de las probetas. 39
5.2 Análisis de resistencia de las probetas. 45
5.2.1 Resistencia a la flexión. 46
5.2.2 Prueba de resistencia por esclerómetro. 49
5.3 Análisis de costos por método de aplicación de impermeabilizante. 52
6 Conclusiones y Recomendaciones 55
6.1 Conclusiones. 55
6.2 Recomendaciones. 56
7 Citas bibliográficas. 59
8 Anexos 61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre la permeabilidad al agua, relación agua / cemento y curado inicial de la probeta del concreto (Eddy.h, 2014). 12
Figura 2. Instrumento Torrent 20
Figura 3. Diagrama de medida del equipo 20
Figura 4. Cámaras de vacío del instrumento Torrent 20
Figura 5. Nomograma para la determinación de la categoría cualitativa del hormigón en relación con la humedad actual. 21
Figura 6. Molde para dos probetas de 15x15x27 cm. 29
Figura 7. Pesando los 3kg de cemento GU,HE y HS. 29
Figura 8. Pesando los 6.37 kg de agregado grueso. 30
Figura 9. Pesando los 4.1 kg de agregado fino. 30
Figura 10. Probeta con mezcla de hormigón con membrana interna. 31
Figura 11. Probetas con mezcla de hormigón GU y HE con membrana interna. . 31
Figura 12. Probetas con mezcla de hormigón GU y HE con membrana interna y externa. 32
Figura 13. Desencofrado de todas las probetas de hormigón. 32
Figura 14. Medición de aditivo de membrana interna. 33
Figura 15. Mezcla de agregados con aditivo de membrana interna. 34
Figura 16. Medición de aditivo de membrana externa. 34
Figura 17. Mezcla de aditivo de membrana externa con agua. 35
Figura 18. Aplicación de membrana externa con brocha. 36
Figura 19. Aplicación de segunda capa de membrana externa con brocha. 36
Figura 20. Aplicación de membrana externa con brocha. 37
Figura 21. Probetas con membrana interna en una piscina por 28 días. 38
Figura 22. Probetas de membrana interna y externa en una piscina por 28 días. . 38
Figura 23. Prueba de permeabilidad Torrent. 39
Figura 24. Enceramiento con placa metálica. 40
Figura 25. Calibración de la prueba Torrent. 40
Figura 26. Gráfico del promedio del factor kt de la cara frontal. 43

Figura 27.Gráfico del promedio del factor kt de la cara lateral. 43
Figura 28. Longitud de penetración en la cara frontal. 44
Figura 29. Gráfico del promedio del factor kt de la cara lateral. 45
Figura 30. Gráfico de valores de resistencia a flexión. 46
Figura 31. Grafico del porcentaje de incremento de resistencia por tipo de cemento 47
Figura 32 . Prueba de resistencia a la flexión a probeta de membrana externa. ... 48
Figura 33. Prueba de resistencia a la flexión a probeta de membrana interna 48
Figura 34. Esclerómetro. 49
Figura 35. Datos de la resistencia de una de las probetas. 49
Figura 36. Gráfico de valores de resistencia a la compresión. 50
Figura 37. Grafico del porcentaje de incremento de resistencia por tipo de cemento. 50
Figura 38. Correlación de la resistencia por compresión y esclerómetro. 52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativo de aditivos impermeabilizantes por cristalización de las fichas técnicas de cada producto. 2
Tabla 2. Tabla para la sistematización del problema. 3
Tabla 3. Categorías y clases de exposición. 15
Tabla 4. Requisitos para el hormigón según la clase de exposición. 17
Tabla 5. Clasificación de la permeabilidad del hormigón en función de kT. 19
Tabla 6. Análisis de agregado grueso. 27
Tabla 7. Análisis de agregado fino. 27
Tabla 8. Relación agua – cemento 27
Tabla 9. Relación de cantidades para la mezcla de hormigón. 28
Tabla 10. Valores de permeabilidad y longitud de penetración de los aditivos. 41
Tabla 11. Promedio de factores kt de la cara frontal y lateral. 42
Tabla 12. Promedio de longitud de penetración del aditivo. 44
Tabla 13. Valores de la resistencia a flexión. 47
Tabla 14. Valores de resistencia a compresión por esclerómetro. 51
Tabla 15. Costo de membranas por cristalización. 52
Tabla 16. Cantidad de aditivo por peso. 53
Tabla 17. Costo para $1m^2$ y 1cm de espesor. 53
Tabla 18. Costo para $1m^3$. 54

Resumen

Este trabajo tiene como finalidad hacer un análisis de los aditivos impermeabilizantes por cristalización de membrana interna y membrana externa en miembros estructurales y enlucidos con el propósito de poder medir que tipo de aditivo permeabiliza de mejor manera el hormigón, es decir, cuál de estos dos aditivos de impermeabilización por cristalización tiene la capacidad de sellar de mejor manera la porosidad que tiene el hormigón y que tan profundo puede llegar el aditivo por su método de aplicación.

Se elaboraron 12 prototipo de probetas en forma de viguetas para simular un miembro estructural, las cuales fueron diseñadas con un hormigón de f'c= 290 kg/cm^2 según la norma ACI 318S-05. Se utilizó 3 tipos de cemento, Gu de uso general, HS de alta resistencia a los sulfatos y HE de alta resistencia inicial con el propósito de saber cómo reaccionan los aditivos frentes a los varias características que esta clase de cemento tienen.

Se realizó la pruebas de permeabilidad con la ayuda del dispositivo Torrent la cual nos brinda resultados como el factor K_t de permeabilidad y la longitud de penetración del aditivo. Además, se realizó las pruebas de resistencia a la tensión y resistencia a la compresión por esclerómetro con una correlación de resultados entre ambas pruebas ya que las pobretas como no tienen forma cilíndrica no se podía realizar la prueba destructiva a la compresión de la probeta.

Finalmente, se realizó una comparación del costo que tendría el uso de una membrana interna con una membrana externa de impermeabilización por cristalización en la cual los resultados fueron los esperados.

Capítulo I

Bases del proceso de investigación

1.1 Tema seleccionado

Análisis de tecnologías de impermeabilidad del hormigón.

En el Ecuador existen varias marcas de aditivos impermeabilizantes por cristalización que comúnmente se usan para impedir la propagación de posibles focos de humedad. Las empresas más reconocidas en la comercialización de los aditivos son Sika S.A, Aditec S.A e Intaco S.A. Actualmente se conocen dos técnicas para la aplicación de impermeabilizantes en elementos estructurales tales como: como paredes, columnas, vigas, entre otros. La primera de dichas técnicas consiste en que una vez construido el miembro estructural se aplica el impermeabilizante mediante capas sobre la superficie con una brocha, y la segunda técnica consiste en mezclar el impermeabilizante durante la preparación del hormigón con que se construirán los miembros estructurales. Las empresas ecuatorianas utilizan la primera técnica para aplicar el aditivo; la segunda técnica es utilizada por una empresa canadiense denominada Kryton S.A.

Con el interés de comparar las técnicas de impermeabilización mencionadas desde diferentes factores (técnico, económico, social, ambiental, entre otros) se plantea el análisis de nuevas tecnologías de impermeabilidad del hormigón, mediante la incorporación de aditivos para el sellado de micro grietas por cristalización

1.2 Delimitación del tema

Para el análisis de nuevas tecnologías de impermeabilidad del hormigón, es indispensable investigar sobre el desempeño de hormigones con aditivos de impermeabilización. Por lo tanto, es necesario considerar varios parámetros, por ejemplo la durabilidad, el comportamiento en permeabilidad por ataques internos o externos, el potencial de auto sellado de fisuras ante el flujo filtrante debido a cargas variables de presión hidráulica o por diferentes características de salinidad del medio, entre otros.

La selección de los aditivos a estudiar se fundamenta en los siguientes criterios:

- Disponibilidad en el mercado ecuatoriano para adquirir los aditivos.
- El factor de penetración (Impermeabilidad) teórico de cada aditivo.
- El modo de aplicación según su especificación técnica.

En la actualidad (2017) existe una nueva tecnología canadiense propone un aditivo que mejora tanto los factores de penetración como el modo de aplicación, sin embargo se desconoce sobre su durabilidad. En la tabla 1 se presentan datos relacionados con el rendimiento, factor de penetración, relación costo/peso y modo de aplicación de los aditivos selladores al paso de humedad por cristalización en el hormigón. Dichos aditivos corresponden a las marcas SikaSeal 250 Migrating, Penetron y Concentrado – Xypex (existentes en el ecuador), de igual forma se analizará el nuevo aditivo Kryston Inner membrane (KIM - utilizado en Canadá) con el interés de establecer comparaciones en el rendimiento por kg/m^2, en el factor de penetración del aditivo (impermeabilidad), la relación costo ($)/peso(Kg) y el modo de aplicación según la especificación técnica.

Tabla 1. Comparativo de aditivos impermeabilizantes por cristalización de las fichas técnicas de cada producto.

Marcas de impermeabilizante	Rendimiento (kg/m^2)	Factor de penetración (mm)	Relación: costo ($)/peso (Kg)	Modo de aplicación
SikaSeal 250 Migrating (SIKA)	1,00	4	91/25	Aplicación exterior
Penetron(Aditec)	1,50	4	120/22.7	Aplicación exterior
Concentrado – Xypex (Intaco)	0.65 - 0.8	4	N/A	Aplicación exterior
KIM –Kryton (Canadá)	0.48	5	N/A	Aditivo incluido en la mezcla del hormigón

Para el estudio se realizara un análisis experimental donde se usaran testigos a escala de 15x15x27 con tres tipos de cemento Holcim: el primero uso general (GU- General USE), el segundo de alta resistencia inicial (HE) y finalmente uno de alta resistencia a los sulfatos (HS - High resistance to sulphates). Los testigos

serán sumergidos en un ambiente que simula las condiciones de humedad que enfrentan los elementos estructurales. Producto de este trabajo se propone diseñar un banco de pruebas para el estudio de la diferencia de impermeabilidad de las membranas internas y externas por cristalización.

1.3 Planteamiento del problema

Para definir el planteamiento y formulación del problema se procederá a construir una tabla que permite sistematizar el procedimiento, allí se describen síntomas, causas y consecuencias debidas a la permeabilidad del hormigón y se propone una posible solución para resolver este problema.

Tabla 2. Tabla para la sistematización del problema.

<table>
<tr><th>Síntomas</th><th>Causas</th><th>Consecuencias</th><th>Pronóstico</th><th>Control</th></tr>
<tr><td>La presencia de humedad en los miembros estructurales</td><td rowspan="4">Baja Impermeabilidad del hormigón</td><td>Corrosión del hierro de refuerzo</td><td rowspan="4">Se va a realizar un estudio de impermeabilidad en elementos estructurales, se propone realizar un banco de pruebas con modelos de pared a escala elaboradas con varios tipos de cemento, aditivos y sometidas a varios medios de humedad. En este análisis se comprobaran los niveles de impermeabilidad del hormigón con los aditivos</td><td rowspan="4">Se desea controlar los síntomas de humedad y decoloración por la presencia de mohos que produce la baja impermeabilidad del hormigón mediante un trabajo experimental que conducirá al diseño de un banco de pruebas. Con este método se va a elaborar una matriz con 3 tipos de cemento con 2 tipos de aditivos impermeabilizantes convencionales y uno con la nueva tecnología Krystol.</td></tr>
<tr><td>Decoloración en los acabados de los miembros estructurales por la presencia de mohos.</td><td>Problema estético y de apariencia</td></tr>
<tr><td>Degradación del ambiente.</td><td>Problemas ambientales</td></tr>
<tr><td>Problemas de salud publica</td><td>Enfermedades respiratorias</td></tr>
</table>

Tabla 2. Continuación

Síntomas	Causas	Consecuencias	Pronóstico	Control
Complejidad de aplicación de los aditivos convencionales.	Las membranas impermeabilizantes externas	Elevados costos de aplicación	convencionales evaluando la presencia de humedad, la decoloración de los acabados, la presencia de mohos, entre otros. Se analizara el procedimiento de aplicación de los aditivos convencionales y su incidencia en la relación de costos.	Se usara líquidos de contraste para evaluar el comportamiento de los aditivos convencionales y el aditivo de membrana interna (Krystol) y de esta manera comprobar la presencia de humedad, la complejidad de aplicación, la relación costo-calidad y la decoloración de los acabados por la baja impermeabilidad del hormigón.
	Aditivo aplicado mediante brochas o rodillos.			
Relación costo - calidad de aditivos convencionales.	Se aplica el aditivo y no funciona	Competencia en el mercado		
	Capacidad de recubrimiento			

1.4 Formulación del problema

Mediante un ensayo experimental, ¿Se podrá determinar cuál de los dos métodos de aplicación de los aditivos de impermeabilización es más efectivo en el sellado de los poros del hormigón?

Luego de establecer el diseño de las probetas de hormigón, ¿Cómo afecta la técnica de aplicación en el factor de permeabilidad, calidad de acabado y costos?

1.4.1 Hipótesis:

Se determinará mediante ensayos de laboratorio ajustados a las teorías y las técnicas de impermeabilización existentes, se espera realizar la comparación de la efectividad, el rendimiento y la estimación de costos de aditivos impermeabilizantes versus el uso de recubrimiento de membranas.

1.5 Título

Análisis comparativo de impermeabilidad del hormigón mediante estudio experimental de aditivos por cristalización.

1.6 Justificación y pertinencia

La presente investigación se va a enfocar en el análisis experimental de aditivos impermeabilizantes por cristalización de membrana interna y membrana externa en el hormigón, ya que se ha podido comprobar que los aditivos que se usan habitualmente no solucionan los problemas de humedad en su totalidad. De esta manera el presente trabajo permitirá mostrar que aditivo y cual el método de aplicación es más efectivo para lograr una permeabilidad baja o nula en el hormigón. Además, se podrá comprobar desde el punto de vista económico cual aditivo podrá rendir de mejor manera impermeabilizando el hormigón a un costo más bajo.

1.7 Objetivos.

1.7.1 Objetivo General.

- ✓ Comprobar los niveles de recubrimiento y de impermeabilidad utilizando membrana interna y externa en hormigón.

1.7.2 Objetivos Específicos.

- ✓ Elaborar las probetas de hormigón con los dos tipos de aditivos seleccionados según sus especificaciones técnicas.
- ✓ Calcular el porcentaje de recubrimiento de cada tipo de impermeabilizante por unidad de volumen.
- ✓ Demostrar si la resistencia a compresión y tensión de las probetas no sufren ninguna variación cuando están mezcladas por los aditivos impermeabilizantes.
- ✓ Determinar el índice de permeabilidad K_t de las probetas mediante el uso de la prueba de impermeabilidad Torrent.
- ✓ Determinar los costos asociados al porcentaje de recubrimiento y a los niveles de permeabilidad.

Capítulo II

Fundamentos teóricos de la investigación

2.1 Densidad.

La densidad es básicamente la relación de masa por la unidad de volumen de una sustancia, es decir que, cuanto menor sea la cantidad de masa que un cuerpo tenga en un mismo volumen, la densidad será menor y viceversa.

$$\rho = \frac{masa}{volumen}$$

Además, la densidad puede variar ya que depende de la presión o la temperatura, por ejemplo si la presión de cualquier tipo de material aumenta la densidad también aumenta y si la temperatura aumenta en este caso la densidad disminuye. La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testingand Materials. ASTM) ha publicado varios métodos estándares de prueba para medir la densidad, la cual se obtiene con recipientes que miden volúmenes con precisión, llamados **picnómetros**. A continuación la fórmula para calcular la densidad:

2.2 Porosidad (p).

La porosidad (p) se determina mediante la fracción del volumen de espacios vacíos para almacenar fluidos sobre el volumen total del material. De esta manera, como el volumen total del materia siempre va a ser mayor que el volumen de espacios disponibles para almacenar fluidos, el valor máximo que la porosidad que puede alcanzar siempre va a ser menor que 1. También se puede expresar el grado de porosidad mediante porcentaje.

Si la porosidad llega al 50% nos indica que el material está constituido básicamente por una mitad de poros y en la otra mitad por materiales sólidos, pero en sí, este porcentaje no señala la manera de cómo pueden estar interconectados los poros. Es por eso que se recure a la porosidad eficaz que nos indica la porosidad por donde puede circular el fluido. La porosidad eficaz es el volumen de los poros interconectados o espacio intersticial presentes en un material que

contribuye al flujo de fluidos o a la permeabilidad. La porosidad eficaz excluye los poros aislados y el volumen de los poros ocupado por el agua adsorbida en los minerales de arcilla u otros granos. La porosidad total es el espacio intersticial total del material, sin importar si contribuye o no al flujo de fluidos. La porosidad eficaz normalmente es menor que la porosidad total. Y se lo calcula de la siguiente manera:

Porosidad eficaz (p_e):

$$p_e = \frac{Volumen\ de\ agua\ drenada\ por\ gravedad}{volumen\ total}$$

El numerador de esta expresión representa el volumen de los poros que se ha vaciado. Se expresa igual que la porosidad total (porcentaje o en un valor <1). Por ejemplo:

Disponemos de 1 m^3 de arena seca, le introducimos agua hasta que esté completamente saturado (todos los poros llenos de agua). Supongamos que para ello hemos necesitado 280 litros. Después dejamos que el agua contenida escurra libremente; supongamos que recogiéramos 160 litros. Evidentemente los 120 litros que faltan se han quedado mojando los granos (MORENO, 2006).

Con estos datos podemos calcular:

$$1m^3 = 100\ dm^3 \approx 1000\ litros$$

$$mt = \frac{280}{1000} = 0.28 = 28\%$$

$$me = \frac{160}{1000} = 0.16 = 16\%$$

Retención especifica = 0,28 - 0,16 = 0,12 ≈ 12%

2.3 Porosidad en el hormigón.

La porosidad para la mayoría de materiales es una de las propiedades físicas más importantes. A su vez el hormigón es un compuesto que está formado por dos partes como el cemento hidratado y los agregados, es decir, la porosidad viene formada en función de estas dos partes. La durabilidad que va a tener el hormigón juega un papel muy importante en la manera de cómo están interconectados los poros.

Para la resistencia y durabilidad óptima del hormigón, la porosidad es uno de los factores que va a tener mucha influencia. Cuanto más poros tenga el hormigón, mayor será su debilidad frente a la agresividad de los agentes del medio ambiente y la resistencia mecánica será menor.

2.4 Agregados porosos.

El tamaño de los poros de los agregados tienen una variación muy amplia, pero no tiene ninguna comparación cuando hablamos de los poros de la pasta de cemento ya que los poros más pequeños de los agregados pueden llegar a ser los más grandes en la pasta de cemento.
Los agregados tienen poros que están dentro de la partícula pero también tiene poros abiertos en la superficie, los mismos que pueden permitir el paso del agua dentro del agregado cambiando sus propiedades. Existe un rango de porosidad en los agregados que varía entre 0% a 50%. De esta forma, como tenemos conocimiento que el agregado forma parte de las tres cuartas partes del volumen del hormigón es preciso decir que la calidad del agregado que se va a utilizar para la mezcla es un factor primordial que va a influir cuando se calcule la porosidad total del hormigón (MORENO, 2006).

2.5 Porosidad de la pasta de cemento.

La porosidad de la pasta de cemento es la suma del volumen de los huecos capilares y de los huecos, y representa el espacio no llenado por los componentes

sólidos de la pasta de cemento hidratado (Neville y Brooks, 1998). También va a depender del alcance que tuvo la hidratación por el cemento y además por la relación agua / cemento. Por ejemplo, para una pasta de relación a/c de 0,6, el volumen total de poros se encuentra generalmente entre 46% y 60% dependiendo del grado de hidratación del cemento, que correspondería a niveles de hidratación comprendidos entre 100% y 27%, respectivamente. En general, la porosidad de la pasta suele ser mayor a la porosidad del agregado (MORENO, 2006).

2.6 Porosidad del hormigón.

La porosidad del hormigón se resume como una función de varias variables según (Solís, 2006)como:

- Relación agua / cemento.
- La hidratación del cemento (h).
- El volumen de aire atrapado (A)
- Agregados fino (arena, A_f) y grueso (grava, A_g).
- El cemento (c).
- Las gravedades específicas de los agregados (ρ_f y ρ_g)

$$P = \frac{\frac{a}{c}\text{-}0.36h + \frac{A}{c}}{0.317 + \frac{1}{\rho_f}\frac{A_f}{c} + \frac{1}{\rho_g}\frac{A_g}{c} + \frac{A}{c}}$$

2.7 Permeabilidad Pm.

Se define a la permeabilidad como la forma en que un material permite el paso de un fluido en su interior. Es decir, que se puede decir que un material es permeable cuando a través de si permite que paso de una cantidad notable de fluido en tiempo determinado e impermeable cuando el paso del fluido no es notable o simplemente es nulo. Existen tres factores determinantes para poder medir la velocidad con el flujo de cualquier fluido se introduce en el material, como: la densidad del fluido, la presión a la que está sometido el fluido y la porosidad del material.

Para considerar a un material completamente permeable este material debe ser poroso, en otras palabras, el materia debe tener en su interior varios espacios vacíos o poros entrelazados que faciliten el paso y la retención de fluidos. Además, estos poros o espacios vacíos deben estar conectados para que el fluido tenga un camino por todo pasar.

2.8 Permeabilidad del hormigón.

Por otro lado, la permeabilidad del hormigón desde un punto de vista más global se entiende como el nivel de impedimento que tiene un fluido para poder desplazarse en su interior. Este impedimento se basa en la cantidad de volumen de vacíos o poros que existen en el hormigón. De esta manera estos poros pueden ser alcanzables para los fluidos en caso de que estén interconectados entre sí y con la superficie del hormigón, e inalcanzables si no están conectados. Lo que condiciona la introducción de los fluidos en el hormigón son definidamente los poros ya que gracias a los conductos capilares que los unen marcan el recorrido de la penetración del fluido. Por otro lado, especialmente en las propiedades del hormigón para la resistencia a compresión y tensión va a ser fundamental la relación agua / cemento y la compacidad del mismo.

La permeabilidad de la mezcla del cemento es extremadamente relevante puesto que la misma mezcla recubre todos los materiales que se usa para elaborar el hormigón. La permeabilidad es afectada por la relación agua-cemento, grado de hidratación del cemento y periodo del curado húmedo. Un concreto de baja permeabilidad requiere una relación agua / cemento baja y un periodo de fraguado idóneo para que cumpla con todas las características del cemento de resistencia y durabilidad. El aire incluido ayuda la estanquidad que es una cualidad por la que determinamos si algo tiene fugas o posibilidad de tenerlas, o no, pero tiene poco efecto sobre la permeabilidad. La permeabilidad aumenta con el secado.

La permeabilidad del hormigón, mantenida permanentemente húmeda, varía de $0.1x10^{-12}$ hasta $120x10^{-12}$ cm/s, con relaciones agua / cemento que varían de 0.3 hasta 0.7. La permeabilidad del agregado comúnmente usado para el hormigón

varía de aproximadamente $1.7x10^{-9}$ hasta $3.5x10^{-13}$ cm/s. La permeabilidad de un concreto maduro, de buena calidad es aproximadamente $1x10^{-10}$ cm/s (Eddy.h, 2014).

En la Figura 1 se muestra la dependencia entre permeabilidad, relación agua / cemento y curado inicial de cilindros de concreto con 100 x 200 (4 x 8 pulgadas), ensayados después de 90 días de secado al aire y expuestos a 200 kg/cm^2 o 20 MPa ($3000lb/pulg^2$) de presión. A pesar de que los valores de permeabilidad serían diferentes para otros líquidos y gases, la dependencia entre relación agua / cemento, periodo de curado y permeabilidad sería similar.

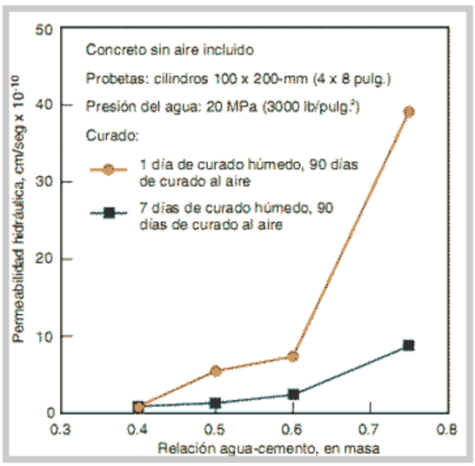


Figura 1. Relación entre la permeabilidad al agua, relación agua / cemento y curado inicial de la probeta del concreto (Eddy.h, 2014).

2.9 Impermeabilidad.

La impermeabilidad es el impedimento que un material o que no tenga la capacidad de absorción frente a la presión de un fluido.

2.10 Impermeabilidad del hormigón.

Una de las características del hormigón es que tiene una estructura porosa y que nunca va a ser totalmente impermeable, así se usen otros tipos de cemento que relativamente garantizan la impermeabilidad del hormigón. Es por eso que para garantizar la baja o casi nula permeabilidad del hormigón es necesario el uso de aditivos y adiciones para controlar este factor. La impermeabilidad del hormigón también va a depender de la permeabilidad del agregado y su relación con la cantidad de agua / cemento, del grado de hidratación del cemento, además de la duración y calidad del curado (Merino).

2.11 Aditivos impermeabilizantes.

Existen varios tipos de aditivos impermeabilizantes para el hormigón que se clasifican según su modo de aplicación y la forma en que trabajan. Los aditivos de membrana externa se dividen en varios grupos como:

- Los aditivos de membrana externa líquida que son aplicados mediante brochas o rodillos y que se colocan varias capas hasta cumplir con la especificación técnica del espesor de la capa que recubre el miembro estructural.
- Los aditivos de membrana externa sólida que son por ejemplo unos rollos de aluminio que por lo general son usadas en cubierta para impermeabilizarlas.
- Los aditivos de membrana externa liquida por cristalización, la misma que actúa o hace reacción cuando el hormigón contiene humedad o agua, dando forma de esta manera a cristales que recorren los poros del hormigón sellándolos completamente para evitar el paso de fluidos.
- Aditivo de membrana interna líquido por cristalización, consiste en mezclar el aditivo con el resto de componentes del hormigón para de esta manera permitir que la membrana actúa desde adentro hacia a fuera.

2.12 Tipos de cemento.

La variedad de tipos de cemento que se van a utilizar en esta investigación son de Holcim, quienes cuentan con la norma vigente NTE INEN 2380 equivalente a la

ASTM-C1157 (norma norteamericana) cuyo requisito prioritario es el desempeño de los cementos hidráulicos al ser usados en hormigón. Esta norma moderna es aplicable a cementos de los siguientes tipos:

- GU (Para construcción en general).
- HE (Alta resistencia inicial).
- MS (Moderada resistencia a los sulfatos).
- HS (Alta resistencia a los sulfatos).
- MH (Moderado calor de hidratación).
- LH (Bajo calor de hidratación).

Adicionalmente, producto de la búsqueda constante de la excelencia, Holcim cuenta con plantas con certificaciones internacionales, ISO 14001:2004 y OHSAS 18001:2007, fortaleciendo los procesos de manera continua de tal forma que permitan producir cementos que superen los más altos estándares de calidad.

Para la elaboración de las probetas se usaran los siguientes tipos de cemento, quienes tiene diferentes características de funcionamiento, estos son:

2.12.1 Holcim Fuerte Tipo GU:

Está diseñado para todo tipo de construcción en general, contando como principales características su resistencia, durabilidad y destacado desempeño que cumple y excede los estándares de la norma NTE INEN 2380.

2.12.2 Holcim Ultra Durable GU HS:

Para aplicación en estructuras con alta exposición a ataques de sulfatos.

2.12.3 Holcim Premium Tipo HE:

Está fabricado para obtener altas resistencias iniciales y es ideal para edificaciones y sistemas industrializados; ya que su destacado desempeño cumple y excede los estándares de la norma NTE INEN 2380.

2.13 Requisitos para mezclas de hormigón.

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), basadas en las clases de exposición asignadas en la Tabla3: Categorías y clases de exposición,

las mezclas de hormigón deben cumplir con los requisitos más severos de restricción indicados en la Tabla 4: Requisitos para el hormigón según la clase de exposición

Tabla 3. Categorías y clases de exposición.

Categorías	Severidad	Clase	Condición	
F Congelación y deshielo	No existe	F0	Hormigón no expuesto a ciclos de congelación y deshielo.	
	Moderada	F1	Hormigón expuesto a ciclos de congelación, deshielo y exposición ocasional a la humedad.	
	Severa	F2	Hormigón expuesto a ciclos de congelación, deshielo y en contacto continuo con la humedad.	
	Muy severa	F3	Hormigón expuesto a ciclos de congelación, deshielo y que esté en contacto continuo con la humedad y expuesto a productos químicos para descongelar.	
S Sulfato			**Sulfatos solubles en agua (SO4) en el suelo, % en masa**	**Sulfato (SO_4) disuelto en agua, ppm**

Tabla 3. Continuación.

Categorías	Severidad	Clase	Condición	
	No aplicable	S0	SO_4<0.1	SO_4<150
	Moderada	S1	0.1≤SO_4<0.2	150≤SO_4<1500 agua marina
	Severa	S2	0.2≤SO_4≤2.0	1,500≤SO_4≤10,000
	Muy severa	S3	SO_4>2.0	SO_4>10,000
P Requiere baja permeabilidad	No aplicable	P0	En contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad	
	Requerida	P1	En contacto con el agua donde se requiere baja permeabilidad	
C Protección del refuerzo contra la corrosión	No aplicable	C0	Hormigón seco o protegido contra la humedad	
	Moderada	C1	Hormigón expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros	
	Severa	C2	Hormigón expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos para descongelar: sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	

Fuente: NEC-15, Estructuras de Hormigón Armado, pág. 27.

El profesional facultado por un Instituto de Educación Superior o equivalente para diseñar la mezcla de los elementos de hormigón, de acuerdo a las condiciones del medio donde se construirá el proyecto estructural, asignará la categoría y clase de exposición indicadas en la Tabla 3.

2.14 Requisitos para mezclas de hormigón

Tabla 4. Requisitos para el hormigón según la clase de exposición.

Clase de exposición	Relación a/c máx.	f'_c mín. MPa	Requisitos mínimos adicionales			
			Contenido de aire			Límites en los cementantes
			Tipos de cemento[1]			Aditivo cloruro de calcio
			NTE INEN 152 (ASTM C 150)	NTE INEN 490 (ASTM C 595)	NTE INEN 2380 (ASTM C 1157)	
S0	N/A	17	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción en el tipo	Sin restricción
S1	0.5	28	II[2]	IP (MS), IS (<70) (MS)	MS	Sin restricción
S2	0.45	31	V[3]	IP (HS), IS (<70) (HS)	HS	No se permite
S3	0.45	31	V puzolanas o escorias[4]	IP (HS) y puzolanas o escorias[4] o IS (<70) (HS) y puzolanas o escorias[4]	HS y puzolanas o escorias[4]	No se Permite
P0	N/A	17	Ninguna			
P1	0.50	28	Ninguna			
			Contenido máximo de iones de cloruro (Cl^5) soluble en agua en el hormigón, porcentaje por peso de cemento.		Requisitos relacionados	
			Hormigón reforzado	Hormigón preesforzado		
C0	N/A	17	1.00	0.06	Ninguno	
C1	N/A	17	0.30	0.06		
C2	0.40	35	0.15	0.06	Véase [6]	

Fuente: NEC-15, Estructuras de Hormigón Armado, pág. 28.

2.15 Ensayos de permeabilidad del hormigón.

- Método bajo presión de agua: Este método fue desarrollado bajo la norma UNE-EN 12390-8 para determinar la profundidad de penetración de fluidos.
- El agua es aplicada con una presión constante de 500kPa durante las primeras 72 horas sobre las superficie de la probeta. Posteriormente, se parten las probetas por la mitad para poder medir en milímetros y determinar el grado de permeabilidad (AENOR, 2014).

- La prueba Torrent se basa en la medir la permeabilidad en la superficie del hormigón, la ventaja de esta prueba es que no solo sirve para ser usada en un laboratorio con la ayuda de probetas sino que también pueden ser usadas en sitio (Torrent, Permeability tester Torrent, 2010).

2.16 Prueba de permeabilidad Torrent.

La parte del elemento estructural que está más propensa a soportar grandes impactos externos asociados principalmente a la corrosión de las armaduras por el ataque químico por sulfatos y a los ciclos de congelación y deshielo es la superficie del miembro estructural.

La prueba de permeabilidad Torrent (TPT – Torrent Permeability Tester) es útil para la medición del grado de permeabilidad que tenga el elemento estructural que esté ya en obra o que a su vez se lo pueda medir en un laboratorio mediante una probeta. La prueba de permeabilidad Torrent clasifica en cinco categorías cualitativas la medición de la permeabilidad del coeficiente kT que va desde muy baja (clase 1) hasta muy alta (clase 5). Las categorías de calidad de la superficie de hormigón especificado con la ayuda del coeficiente de permeabilidad se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de la permeabilidad del hormigón en función de kT.

Clase	kT (10^{-16} m^2)	Permeabilidad
1	< 0.01	Muy Baja
2	$0.01 \leq kT < 0.1$	Baja
3	$0.1 \leq kT < 1.0$	Moderada
4	$1.0 \leq kT \leq 10$	Alta
5	>10	Muy Alta

Usando la prueba de permeabilidad Torrent, podemos obtener datos que significativamente contribuyen a la evaluación de la calidad de la superficie de la capa de estructuras de hormigón.

En el Ecuador en la NEC-15, no se habla de un método en específico para comprobar la permeabilidad del hormigón en obra o mediante probetas, simplemente menciona los requisitos para las mezclas. Los mismos requisitos que están clasificados por categorías y clases a las cuales puede estar expuesto el hormigón. Sin embargo, este método hasta ahora sólo aparece en la norma suiza SN 505 262/1. Por lo tanto, es necesario señalar que, sobre todo el campo de la evaluación de los resultados del método Torrent y de la determinación de los efectos de la humedad de la capa de superficial de hormigón no está del todo completamente estudiado.

2.17 Prueba Torrent.

La prueba Torrent en la obtención de datos de permeabilidad es un dispositivo de medición adecuado para la especificación no destructiva de la permeabilidad al aire de la capa superficial de hormigón. El instrumento trabaja junto con una bomba de vacío y se puede utilizar para medir en el sitio así como en laboratorio (Fig. 2). Las características esenciales del sistema de medición que forman la base del método de medición Torrent son una celda de vacío de dos cámaras y un registrador de presión que aseguran el flujo de aire hacia la cámara interior situada verticalmente a la superficie. El método de medición se basa en la

posibilidad de calcular el coeficiente de permeabilidad k_T sobre la base del modelo teórico dado. Un diagrama del dispositivo de medición se muestra en las Figuras. 2, 3.

Figura 2. Instrumento Torrent

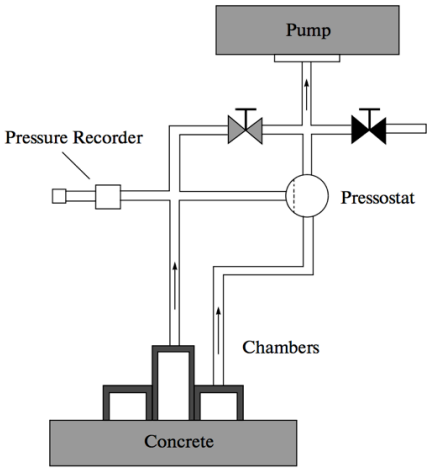


Figura 3. Diagrama de medida del equipo

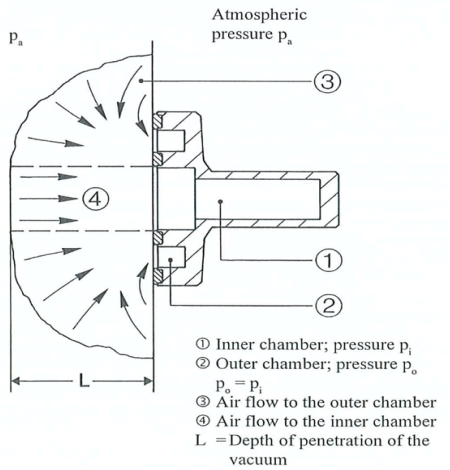


Figura 4. Cámaras de vacío del instrumento Torrent

Los límites de medición (Tabla 5) se determinaron sobre la base de extensas pruebas de permeabilidad realizadas por el autor del dispositivo Torrent y su equipo de colaboradores. Por lo que se refiere al hormigón seco, los resultados de sus ensayos corresponden bien a otros métodos de laboratorio, como la permeabilidad al oxígeno, la capacidad de absorción del agua capilar, la permeabilidad al cloruro y otros (Torrent, Materials and Structures, 1992).

Según los autores del método, la humedad del hormigón es el principal factor que influye en el grado de permeabilidad al aire. Con el fin de compensar la humedad, midieron la resistencia eléctrica del hormigón ρ utilizando la denominada sonda Wenner y compilaron un monograma que define la dependencia de la extensión del coeficiente k_T sobre la resistencia eléctrica ρ. El nomograma puede utilizarse, como afirman los autores, para la determinación de la categoría cualitativa de la superficie de hormigón húmedo (Figura. 4).

El dispositivo de medición Torrent permite, en comparación con otros dispositivos similares, una manipulación relativamente sencilla, no requiere ajustes complicados de las áreas medidas sobre la estructura y la longitud del ensayo se define por la calidad del hormigón ensayado. La medición en sí no toma más de 12 min en un área de medición. Este dispositivo permite realizar una gran cantidad de mediciones y obtener resultados extensos necesarios para la evaluación del estado actual de la capa superficial de hormigón (Torrent, Permeability tester Torrent, 2010).

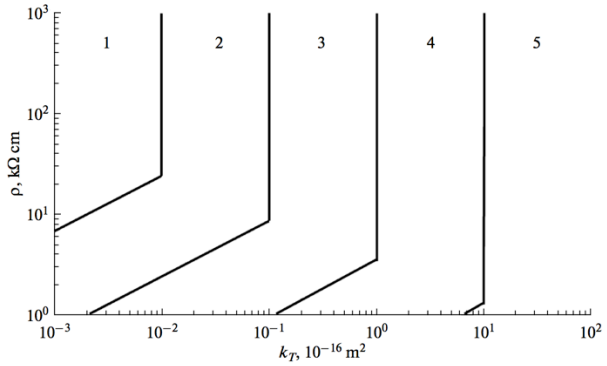


Figura 5. Nomograma para la determinación de la categoría cualitativa del hormigón en relación con la humedad actual.

2.17.1 Proceso Experimental.

Para el proceso experimental existente requisitos relativos a la forma, tamaño, ajuste y tratamiento de las probetas de ensayo. Dado que es posible realizar pruebas utilizando el método Torrent no sólo directamente en las estructuras existentes, sino también en laboratorio.

Durante la producción, es necesario prestar mucha atención al almacenamiento, o más bien a la compactación del hormigón. Es esencial inhibir la segregación de los ingredientes individuales de la mezcla y, al mismo tiempo, eliminar completamente todo el aire redundante. La sección de la probeta que se desea probar debe ser uniforme y lisa. Si una capa de leche de cemento que contiene un gran número de poros de aire se reúne en la superficie de la sección de la probeta, esta no es muy adecuada para el ensayo y debe ser regulado por la abrasión fina; De lo contrario los resultados pueden diferir considerablemente de la realidad. Después de retirar el molde, las superficies para medir la permeabilidad al aire deben incluir tan pocos huecos y poros como sea posible. Una superficie de la probeta que contiene huecos de superficie o una red de poros de aire no es muy adecuada para la medición. La rugosidad de la superficie medida influirá en el valor original de la presión que crea el vacío. Diferentes valores de la presión original que crea el vacío no necesariamente conducen a influir en los resultados finales de la medición. Si la superficie de la probeta de ensayado muestra desniveles considerables, es necesario elaborar una nueva probeta. La superficie de la probeta no debe mostrar rastros de la presencia de micro fisuras.

Las dimensiones de las probetas deben cumplir los requisitos establecidos por los autores de la medición, es decir, la distancia entre la parte exterior de la superficie medida y el diámetro interior de la célula debe ser mínimo de 20 mm. En los laboratorios del Instituto de Ensayos de Edificios FCE BUT, se utilizaron cubos con una longitud de 150 mm para este tipo de medición. Los requisitos dados por el productor se cumplieron formalmente. Sin embargo, como se hizo más tarde evidentemente, este cuerpo no parece ser muy adecuado. Una de las

razones fue la necesidad de una excesiva precisión cuando se alimenta la bomba de vacío para mantener la distancia prescrita desde el borde del cuerpo. Otra razón era el hecho de que la distancia de sólo 20 mm entre la bomba de vacío y el borde del cuerpo parecía ser insuficiente con respecto al material como tal en su estructura porosa, para ser específico se podía deducir que pueden aparecer pérdidas de presión a través de los lados laterales del cuerpo. Esta teoría se comprobó mediante una medición simultánea de la permeabilidad en cubos con una longitud de borde de 150 mm y en tejas con dimensiones 300 x 300 x 80 mm. Y con este experimento se confirmaron valores muy inferiores del coeficiente de permeabilidad al aire kT midiendo los azulejos y los cubos (HEAD, 2011).

Capítulo III

Bases metodológicas de la investigación

3.1 Tipo y diseño de la investigación.

Para este trabajo de titulación, se va a realizar una investigación de laboratorio de carácter experimental ya que se propone realizar probetas a escala, con un hormigón de resistencia de 280 kg/cm^2 con el cual se construyen los elementos estructurales. Las probetas a su vez, van a ser elaboradas con aditivos impermeabilizantes de membrana interna y membrana externa y se usará tres tipos de cemento para la mezcla del hormigón. El propósito de la variedad de tipo cemento y la aplicación de aditivos impermeabilizantes es obtener una recolección de datos de la permeabilidad que las probetas van a tener y de esta manera analizar la influencia que tienen los materiales que se usa para elaborar el hormigón.

3.2 Descripción de variables

3.2.1 Identificación de las variables.

- 1: Aditivo impermeabilizante de hormigón.

  Definición conceptual: El aditivo impermeabilizante contribuye a impedir el paso de fluidos en el hormigón.

  Definición operacional: El aditivo impermeabilizante funciona como una membrana interna en la mezcla del hormigón o como un recubrimiento externo (membrana externa).

  Indicadores: Mediante la prueba de impermeabilización Torrent se medirá el factor k_T para definir el grado de permeabilidad que tiene la probeta de hormigón.

- 2: Tipo de cemento

  Definición conceptual: El cemento es el producto de la mezcla de clinker, yeso y otras componentes. El clinker es el resultado de la calcinación de calizas y arcillas que son extraídas de las canteras y trituradas junto al hierro.

  Definición operacional: Para la elaboración de las probetas se va a usar tres tipos de aditivos como: de uso general (GU), de media resistencia a los sulfatos (MS) y de alta resistencia a los sulfatos (HS).

Indicadores: Se va a comparar qué tipo de cemento reacciona de mejor manera con los aditivos impermeabilizantes para que se pueda lograr una permeabilidad del hormigón muy baja o nula sin que se alteres sus características de resistencia a la compresión y a la tensión.

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La técnica de recolección de datos que se va a usar es la observación continua ya que como se va a medir la permeabilidad de las probetas mediante la prueba Torrent los datos serán tomados directamente de los resultados que la prueba arroje. Y el instrumento que se va a utilizar para la recolección de datos será una ficha en la cual se va a ingresar todas las características de la elaboración de las probetas con el tipo de cemento, tipo de aditivo, número de días de fraguado, agregados para el hormigón, el factor de permeabilidad k_T entre otros.

Capítulo IV

Diseño del proceso experimental

4.1 Diseño de hormigón para probetas.

El hormigón se diseñó para que tenga una resistencia a la compresión de un f'c=290 kg/cm^2 ya que se va a simular miembros estructurales como vigas. El diseño consta de agregado grueso de ¾"(Tabla 6), agregado fino de rio (Arena – Tabla 7), cemento, agua (Tabla 8) y aditivo impermeabilizante por cristalización (solo en 6 probetas). El diseño de hormigón fue elaborado para 1 m^3 y se procedió a realizar una relación de volumen de las probetas ya que tienen medidas de 15x15x27 cm lo que es igual a 0.006m^3.

Tabla 6. Análisis de agregado grueso.

AGREGADO GRUESO		T.Máx.= 3/4"
P.V.V. =	1655	kg/ m³
P.V.S. =	1542	kg/ m³
D.s.s.s.=	2740	kg/ m³
Absorción =	1.27	%
Abs.real =	1.47	%

Tabla 7. Análisis de agregado fino.

AGREGADO GRUESO		T.Máx.= 3/4"
P.V.V. =	1655	kg/ m³
P.V.S. =	1542	kg/ m³
D.s.s.s.=	2740	kg/ m³
Absorción =	1.27	%
Abs.real =	1.47	%

Tabla 8. Relación agua – cemento

DATOS ADICIONALES	
a/c =	0.4
Agua (litros)	179
Aire (%) :	3
V.Total de agua:	179.00

En las tablas 6,7 y 8 se muestra el análisis de los materiales que se relocalizó previamente para elaborar el diseño de hormigón ya que estos tienen que cumplir ciertos parámetros para que sean idóneos para la mezcla y funcionen eficientemente en entre ellos.

4.2 Diseño de probetas con aditivos.

Para el diseño de las probetas con los aditivos se realizó varios tipos de mezclas ya que se utilizó diferentes tipos de cemento y 2 tipos de aditivos impermeabilizantes por cristalización: uno que va dentro de la mezcla del hormigón y otro que se aplica como membrana externa con brocha o rodillo. Como el diseño se lo realizó para $1m^3$ a los materiales se les saco una relación para el volumen de la probeta para tener cantidades considerables de la mezcla y no tener excesos que puedan perjudicar al características en su resistencia (Tabla 9).

Tabla 9. Relación de cantidades para la mezcla de hormigón.

#P	Tamaño	Tipo de Cemento	Materiales				Tipo de Aditivo
			Cemento (Kg)	Agua (Lt)	Agregado Grueso (Kg)	Arena (Kg)	
1	15x15x27	GU	3	1.12	6.37	4.1	Interna
2	15x15x27	GU	3	1.12	6.37	4.1	interna
3	15x15x27	GU	3	1.12	6.37	4.1	Externa
4	15x15x27	GU	3	1.12	6.37	4.1	Externa
5	15x15x27	HE	3	1.12	6.37	4.1	Interna
6	15x15x27	HE	3	1.12	6.37	4.1	Interna
7	15x15x27	HE	3	1.12	6.37	4.1	Externa
8	15x15x27	HE	3	1.12	6.37	4.1	Externa
9	15x15x27	HS	3	1.12	6.37	4.1	interna
10	15x15x27	HS	3	1.12	6.37	4.1	Interna
11	15x15x27	HS	3	1.12	6.37	4.1	Externa
12	15x15x27	HS	3	1.12	6.37	4.1	Externa
		Total	**34**	**13**	**76.4**	**49**	

En la tabla 9 se presenta el tipo de cemento que se utilizó, las cantidades que se colocó para cada mezcla de hormigón y con las cantidades exactas y unidades de medida correspondientes para las probetas como se muestra en la figura 6.

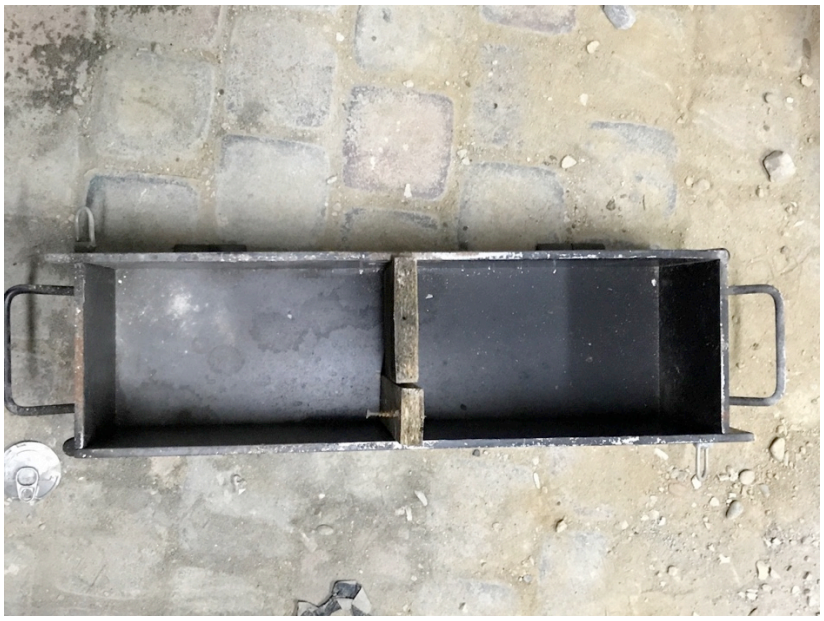


Figura 6. Molde para dos probetas de 15x15x27 cm.

Figura 7. Pesando los 3kg de cemento GU,HE y HS.

Figura 8. Pesando los 6.37 kg de agregado grueso.

Figura 9. Pesando los 4.1 kg de agregado fino.

Figura 10. Probeta con mezcla de hormigón con membrana interna.

Figura 11. Probetas con mezcla de hormigón GU y HE con membrana interna.

Figura 12. Probetas con mezcla de hormigón GU y HE con membrana interna y externa.

Figura 13. Desencofrado de todas las probetas de hormigón.

4.3 Aplicación de aditivos impermeabilizantes.

Los aditivos impermeabilizantes por cristalización según su especificación técnica tienen un procedimiento de aplicación diferente. Para la membrana interna, en la mezcla del hormigón se tiene que aplicar el 2% de aditivo del peso total de la mezcla de todos los agregados, es decir que para una probeta de 14.59 kg se le tiene que aplicar 290gr aproximadamente de aditivo. Para la membrana externa se tuvo que realizar un procedimiento diferente ya que a diferencia del aditivo de membrana interna que se basa en peso de la mezcla, en el aditivo de membrana externa se basa en el área de las caras del miembro estructural al que se vaya a aplicar el aditivo. Es decir, que para cada metro cuadrado se debe utilizar un kilogramo de mezcla del aditivo de membrana externa pero para la aplicación en las probetas se realizó una relación para el número de caras al cual se iba a aplicar . Y para la preparación de la mezcla la especificación menciona que se debe utilizar 1 litro de agua para cada 2.5 kilogramos de polvo.

Figura 14. Medición de aditivo de membrana interna.

Figura 15. Mezcla de agregados con aditivo de membrana interna.

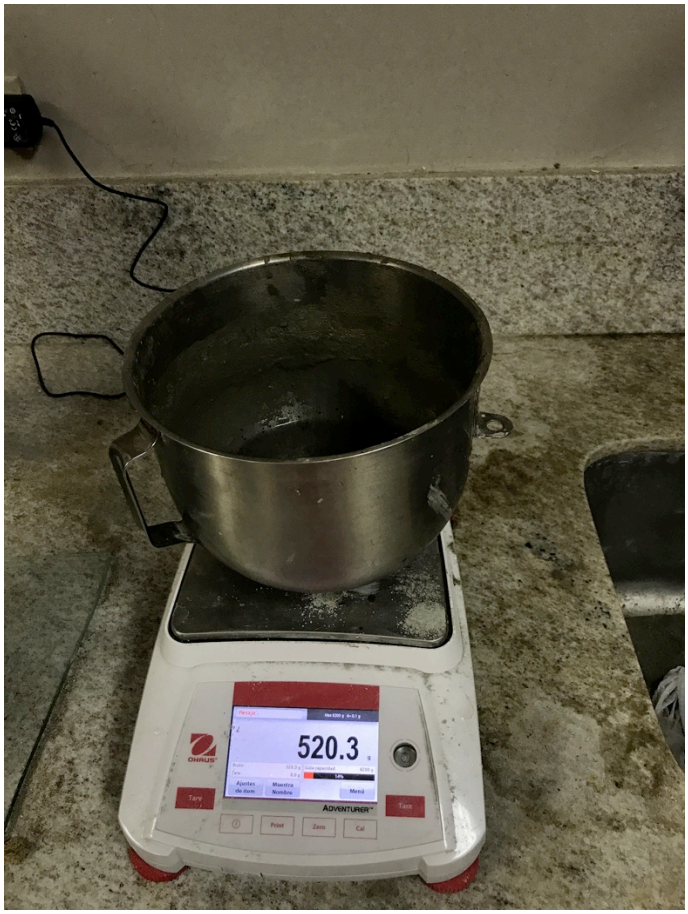


Figura 16. Medición de aditivo de membrana externa.

La pasta de aditivo se la aplico mediante brocha, también se lo puede aplicar mediante proyección a pistola. La primera capa se la aplicó sobre la superficie húmeda para que pueda penetral de mejor manera la mezcla. Como se utilizó broma para la aplicación se tu que presionar fuertemente para estar seguros que la mezcla se adhiera a la probeta y de esta manera procurar que todos los huecos queden rellenos. La segunda capa se aplicó cuando la primera esté todavía fresca (aproximadamente 4 horas a 20^{o} C) (SIKA).

Figura 17. Mezcla de aditivo de membrana externa con agua.

Figura 18. Aplicación de membrana externa con brocha.

Figura 19. Aplicación de segunda capa de membrana externa con brocha.

Figura 20. Aplicación de membrana externa con brocha.

Las probetas de membrana de impermeabilización interna luego de haber sido desencofradas pasaron a una piscina durante 28 días para posteriormente medir su resistencia figura 21. A diferencia de las otras probetas que un día después, luego de haber aplicado las dos capas de membrana de impermeabilización externa se las puso en una piscina durante 28 días para luego realizar las respectivas pruebas de permeabilidad y resistencia. Y de esta manera poder verificar si hubo alguna modificación en las propiedades de estos elementos estructurales figura 22.

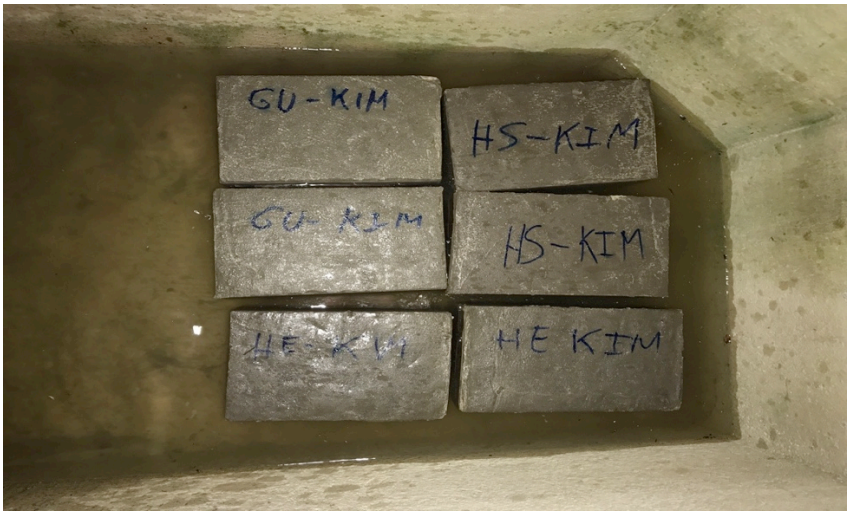


Figura 21. Probetas con membrana interna en una piscina por 28 días.

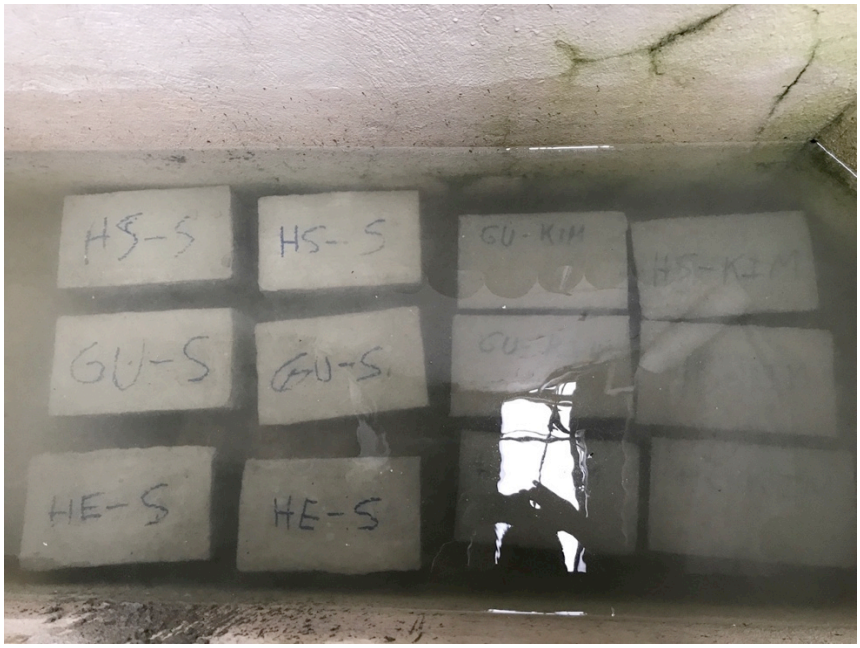


Figura 22. Probetas de membrana interna y externa en una piscina por 28 días.

Capítulo V

Análisis e Interpretación de resultados

5.1 Análisis de permeabilidad de las probetas.

Para el análisis de permeabilidad se utilizó la prueba de permeabilidad Torrent que gracias a la colaboración del Centro Tecnológico del Hormigón (CTH-Holcim) liderado por el Ing. Jorge Flores, nos facilitó las instalaciones del laboratorio para realizar las pruebas necesarias para el desarrollo de esta investigación y con la colaboración del personal.

Figura 23. Prueba de permeabilidad Torrent.

Para el uso de la prueba Torrent primero se la tuvo que encerar con una placa metálica en la cámara de absorción durante 720 segundos que dura la prueba para que los datos que se vayan a obtener sean lo más exactos posibles al momento de hacer contacto con la superficie de la probeta como se muestra en la figura 24 y 25.

Figura 24. Enceramiento con placa metálica.

Figura 25. Calibración de la prueba Torrent.

Luego de los 28 días en la piscina se procedió a obtener el factor kt de permeabilidad con la prueba de permeabilidad Torrent en la cual los resultados fueron los esperados ya que se pudo comprobar que para diferentes tipos de cemento los valores de permeabilidad y penetración del aditivo eran favorables para la membrana interna.

Para todos los tipos de cemento se les realizó la prueba de permeabilidad en dos caras de la probeta para poder obtener varios datos ver como varios los mismo según el área en donde se haga la prueba. Para el cemento GU de uso general, a pesar que se encontró una permeabilidad muy baja (tabla 5) en la cara frontal y lateral de la probeta con membrana externa por cristalización con un valor de 0.001 y 0.005 $x10^{-16}$ m^2 respectivamente, la longitud de penetración en este caso fue muy baja y casi superficial con valores de 1.9 y 4.7 mm. Lo que por el contrario, para la membrana interna por cristalización se obtuvo valores de permeabilidad baja (tabla 5) que dentro de los parámetros de impermeabilidad es muy aceptable pero lo favorable en esta recolección de datos es que su longitud de penetración llego a los 16.7 y 15.5 mm como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Valores de permeabilidad y longitud de penetración de los aditivos.

Tipo de Cemento	Tipo de Aditivo	Factor (Kt) Frontal			Factor (Kt) Lateral		
		$x10^{-16}$ m^2	Kt	L (mm)	$x10^{-16}$ m^2	Kt	L (mm)
GU	Interna	0.059	Baja	16.7	0.022	Baja	10.2
GU	interna	0.048	Baja	15.1	0.051	Baja	15.5
GU	Externa	0.001	Muy baja	1.9	0.005	Muy baja	4.7
GU	Externa	0.016	Baja	8.8	0.012	Baja	7.7
HE	Interna	0.081	Baja	19.5	0.069	Baja	17.9
HE	Interna	0.102	Moderada	21.9	0.079	Baja	19.3
HE	Externa	0.016	Baja	8.9	0.002	Muy baja	2.8
HE	Externa	0.115	Moderada	9.9	0.053	Baja	6
HS	interna	0.191	Moderada	30.3	0.044	Baja	14.5
HS	Interna	0.049	Baja	15.4	0.051	Baja	15.6
HS	Externa	0.019	Baja	9.4	0.317	Moderada	3.89
HS	Externa	0.017	Baja	0.1	0.001	Muy baja	2.6

En la prueba para el cemento HE de alta resistencia inicial ocurre algo parecido pero aunque los factores de permeabilidad kt se incrementen en lo mínimo, para las probetas de membrana externa encontramos que la permeabilidad se encuentra entre baja y moderada con factores de 0.016 y 0.115 $x10^{-16}$ m^2 respectivamente pero que la longitud de penetración siguen marcando una diferencia con la membrana interna ya que en este caso alcanzo 8.9 y 9.9 mm. Lo que por el contrario para la membrana interna se obtuvo un promedio de factores de permeabilidad baja con valores tope de 0.069 y 0.081 $x10^{-16}$ m^2. Y para las longitudes de penetración del aditivo alcanzo como máximos 19.5 y 21.9 mm que es una permeabilidad aún más profunda dentro del hormigón a comparación de las probetas anteriores, tabla 11 y 12.

Tabla 11. Promedio de factores kt de la cara frontal y lateral.

	Kt Frontal	Promedio	Kt Lateral	Promedio
GU Interna	0.059	0.0535	0.022	0.0365
	0.048		0.051	
GU Externa	0.001	0.0085	0.005	0.0085
	0.016		0.012	
HE Interna	0.081	0.0915	0.069	0.074
	0.102		0.079	
HE Externa	0.016	0.0655	0.002	0.0275
	0.115		0.053	
HS interna	0.191	0.12	0.044	0.0475
	0.049		0.051	
HS Externa	0.019	0.018	0.317	0.159
	0.017		0.001	

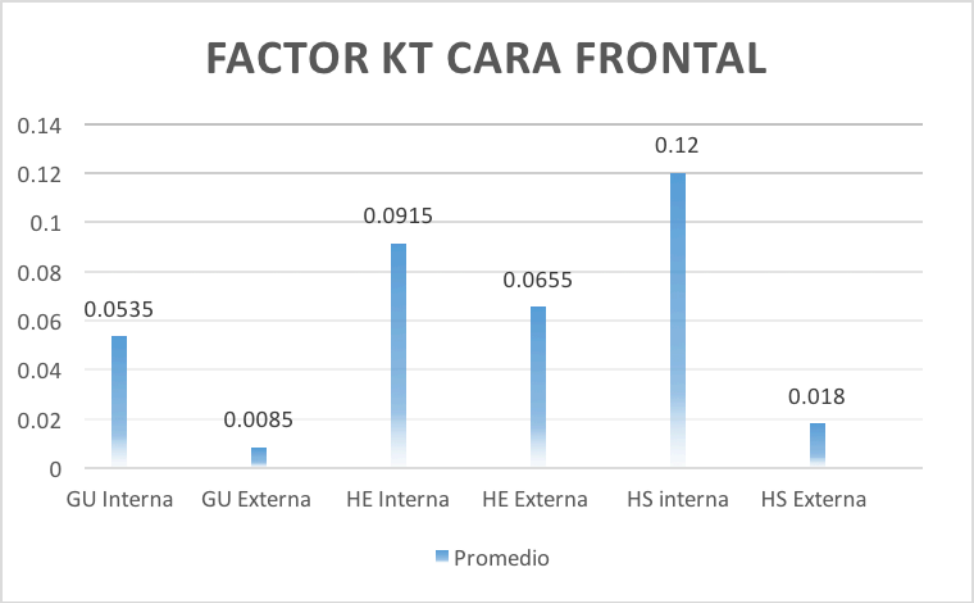


Figura 26. Gráfico del promedio del factor kt de la cara frontal.

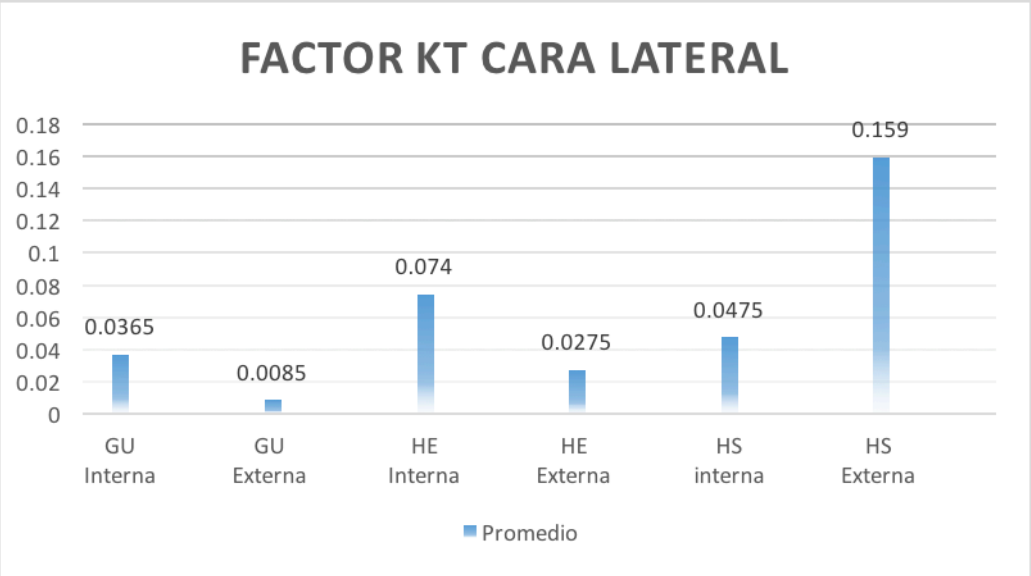


Figura 27.Gráfico del promedio del factor kt de la cara lateral.

Tabla 12. Promedio de longitud de penetración del aditivo.

Cemento	Longitud (mm)	Promedio	Longitud (mm)	Promedio
GU Interna	16.7	15.9	10.2	12.85
	15.1		15.5	
GU Externa	1.9	5.35	4.7	6.2
	8.8		7.7	
HE Interna	19.5	20.7	17.9	18.6
	21.9		19.3	
HE Externa	8.9	14.4	2.8	9.4
	19.9		16	
HS interna	30.3	22.85	14.5	15.05
	15.4		15.6	
HS Externa	9.4	4.75	3.89	3.245
	0.1		2.6	

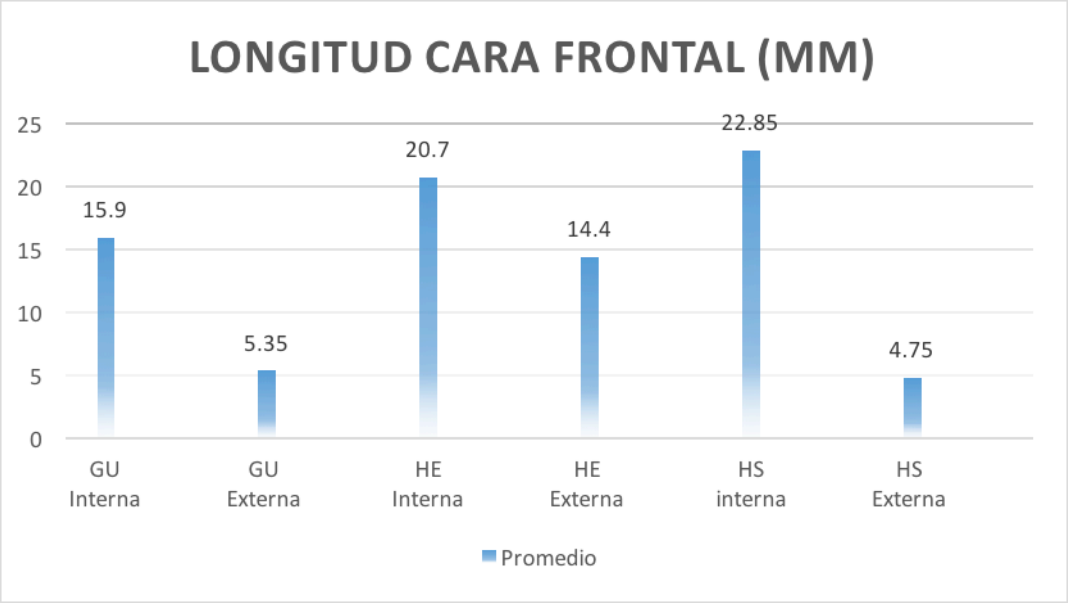


Figura 28. Longitud de penetración en la cara frontal.

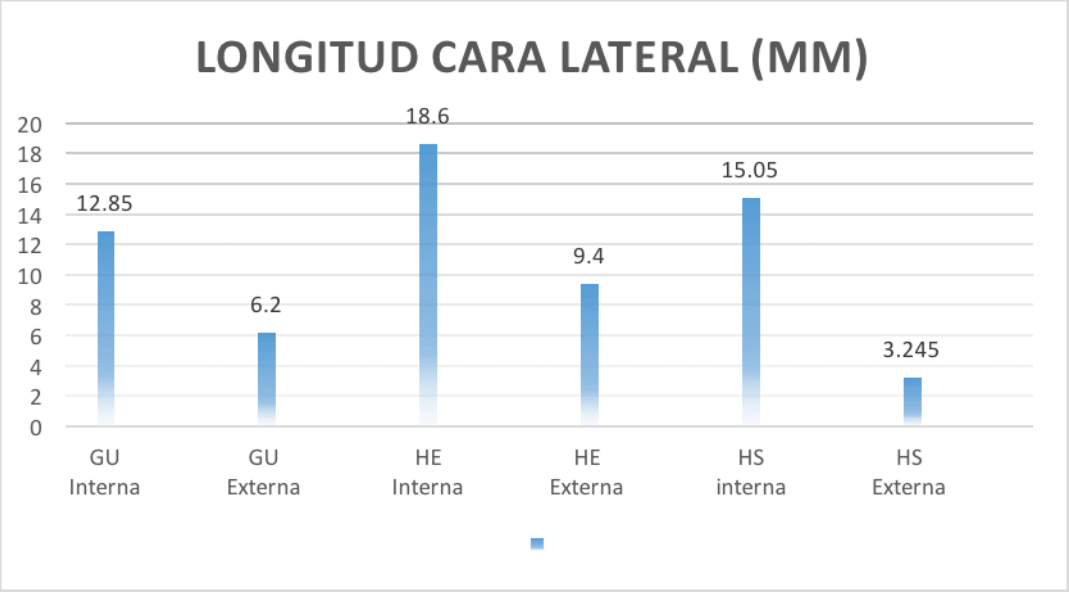


Figura 29. Gráfico del promedio del factor kt de la cara lateral.

Y en la prueba para el cemento HS de alta resistencia a los sulfatos ocurre prácticamente lo mismo, pero aunque los factores de permeabilidad kt no se incrementen en lo mínimo, para las probetas de membrana externa encontramos que la permeabilidad se encuentra entre baja y moderada con factores de 0.017 y 0.317 $x10^{-16}$ m^2 respectivamente pero que la longitud de penetración siguen marcando una diferencia con la membrana interna ya que en este caso alcanzo una permeabilidad casi superficial con 0.1 y 3.89 mm. Lo que por el contrario para la membrana interna se obtuvo un promedio de factores de permeabilidad baja con valores tope de 0.049 y 0.051 $x10^{-16}$ m^2. Y para las longitudes de penetración del aditivo alcanzo como máximo 30.3 mm que es una permeabilidad aún más profunda dentro del hormigón a comparación de las probetas anteriores.

5.2 Análisis de resistencia de las probetas.

Para el análisis de resistencia de las probetas como fueron prismáticas las probetas prismáticas o vigas para ensayos de resistencia a la tracción por flexión deben ensayarse de acuerdo con la norma ASTM C 78 Método de Ensayo de Resistencia a la Flexión Usando Viga Simple con Carga en los Tercios. Y para la resistencia por compresión se usó el esclerómetro ya que por la forma de las probetas como no son cilíndricas no se puede realizar el ensayo de acuerdo con la

norma ASTM C 39M (INEN 1573) Método de Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón.

5.2.1 Resistencia a la flexión.

La prueba a flexión según la norma ASTM C 78 Método de Ensayo de Resistencia a la Flexión se la realizo a los 28 días en el laboratorio de la UEES, luego de haber sacado las probetas de la piscina. Como se puede observar en la tabla 12 la diferencia de resistencia a flexión entre la membrana interna y externa en los tres tipos de cemento es evidente que la impermeabilización interna ayuda a que gane resistencia y según las propiedades del tipo de cemento dicho incremento cada vez es mayor. En el cemento GU existe un incremento de resistencia del 29%, en el cemento HE se incrementa en un 31% y en el cemento HS se incrementa en un 35%.

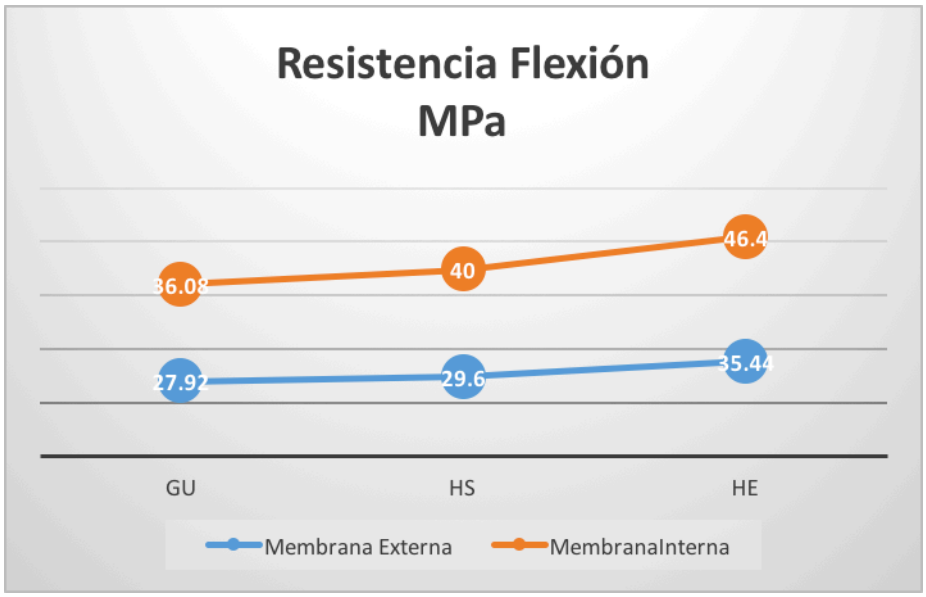


Figura 30. Gráfico de valores de resistencia a flexión.

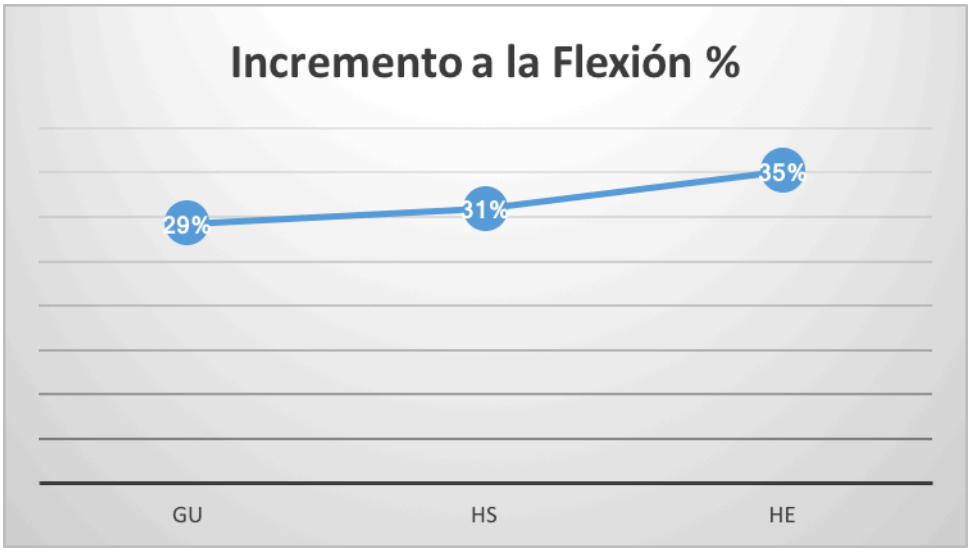


Figura 31. Grafico del porcentaje de incremento de resistencia por tipo de cemento

Tabla 13. Valores de la resistencia a flexión.

Cemento	Momento máximo	Resistencia Flexión Mpa	Incremento a la Flexión%
Gu interna	20295	36.08	29%
Gu Externa	15705	27.92	
He Interna	26100	46.4	31%
He Externa	19935	35.44	
Hs Interna	22500	40	35%
Hs Externa	16650	29.6	

A continuación en la figuras 32 y 33, se muestra como se realizó la prueba de resistencia a la flexión. Las vigas deben girarse para que las cargas se apliquen a una de sus caras laterales y deben ensayarse lo más rápido que sea posible luego de retiradas del ambiente húmedo ya que en superficies secas la probeta puede generan menores resistencias a las reales.

Figura 32 . Prueba de resistencia a la flexión a probeta de membrana externa.

Figura 33. Prueba de resistencia a la flexión a probeta de membrana interna .

5.2.2 Prueba de resistencia por esclerómetro.

Ya que las probetas de esta investigación fueron elaboradas en forma prismática (vigas) no se podía realizar el ensayo de resistencia a compresión ya que la norma ASTM C 39M (INEN 1573) Método de Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón por efecto de forma no se podía ensayar. Es por eso que se usó el esclerómetro para medir la resistencia de las probetas como se muestra en la figura 35.

Figura 34. Esclerómetro.

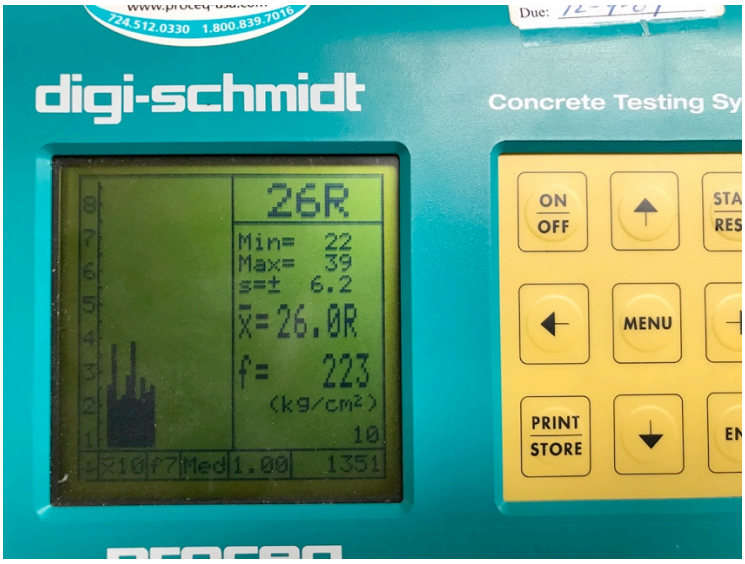


Figura 35. Datos de la resistencia de una de las probetas.

Usando el esclerómetro se pudo medir la resistencia a la compresión sin hacer la prueba de destrucción de las probetas en forma de vigas siguiendo la norma ASTM C805 (Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete). De donde se obtuvo los valores en kg/cm^2 y se lo transformo a mega pascales (MPa), dando de esta manera un resultado similar al ensayo de resistencia a la flexión en el cual según el tipo de cemento que se usó claramente la membrana interna le ayuda a ganar resistencia a la compresión.

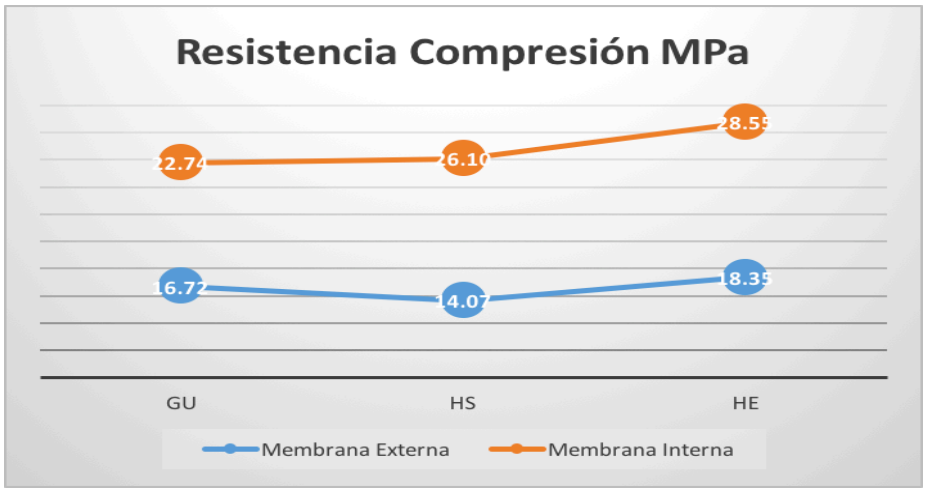


Figura 36. Gráfico de valores de resistencia a la compresión.

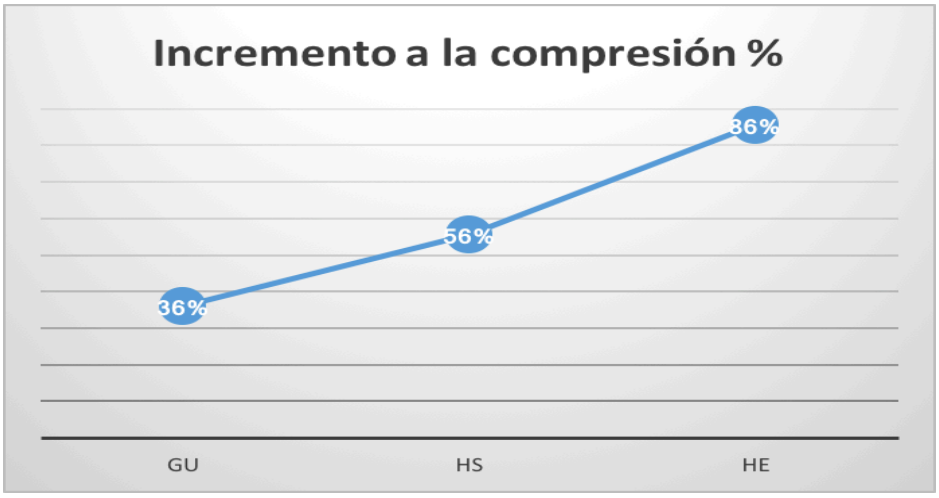


Figura 37. Grafico del porcentaje de incremento de resistencia por tipo de cemento.

Como se muestra en la tabla 14 en el cemento GU de uso general el incremento en la resistencia a la compresión es del 36%. En el ensayo realizado a la probetas de cemento HE de alta resistencia inicial la diferencia es aún mayor llegando a más de la mitad de la resistencia a la compresión entre la probeta de membrana interna y externa con un 56%. Y finalmente para el cemento HS de alta resistencia a los sulfatos se puede ver que el incremento de la resistencia a la compresión es de el 86%.

Tabla 14. Valores de resistencia a compresión por esclerómetro.

Cemento	Resistencia Compresión kg/cm2	Resistencia Compresión MPa	Incremento a la compresión %
Gu interna	223	22.74	36%
Gu Externa	164	16.72	
He Interna	280	28.55	56%
He Externa	180	18.35	
Hs Interna	256	26.10	86%
Hs Externa	138	14.07	

Y si se tiene alguna duda sobre si la prueba de resistencia del esclerómetro y de compresión pueden tener grandes diferencias, como se puede observar en la figura 38, la correlación de resistencia entre estos dos métodos no tienen una gran diferencia lo que significa que la prueba realizada por el esclerómetro nos da valores reales de la resistencia real en la probeta.

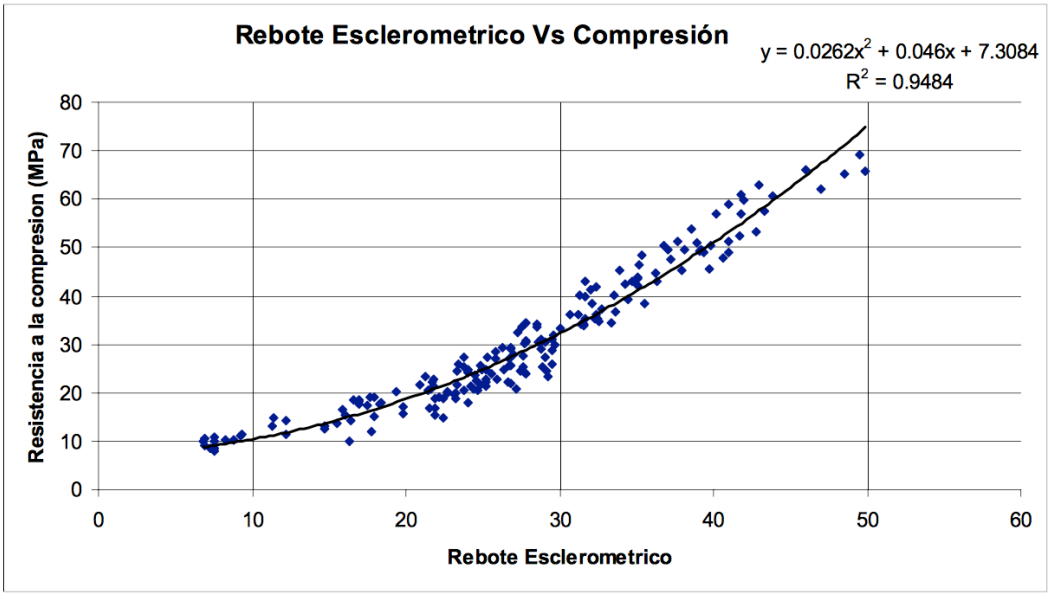


Figura 38. Correlación de la resistencia por compresión y esclerómetro.

Fuente: Tesis de grado "Correlaciones entre ensayos destructivos y no destructivos para hormigones de alta resistencia con agregados calcáreos".

5.3 Análisis de costos por método de aplicación de impermeabilizante.

Para el análisis del costo de cada método de aplicación de los aditivos de membrana interna y externa parte principalmente del tiempo de aplicación y la mano de obra, sin contar con la diferencia de precio que tengan entre los dos aditivos. Como se muestra en la tabla 15, se muestra un precio unitario para una presentación de 25kg en cada tipo de aditivo en donde la mano de obra en la membrana interna es de $0 en comparación del $1.70 por m^2 de la membrana externa que en el precio final ya puesto en obra tiene un precio final es de $5.20 y $4.90 respectivamente con una diferencia de $0.30 por m^2.

Tabla 15. Costo de membranas por cristalización.

Costo de aditivos puesto en obra por m^2					
Tipo	**$**	**kg**	**$/kg**	**M. obra $/m2**	**En obra**
Membrana Externa	80.00	25	3.2	1.70	$4.90
Membrana Interna	130.0	25	5.20	0.00	$5.20

Para el cálculo y la comparación del rendimiento se utilizó el diseño de hormigón de 290 de f'c y que en base a los pesos de los materiales empleados se pudo encontrar el 2% de aditivo del peso que dicta la especificación técnica del aditivo de membrana interna, que a diferencia de la membrana externa, este aditivo tiene un rendimiento de 1kg/m^2. Como se muestra en la tabla 16, se representa la cantidad de aditivo en kilogramos que se necesita aplicar para enlucidos (para el cual no se tomó en cuenta el agregado grueso) y para losas o cubiertas (miembros estructurales).

Tabla 16. Cantidad de aditivo por peso.

Peso kg de hormigón para 1m^3		
Tipo	**Peso kg**	**Aditivo 2%**
Enlucidos	1316	26
Losas	2364	47

En la tabla 17, se muestra el costo que tendría el aditivo de membrana interna en 1m^2 y para un espesor de 1.5cm. Ya que se diseñó para un 1m^3, se calculó la cantidad de aditivo que se necesitaría para para cubrir el 2% del peso que fueron 26kg a un precio total de $135.20. Pero para el enlucido solo se necesita 0.015m^3, es decir que para enlucir 1m^2 el costo final es de $2.03.

Tabla 17. Costo para 1m^2 y 1cm de espesor.

Rendimiento para 1 m2 para enlucidos			
m3	**kg**	**$**	**kg/$**
1	26	$5.20	$135.20
0.015	0.39	$5.20	$2.03

En la tabla 18, se muestra el cálculo del costo que tendría implementar el aditivo de membrana interna el cual puede ser utilizado para losas, cubiertas o miembros estructurales en general. Para 1 m^3 se calculó 47kg de aditivo y de esta manera cumplir con el 2%, dando esto un valor de $244.40. Y para la membrana externa, como no se la utiliza dentro de la mezcla de hormigón se la puede aplicar en cualquier superficie. De esta manera su costo de aplicación por m^2 es de $4.90

y como la norma específica que deben ser 2 capas, finalmente el costo real de aplicación es de $9.80 por m^2(Tabla15).

Tabla 18. Costo para 1m^3.

Rendimiento para losas y cubiertas			
m^3	**kg**	**$**	**kg/$**
1	47	$5.20	$244.40
0.1	4.7	$5.20	$24.44

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones.

Para la elaboración de este trabajo se partió de la necesidad de saber cuáles son las consecuencias o cambios que podrían sufrir los miembros estructurales en su resistencia y permeabilidad, con el implemento de membranas de impermeabilización por cristalización interna y externa en las condiciones de humedad de nuestro medio. Además de comprobar la diferencia del costo benéfico que puede tener la aplicación de cualquiera de los dos métodos para evitar las consecuencias anteriormente mencionadas que trae la baja impermeabilización de los miembros estructurales.

Al comparar los dos tipos de aditivos de impermeabilización por cristalización de membrana interna que es el aditivo que va mezclado con el hormigón y el de membrana externa con aplicación de brocha o soplete, se pudo evaluar que el aditivo de membrana interna tiene una impermeabilización más profunda en la longitud de penetración y que los factores kt de las probetas según la escala de permeabilidad sacando un promedio de toda se pudo comprobar que tenían una baja permeabilidad. Mientras que para las probetas de membrana externa a pesar que sus factores de permeabilidad kt estaban entre "bajo y moderado" según la escala, las longitudes de penetración del aditivo no eran muy significativas ya que el aditivo no podía abarcar grandes distancias con los cristales por el mismo método de aplicación que es de afuera hacia adentro. Para el cemento GU de uso general los factores de permeabilidad y longitud penetración arrojados por la prueba Torrent tenían unos valores de 0.03 y 15mm respectivamente, pero para los cementos HS de alta resistencia a los sulfatos y HE de alta resistencia inicial los valores se incrementaron debido a las propiedades de los mismo, es decir que el aditivo de membrana interna se adapta favorablemente.

En las pruebas de resistencia a la flexión y compresión (que este caso se lo hizo por medio de esclerómetro por la forma de la probetas) se encontró que:

- Para la prueba de resistencia a la flexión la membrana interna para un cemento GU aumenta la resistencia en un 29% en comparación

con la membrana externa. Para el cemento HE la resistencia aumenta en un 31% y en la probetas de cemento HS la resistencia promedio de aumento fue de un 35%.

- Para la prueba de resistencia por esclerómetro la membrana interna para un cemento GU registro un aumento de resistencia en un 36% en comparación con la membrana externa. Pero lo que sucede con la comparación de los cementos HE y HS es que el aumento es muy considerable ya que alcanzaron 56% y 85 mas resistencia según la prueba de golpe.

Esto quiere decir que la implementación de in aditivo impermeabilizante por cristalización que su función es reaccionar con las particular de agua y crear cristales en el hormigón cambia las propiedades de resistencia y permeabilidad del hormigón pero favorablemente.

En el análisis del costo de aplicación evidentemente el valor de la membrana externa va a ser menor que el de la membrana interna. Primero porque es una tecnología nueva que en el momento no le provoca un ahorro en la obra pero si viendo el costo beneficio a largo plazo, este le ahorraría mucho más que la diferencia de $0.30 centavos que en el momento existe en la aplicación. Y que más que el costo le brinda mayores beneficios a la construcción como se mencionó anteriormente en permeabilidad y resistencia.

6.2 Recomendaciones.

- Se recomienda para futuros análisis de permeabilidad se puede someter probetas de hormigón a diferentes tipos de agua, ya sea esta salada o de estero que son las que más abundan en nuestro medio y en muchos de los casos por ahorro son utilizadas pero no se tiene un informe técnico de la consecuencias que este pueda traer.

- Es fundamenta empezar a utilizar este tipo de materiales dentro de nuestro medio, ya que se pueden evitar varios problemas que en la actualidad son evidentes en varias construcciones por la baja permeabilidad que las estructuras tienen.

- Trabajar con aditivos de membrana interna por cristalización además de evitar el paso de humedad y su costo un poco superior a los que existe en el mercado, alarga la duración de la estructura y eso en términos económicos es un ahorro.

Capítulo VII
Bibliografía

Citas bibliográficas.

AENOR. (24 de 10 de 2014). Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión. *UNE-EN 12390-8:2009*. Obtenido de http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0043984#.WFEBqneZOjQ

Eddy.h. (14 de Marzo de 2014). *Notas de concreto*. Obtenido de Notas de concreto: http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/permeabilidad-y-estanquidad-del_08.html

HEAD, K. (2011). *Manual of soil laboratory testing. Vol. 2, Permeability, shear strength and compressibility tests.* Czech.

Merino, F. R. (s.f.). *Efectos de la impermeabilidad de hormigones con un alto contenido de finos.*

MORENO, R. S.-C. (2006). Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo. Merida, Yucatan, Mexico.

SIKA. (s.f.). *SikaSeal 250 Migrating Mortero de impermeabilización por cristalización de la red capilar.* SIKA, Guayaquil.

Solís, R. M. (2006). *Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo, Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V.* (Vol. Vol. 21).

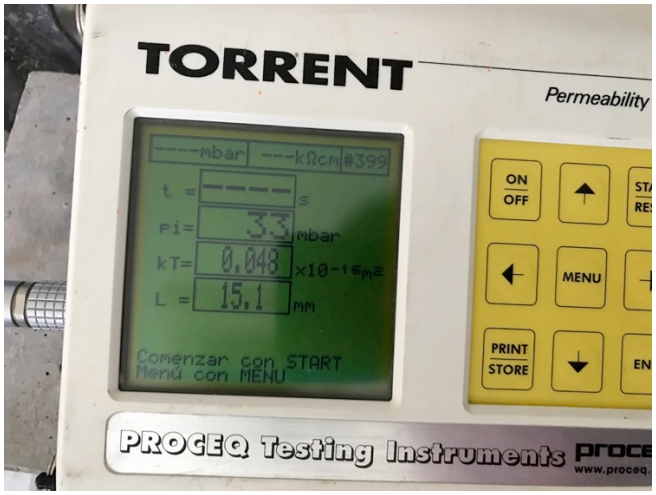
Torrent, R. (1992). *Materials and Structures.*

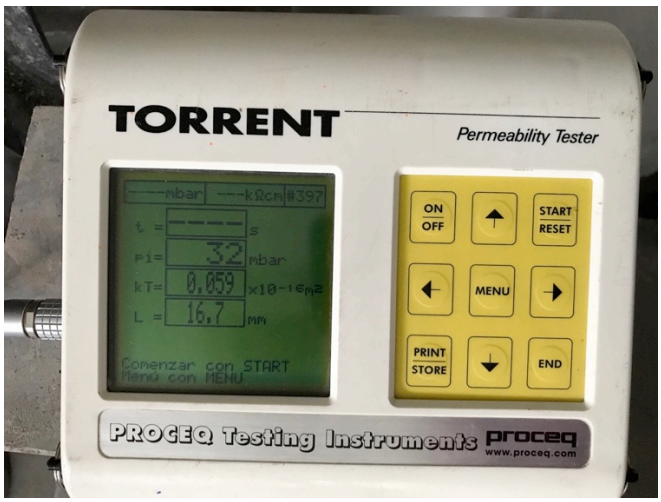
Torrent, R. (2010). *Permeability tester Torrent.* Schwerzenbach.

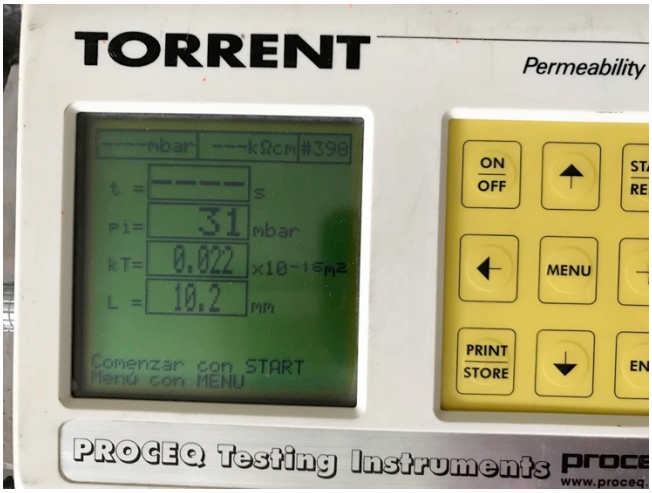
Capítulo VIII

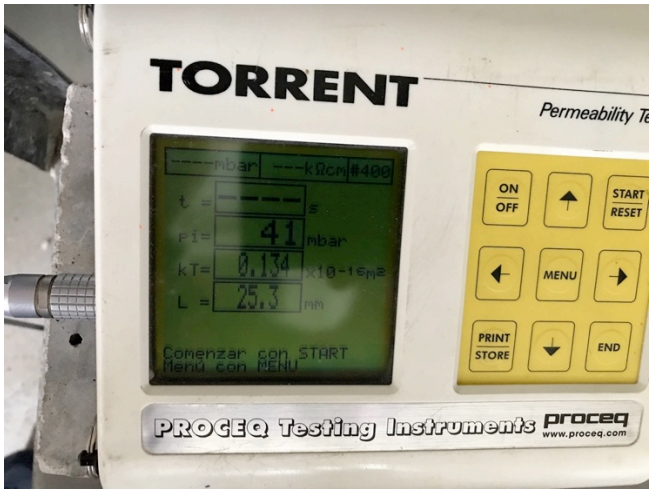
Anexos

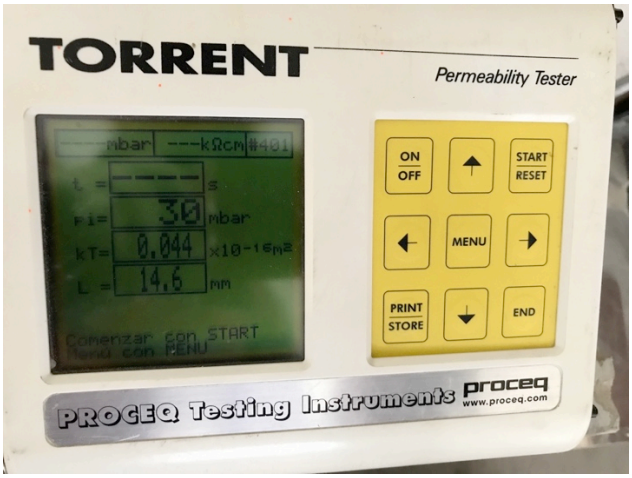
Resultados de la prueba de permeabilidad Torrent.

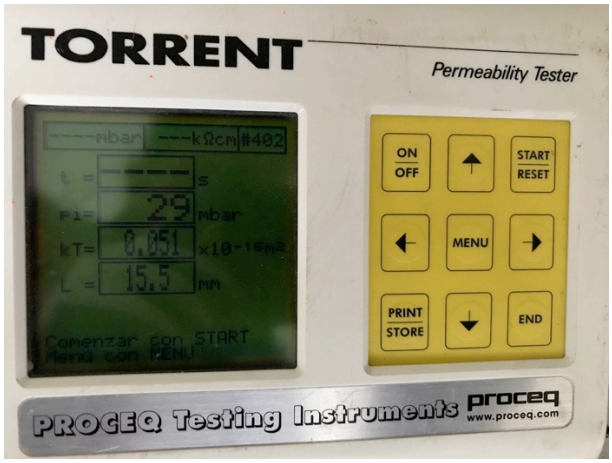


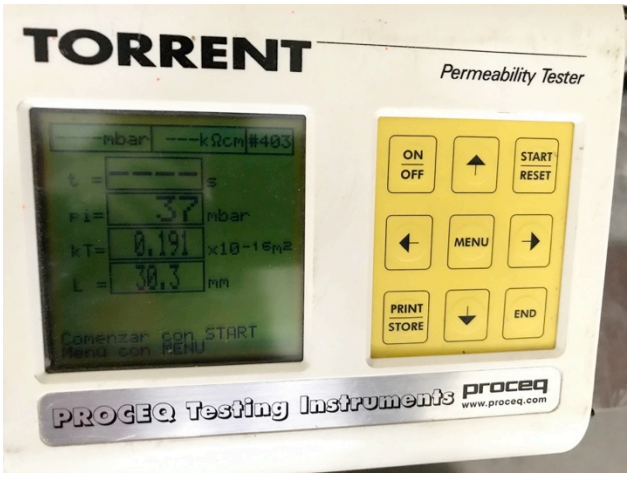



TORRENT
Permeability
mbar
kΩcm
#398
t =
s
Pi=
31
mbar
kT=
0.022
x10-16m2
L =
10.2
mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON
OFF
MENU
PRINT
STORE
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.

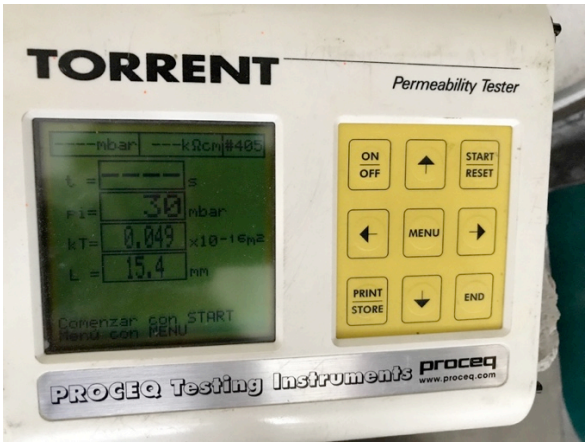

TORRENT
Permeability Te
mbar
kΩcm
#400
t =
s
Pi=
41
mbar
kT=
0.134
x10-16m2
L =
25.3
mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON
OFF
START
RESET
MENU
PRINT
STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

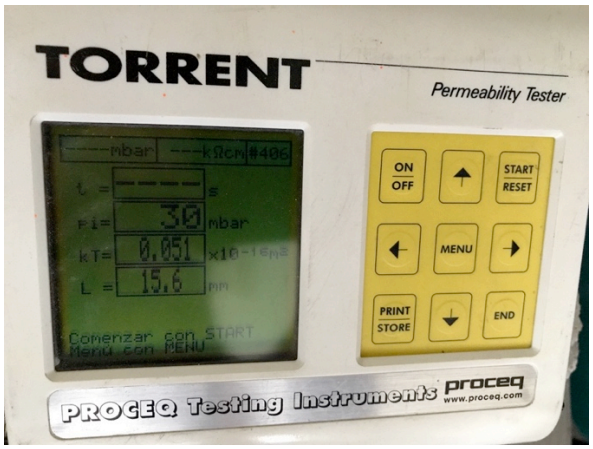

TORRENT
Permeability Tester
mbar
kΩcm
#401
t =
s
Pi=
30
mbar
kT=
0.044
x10-16m2
L =
14.6
mm
Comenzar con START
ON
OFF
START
RESET
MENU
PRINT
STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

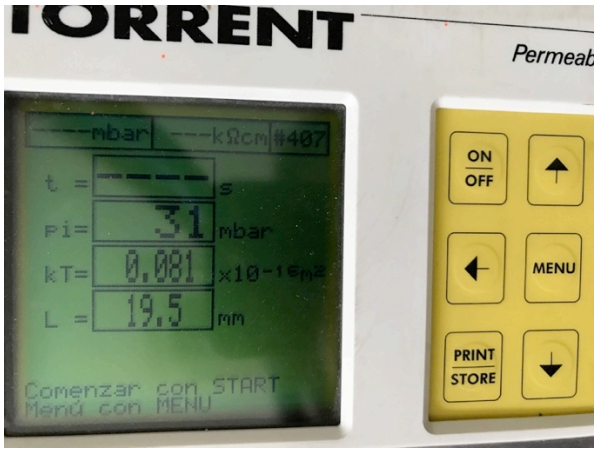

TORRENT
Permeability Tester
---mbar ---kΩcm #402
t = ----- s
Pi= 29 mbar
kT= 0.051 x10-16m2
L = 15.5 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

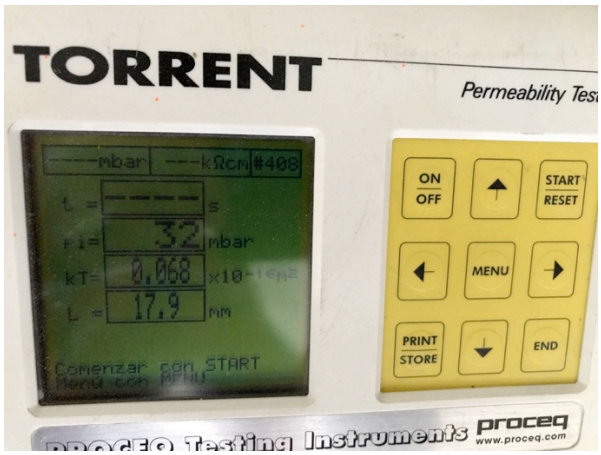

TORRENT
Permeability Tester
---mbar ---kΩcm #403
t = ----- s
Pi= 37 mbar
kT= 0.191 x10-16m2
L = 30.3 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

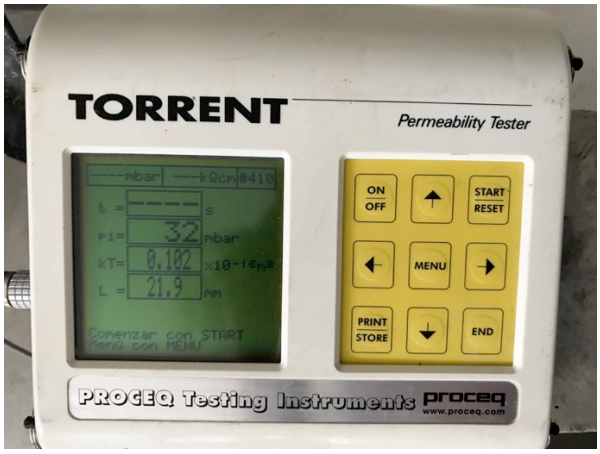
TORRENT
Permeability Tester
---mbar ---kΩcm #404
t = ----- s
Pi= 30 mbar
kT= 0.044 x10-16m2
L = 14.5 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

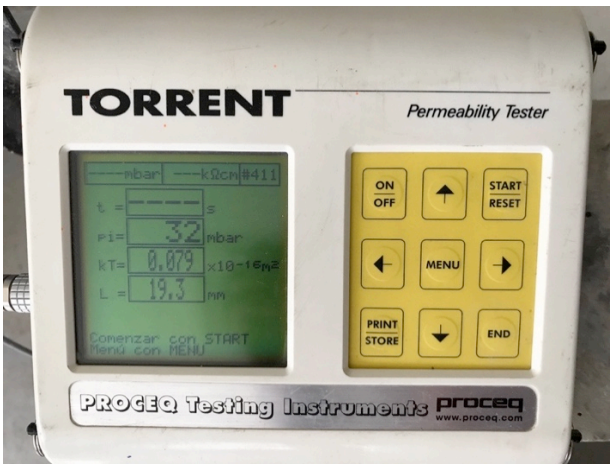

TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #405
t = ----- s
Pi= 30 mbar
kT= 0.049 x10-16m2
L = 15.4 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

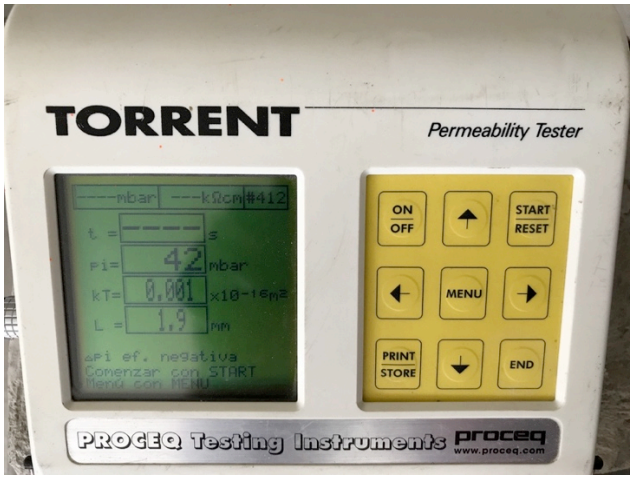

TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #406
t = ----- s
Pi= 30 mbar
kT= 0.051 x10-16m2
L = 15.6 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

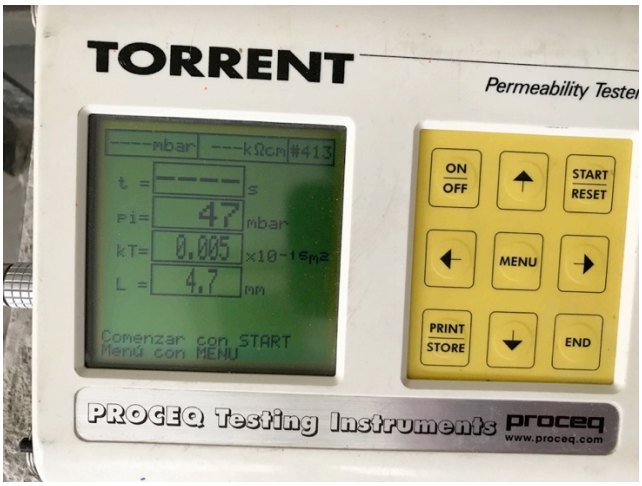

TORRENT
Permeab
----mbar ---kΩcm #407
t = ----- s
Pi= 31 mbar
kT= 0.081 x10-16m2
L = 19.5 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
MENU
PRINT STORE

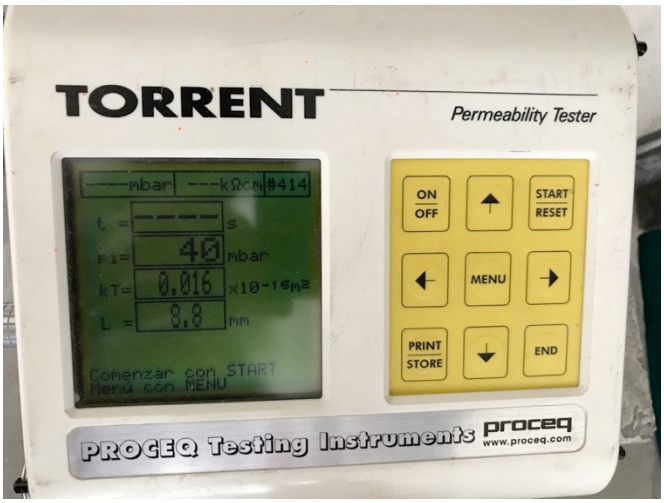

TORRENT
Permeability Tes
----mbar ---kΩcm #408
t = ----- s
pi= 32 mbar
kT= 0.068 x10-16m2
L = 17.9 mm
Comenzar con START
Menu con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

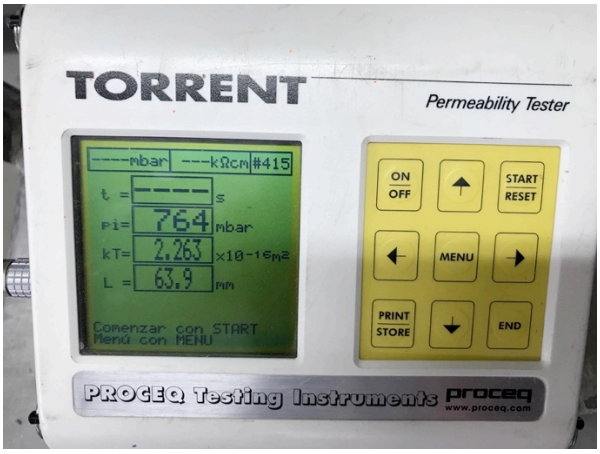

TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #410
t = ----- s
pi= 32 mbar
kT= 0.102 x10-16m2
L = 21.9 mm
Comenzar con START
Menu con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

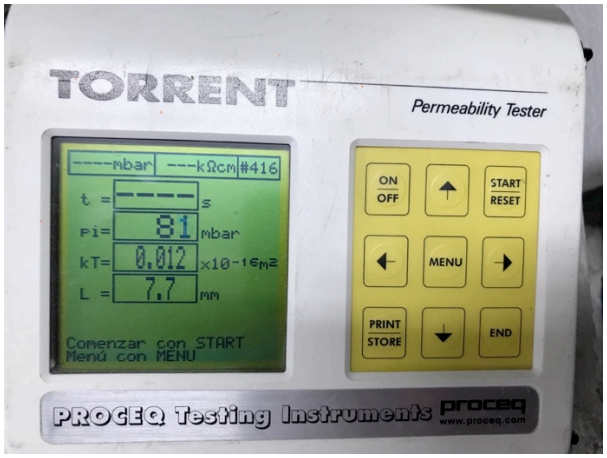

TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #411
t = ----- s
pi= 32 mbar
kT= 0.079 x10-16m2
L = 19.3 mm
Comenzar con START
Menu con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

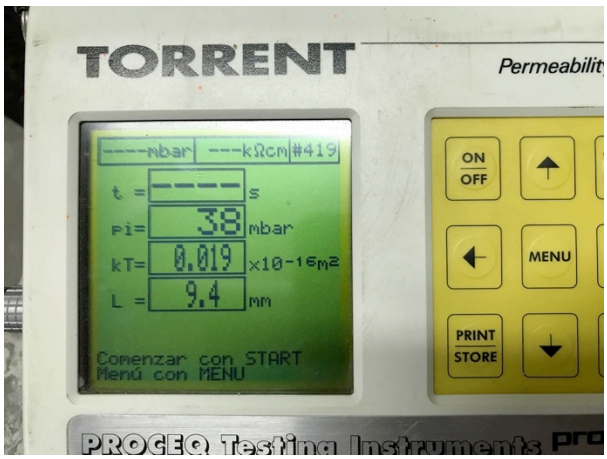

TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #412
t = -----s
Pi= 42 mbar
kT= 0.001 x10-16m2
L = 1.9 mm
ΔPi ef. negativa
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

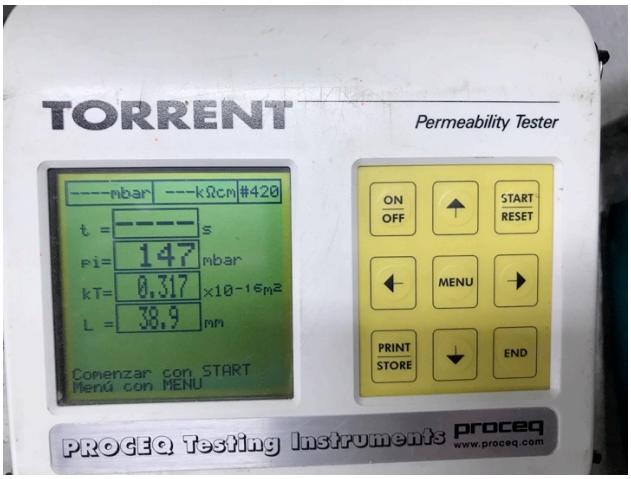

TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #413
t = -----s
Pi= 47 mbar
kT= 0.005 x10-16m2
L = 4.7 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

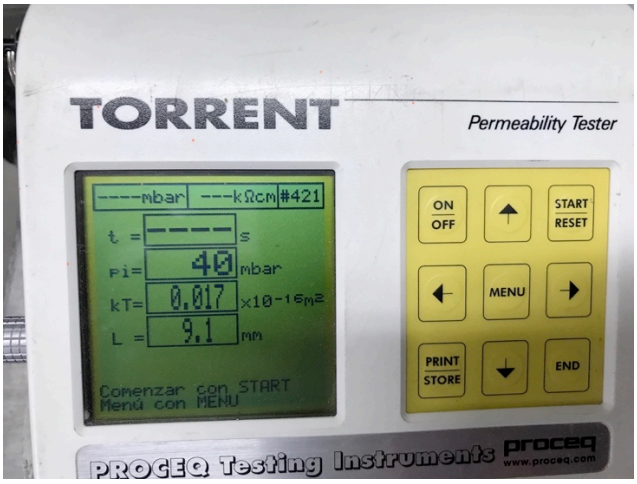

TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #414
t = -----s
Pi= 40 mbar
kT= 0.016 x10-16m2
L = 8.8 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com


TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #415
t = ----- s
Pi= 764 mbar
kT= 2.263 x10-16m2
L = 63.9 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

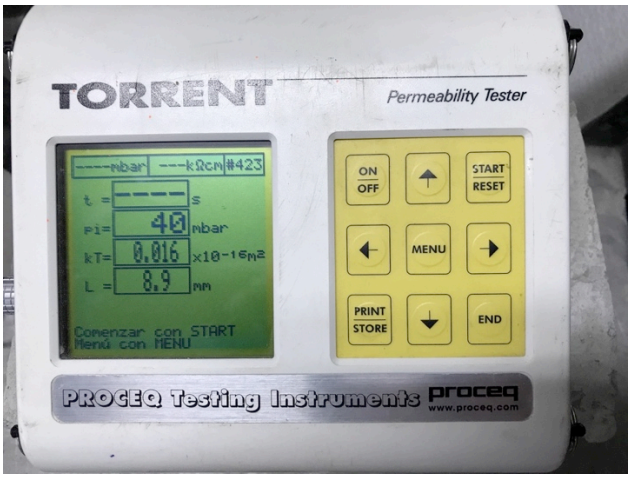

TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #416
t = ----- s
Pi= 81 mbar
kT= 0.012 x10-16m2
L = 7.7 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

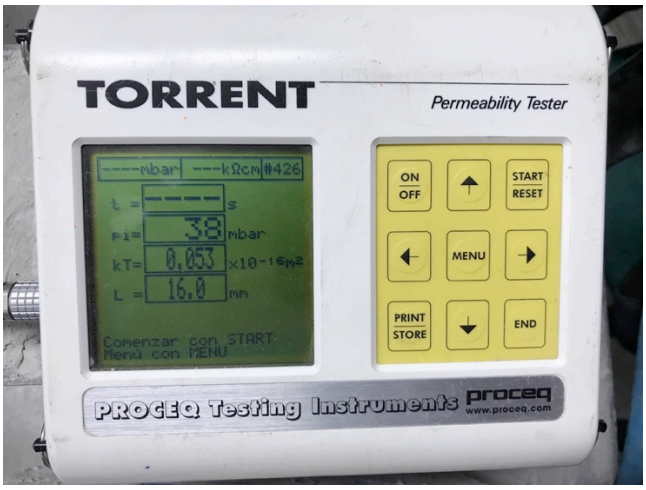

TORRENT
Permeabilit
----mbar ---kΩcm #419
t = ----- s
Pi= 38 mbar
kT= 0.019 x10-16m2
L = 9.4 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
MENU
PRINT STORE
PROCEQ Testing Instruments

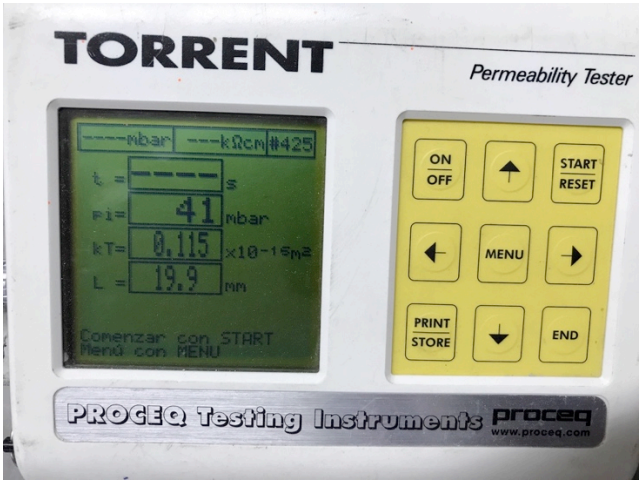

TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #420
t = ----- s
Pi= 147 mbar
kT= 0.317 x10-16m2
L = 38.9 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com


TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #421
t = ----- s
Pi= 40 mbar
kT= 0.017 x10-16m2
L = 9.1 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #422
t = ----- s
Pi= 45 mbar
kT= 0.001 x10-16m2
L = 2.6 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com


TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #423
t = ----- s
Pi= 40 mbar
kT= 0.016 x10-16m2
L = 8.9 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

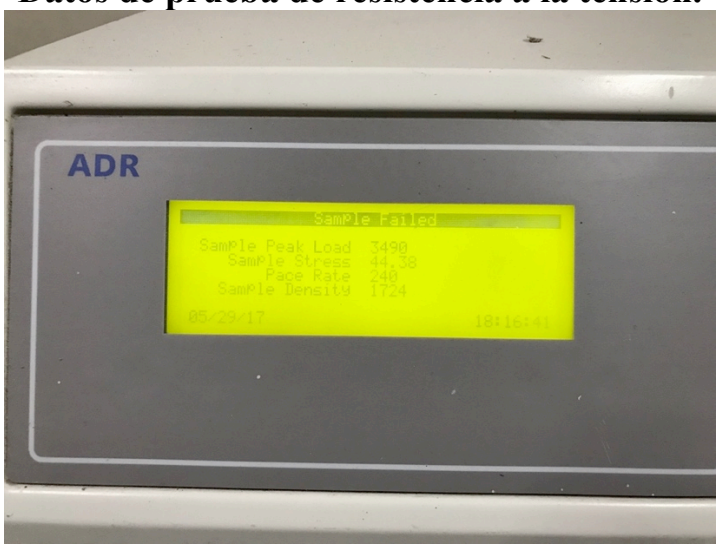

TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #426
t = ----- s
Pi= 38 mbar
kT= 0.053 x10-16m2
L = 16.0 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com


TORRENT
Permeability Tester
----mbar ---kΩcm #425
t = ----- s
Pi= 41 mbar
kT= 0.115 x10-16m2
L = 19.9 mm
Comenzar con START
Menú con MENU
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
PROCEQ Testing Instruments
proceq
www.proceq.com

USO OBLIGATORIO

TORRENT

Datos de prueba de resistencia a la tensión.

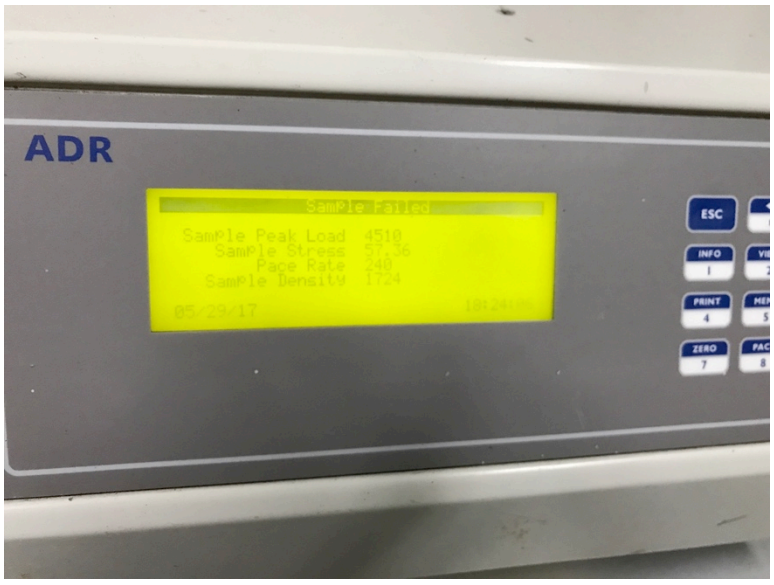


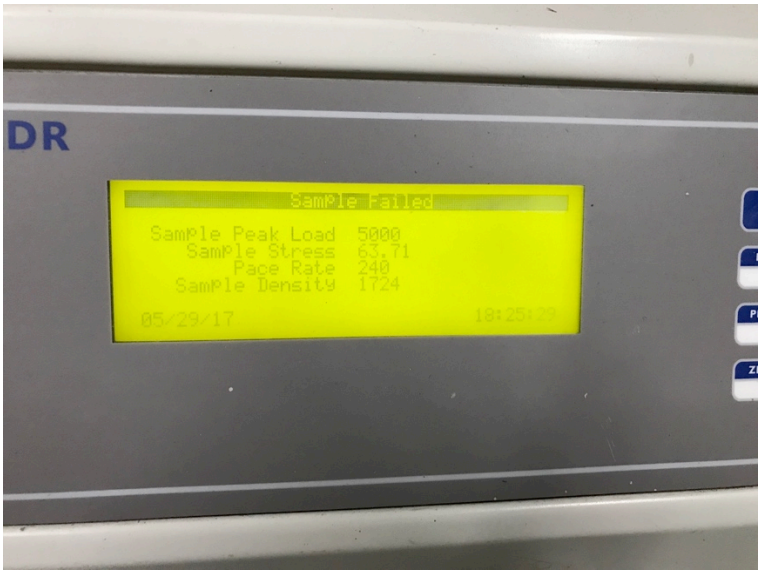
ADR
ELE
International

ADR
ELE
International

Sample Failed
Sample Peak Load 4479
Sample Stress 53.42
Pace Rate 240
Sample Density 1724
05/29/17
ESC
CLR
INFO
VIEW
PRINT
MENU
ZERO
PACE
SAMPLE

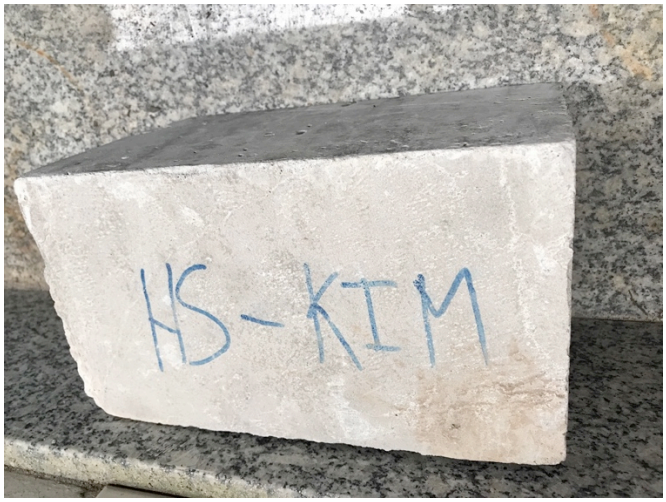
ADR
Sample Failed
Sample Peak Load 3700
Sample Stress 47.10
Pace Rate 240
Sample Density 1724
05/29/17
ESC
INFO
PRINT
ZERO


ADR
Sample Failed
Sample Peak Load 4510
Sample Stress 57.36
Pace Rate 240
Sample Density 1724
05/29/17
ESC
INFO
PRINT
ZERO

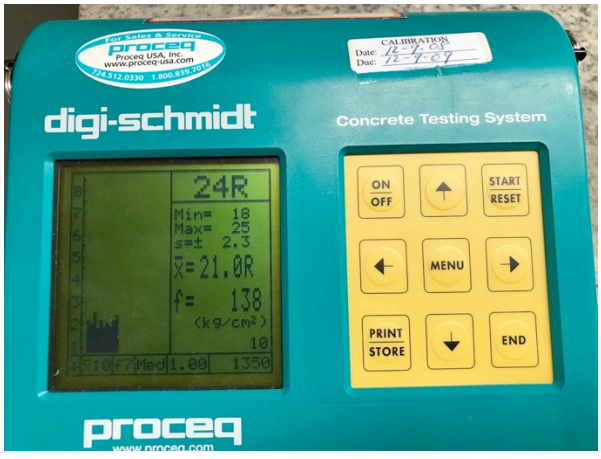

DR
Sample Failed
Sample Peak Load 5000
Sample Stress 63.71
Pace Rate 240
Sample Density 1724
05/29/17

ADR
Sample Failed
Sample Peak Load 5800
Sample Stress 73.88
Pace Rate 240
Sample Density 1724
05/29/17
ESC
INFO
VIEW
PRINT
MENU
ZERO
PACE
SAMPLE

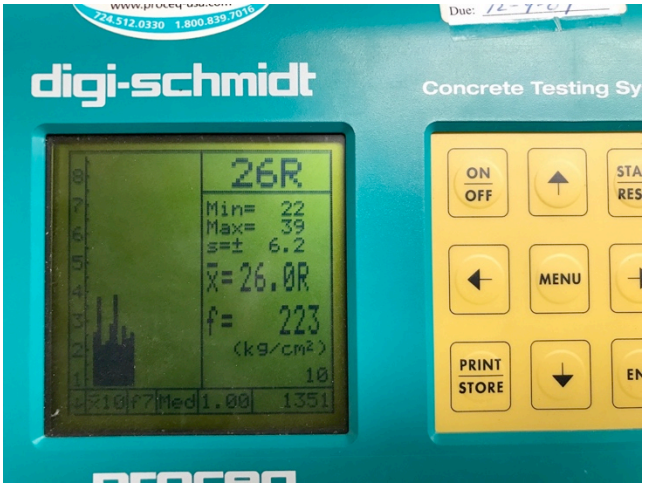
Datos de la prueba de rebote por esclerómetro.

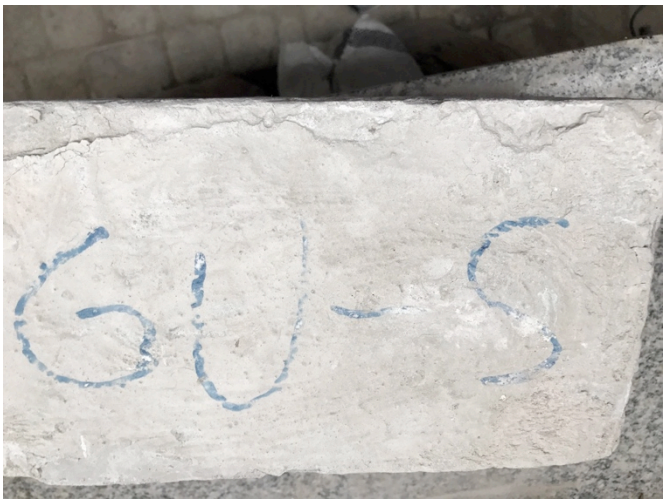

HS-KIM

HS-S


digi-schmidt
Concrete Testing System
CALIBRATION
Date: 12-7-06
Due: 12-7-07
24R
Min= 18
Max= 25
s=± 2.3
X̄=21.0R
f= 138
(kg/cm²)
10
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
proceq

GU-KIM


724.512.0330 1.800.839.7016
digi-schmidt
Concrete Testing Sy
26R
Min= 22
Max= 39
s=± 6.2
X̄= 26.0R
f= 223
(kg/cm²)
10
ON
OFF
MENU
PRINT
STORE


GU-S

digi-schmidt
Concrete Testing System
ON OFF
START RESET
MENU
PRINT STORE
END
proceq
www.proceq.com