

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE MEDICIÓN DE LA  
RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PENETRACIÓN DE CLORUROS SEGÚN  
LA NORMA ASTM C-1202**

**CESAR OCTAVIO CANTILLO PIRAQUIVE  
MAURICIO FUENTES HERNÁNDEZ**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
BOGOTA, D.C.  
2.014**

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE MEDICIÓN DE LA  
RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA PENETRACIÓN DE CLORUROS SEGÚN  
LA NORMA ASTM C-1202**

**CESAR OCTAVIO CANTILLO PIRAQUIVE  
MAURICIO FUENTES HERNÁNDEZ**

**Trabajo de Grado Presentado para Optar al Título de Ingeniero Civil**

**ASESOR DISCIPLINAR:** Lucio Guillermo López Yépez I.C. Msc.

**ASESOR METODOLOGICO:** Roy W. Morales Lic. Msc.

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
BOGOTA, D.C.  
2.014**

## 1. TABLA DE CONTENIDO

4.	LISTA DE ANEXOS .....	7
6.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
7.	ANTECEDENTES .....	11
8.	OBJETIVOS .....	13
8.1.	OBJETIVO GENERAL .....	13
8.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
9.	JUSTIFICACION .....	14
10.	MARCO DE REFERENCIA.....	16
10.1.	MARCO CONCEPTUAL.....	16
10.1.1.	Teoría Química .....	16
10.1.2.	Reacción Química al interior del Concreto.....	16
10.1.3.	Durabilidad del Concreto.....	17
10.1.4.	Definición de la vida de servicio.....	18
10.1.5.	La humedad en el concreto.....	18
10.1.6.	La humedad y los procesos de deterioro .....	20
10.1.7.	Mecanismos de Transporte a Través del Concreto .....	22
10.1.8.	Cloruros en el Concreto Reforzado.....	24
10.1.9.	Ensayo realizados en el Concreto Reforzado .....	25
10.1.10.	Teoría Electrónica.....	26
10.2.	MARCO LEGAL.....	31
11.	MARCO METODOLÓGICO .....	33
11.1.	Fases de la Investigación .....	33
11.2.	DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACION DE VARIABLES .....	34
11.3.	Tiempo.....	34
11.4.	Potencial Eléctrico .....	34
11.5.	Carga total .....	34
11.6.	Temperatura .....	34
11.7.	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	35
11.8.	Parámetros Electrónicos .....	35

11.9.	PARÁMETROS TÉCNICOS.....	38
11.9.1.	Diseño de mezcla. ....	38
12.	RESULTADOS.....	40
13.	ANÁLISIS RESULTADOS.....	41
14.	CONCLUSIONES .....	43
15.	ANEXOS .....	44
16.	BIBLIOGRAFÍA .....	47

## 2. LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Representación Esquemática del Proceso de Corrosión del Acero.....	17
Figura 2 Curvas de Desorción .....	19
Figura 3 Perfil de Humedad del Concreto vs. Calidad .....	20
Figura 4 Límite Crítico de Humedad y Cambio de la muestra .....	22
Figura 5 Esquema ensayo RCPT .....	26
Figura 6. Esquema electrónico fuente de poder. ....	36
Figura 7 Esquema Circuito Electrónico Interface de Comunicación .....	37
Figura 8 Esquema Electrónico de Control .....	38

### 3. LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Determinación de la penetración de cloruro según la cantidad de carga en Coulomb .....	32
Tabla 2. Hoja de cálculo diseño de mezcla.....	39
Tabla 3 Análisis de Calibración Dispositivo RCPT.....	42

#### 4. LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Resultados del Ensayo RCPT realizado en la maquina Proove'it, propiedad de la Universidad Nacional Colombia. ....	44
Anexo 2 Resultados del Ensayo RCPT realizado en la Maquina propiedad de la Asociación Colombiana de Productores de Concreto ASOCRETO.....	45
Anexo 3 Resultados del Ensayo RCPT realizado en el dispositivo electrónico diseñado en este trabajo de investigación, para la Universidad La Gran Colombia. ....	46

## 5. LISTA DE ABREVIATURAS

Para los propósitos de este documento se utilizan las siguientes abreviaturas:

<b>A/D</b>	Analógico / Digital
<b>AASHTO</b>	American Association of State Highway and Transportation Officials
<b>ASTM</b>	American Standard Testing of Materials
<b>CAN</b>	Controller Área Network
<b>CC</b>	Corriente Continua
<b>E/S</b>	Entrada / Salida
<b>HR</b>	Humedad Relativa
<b>LCD</b>	Liquid Crystal Display
<b>LED</b>	Light Emitting Diode
<b>NT BUILD</b>	NordTest Build
<b>PIC</b>	Programmable Integrated Circuit
<b>Pn</b>	Polo Negativo
<b>Pwm</b>	Pulse with modulation
<b>RCPT</b>	Resistance Cholride Penetration Test
<b>UART</b>	Adaptador de Comunicación Serie Asíncrona
<b>USART</b>	Adaptador de Comunicación Serie Síncrona y Asíncrona
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>We</b>	Water Evaporates (Agua Evapodara)



## 6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los avances relacionados con la patología del concreto, han hecho necesaria la implementación de nuevas formas de ensayo para estos, colocándolo en situaciones extremas, para conocer su comportamiento y parámetros que puedan suministrar datos y hacer cada vez más exigente las características optimas en las estructuras que empleen este tipo de material.

Uno de los ensayos que hoy día tiene gran relevancia en lo que respecta a patología en el concreto, es la penetrabilidad del ion cloruro o la resistencia del concreto a los ataques del ion cloruro, que a nivel mundial ha sido tema de varios estudios por los efectos que tienen estos iones en las estructuras de concreto reforzado, ocasionando el deterioro, disminuyendo su vida útil y afectando la seguridad estructural.

En el concreto reforzado el acero se encuentra protegido por una capa de concreto que recibe el nombre de recubrimiento, este sirve de barrera física protectora, para evitar el ataque directo de agentes externos, el concreto también actúa como barrera química durante el proceso de hidratación del cemento que es el material aglutinante al reaccionar con el agua durante la mezcla. Ahora bien, la permeabilidad de esta capa de concreto que protege al acero de refuerzo no es perfecta, debido a variables tales como el proceso de mezcla, aditivos utilizados, diseño de mezcla y proceso de vaciado, por lo general en su estructura se generan poros por donde pueden penetrar agentes que pueden afectar la capa pasiva del acero y generar una reacción química.

Distintas normas han planteado formas de medir dicha penetrabilidad o resistencia a la que se encuentran expuestas las estructuras, algunas de estas como la NT BUILD-492 que se encarga de medir la penetrabilidad del cloruro en el concreto o la norma ASTM C-1202 que permite conocer los parámetros para medir la resistencia del concreto a la penetración del ion cloruro. Esta última norma da a conocer parámetros específicos y precisos para realizar este ensayo, en el cual se hace necesario tener un equipo de medida de corriente y tiempo para determinar el rango de penetrabilidad de la muestra en estudio.

En Colombia la patología en el concreto ha tenido auge en los últimos años y la penetrabilidad es uno de ellos. Instituciones de estudios superiores como la Universidad Nacional de Colombia, La Universidad de los Andes y La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito son las únicas instituciones que cuentan con el equipo para realizar este ensayo, debido principalmente al costo del equipo para realizar esta prueba, razón por la cual se plantea la creación de un prototipo electrónico para medir la resistencia del concreto a la

penetración de cloruros en el concreto, según los parámetros y lineamientos estipulados en la norma ASTM C-1202.

## 7. ANTECEDENTES

No se registran antecedentes en relación a dispositivos electrónicos para medir la resistencia del concreto a la penetración del ion cloruro en Colombia, sin embargo vale la pena mencionar los diferentes estudios que se han realizado para determinar la resistencia del concreto a la penetración del ion cloruro con el fin de mostrar la importancia que tiene en Colombia, en este campo se cuenta con temas de investigación relacionados a continuación. En la Universidad La Gran Colombia se desarrolló un proyecto que guarda relación con el tema de investigación de este trabajo, el Título de la Investigación es **“Influencia del ion cloruro en la durabilidad del concreto reciclado con distintas relaciones agua cemento y diferentes porcentajes de agregado reciclado”**. El objetivo primordial de este trabajo era plantear una estrategia de sostenibilidad en la construcción, buscando reemplazar total o parcialmente el agregado por material reciclado. Se realizaron ensayos de resistencia a la penetración de cloruros, dentro de los cuales se determinaron la resistencia y durabilidad del concreto arrojando los siguientes resultados:

- a) El concreto fabricado al 100% con agregado reciclado mejora sus propiedades físicas de resistencia mecánica.
- b) Por otra parte la resistencia a la penetración del ion cloruro es superior comparada con la resistencia del concreto tradicional.

En la Universidad Nacional de Colombia se ha venido trabajando durante un periodo de tiempo prolongado, patologías en el concreto, dentro de las cuales destacamos algunos trabajos de investigación como lo son: **“Influencia del porcentaje de adición de la micro sílice y del tipo de curado, en la penetración del ion cloruro en el concreto de alto desempeño”**<sup>1</sup>. Este trabajo plantea la búsqueda de una dosificación adecuada y óptima para obtener un concreto de alta resistencia a la penetración del ion cloruro teniendo en cuenta diferentes porcentajes de adición de micro sílice, las pruebas se realizaron por medio de ensayos de migración normal y Resistencia del Concreto a la Penetración de Cloruros **RCPT**. Esta investigación arrojó los siguientes resultados:

- a) El tipo de curado al que se someta el concreto, influye de manera directa en la resistencia del concreto de alto desempeño a la

---

<sup>1</sup> LÓPEZ YÉPEZ, Lucio Guillermo, Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia –Maestría en Estructuras, Título: Influencia del porcentaje de adición de la micro sílice y del tipo de curado, en la penetración del ion cloruro en el concreto de alto desempeño, (2011).

penetración de cloruros, en los concretos curados por inmersión se observó menor porcentaje de penetración de cloruros.

- b) Los ensayos de RCPT mostraron que el aumento de los porcentajes de adición de micro sílice permiten un mejor desempeño y resistencia del concreto al ion cloruro, comparado con los concretos sin este aditivo.

Y “**Optimización de las Propiedades de Transporte Iónico del Concreto y simulación del ensayo ASTM C-1202**”. Este trabajo realizó la Simulación computacional del flujo de iones presentes en el ensayo ASTM C-1202, por medio de un esquema de diferencias finitas, mediante la ecuación de Nerst-Planck en un campo eléctrico variable. Del trabajo de investigación se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

- c) Para las curvas obtenidas el potencial de membrana varía en función del tiempo y su localización.
- d) La optimización del modelo numérico permitió simular la distribución de corriente y propiedades del transporte iónico en el concreto.

En la Universidad Autónoma de México (UNAM) se realizó un trabajo de investigación acerca de la corrosión en el acero de refuerzo y los efectos que este genera al interior del concreto, el título de la investigación, “**Análisis por elementos finitos de los esfuerzos expansivos por corrosión en las estructuras de concreto reforzado**”.<sup>2</sup> En este trabajo de investigación se modela el problema de los esfuerzos y deformaciones que se producen por el acero corroído a su alrededor, a partir de un ensayo sobre un cilindro de concreto sometido a corrosión acelerada, midiendo de manera indirecta por medio de instrumentos la presión en la interface acero-concreto. Se utiliza un software comercial de elementos finitos llamado ANSYS. De las actividades realizadas se llegó a las siguientes conclusiones:

- a) Es factible modelar el efecto mecánico de la corrosión del acero de refuerzo en las estructuras de concreto reforzado, por medio del uso de elementos finitos.
- b) El efecto de los esfuerzos de expansión producidos por el aumento de los óxidos alrededor del acero de refuerzo, se puede representar como un elemento estructural que es obligado a ocupar un volumen mayor que el ocupado originalmente, cuando se encuentra embebido en el concreto.

---

<sup>2</sup> CASTORENA-GONZÁLEZ, J.H.; ALMERAYA-CALDERÓN, F.; ALMARAL-SÁNCHEZ, J.L.; CALDERÓN-GUILLÉN, J.A.; GAONA-TIBURCIO, C.; MARTÍNEZ-VILLAFANE, A. "Análisis con elementos finitos de los esfuerzos expansivos por corrosión en las estructuras de concreto reforzado". Ingeniería. Investigación y Tecnología 1 (2011): 1-7. Recuperado Diciembre 2013, Disponible en Internet.

## **8. OBJETIVOS**

### **8.1. OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar un prototipo electrónico que mida la resistencia del Concreto a la penetración del Ion cloruro, según la norma ASTM C-1202.

### **8.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Estructurar la arquitectura electrónica del prototipo para medir la penetrabilidad del Ion Cloruro en el Concreto.
- Validar el prototipo electrónico por medio de comparación de resultados con máquinas aprobadas para la realización de este ensayo.

## 9. JUSTIFICACION

En el marco del mundo moderno, uno de los factores para el desarrollo de nuevos estudios de patología en concretos es el aprovechamiento de los recursos tecnológicos, electrónicos y de interdisciplinariedad en el ámbito de la ingeniería, para generar o implementar prototipos que suministren datos con mayor precisión y así comprender el comportamiento de la muestra objeto de estudio.

La resistencia del concreto a la penetración de cloruros es uno de estos estudios, hoy día ha adquirido relevancia en los análisis realizados al concreto, es una patología que requiere cuidado y atención, ya que estos iones son los principales responsables del deterioro por corrosión en estructuras de concreto reforzado. Existen Normas que suministran directrices de cómo llevar a cabo ensayos para determinar el grado de penetración del ion cloruro en el concreto como lo son los ensayos de difusión y migración. Los ensayos de difusión requieren tiempos de duración muy extensos, (meses o años), haciéndolo en ocasiones estudios experimentales y no ensayos de aceptación. Los ensayos de migración por su parte son los más aceptados, ya que requieren tiempos más cortos (horas o días), y los datos son más precisos.

Ahora bien, debido a que el tiempo en la Ingeniería civil es un factor preponderante en cuanto a costos y ejecución, se hace necesario evaluar la resistencia del concreto a la penetración del ion cloruro por medio de un ensayo de migración, que tiene como base la diferencia de un potencial eléctrico aplicado a una muestra para reducir los tiempos de duración del mismo. Estos ensayos se amparan bajo la norma ASTM C-1202 que a su vez se articula con la norma AASHTO Standard T277 y AASHTO T259. Por otra parte existe la norma NT BUILD 492 cuyo fin es medir el grado de penetración de los cloruros en el concreto, por medio de un montaje experimental muy similar a la norma ASTM C-1202, en donde de manera visual y manual se mide la penetración del ion cloruro en el concreto, en muestras fracturadas posterior al término del ensayo.

Para el desarrollo del procedimiento propuesto en estas normas, se realizan montajes en laboratorio, donde se utilizan reactivos, dispositivos de medición y máquinas donde se falla la muestra en estudio. Todo lo anterior depende de la norma a la que se ajuste el ensayo. Distintas empresas a nivel mundial desarrollan este tipo de artefactos de medición para la consecución de este ensayo por el método de migración, pero una de las limitantes para su comercialización y uso, es el elevado costo de la misma.

En este sentido se hace pertinente la elaboración de un prototipo electrónico, que nos suministre los datos necesarios para poder determinar la Resistencia del

Concreto a la Penetración de Cloruros **RCPT** (Resistance Chloride Penetration Test) por el método de migración en el concreto según los lineamientos y parámetros dados por la norma ASTM C-1202, cumpliendo con ellos, ofreciendo un dispositivo a bajo costo y de fácil operación.

La Universidad la Gran Colombia en los últimos años, ha incentivado en la Facultad de Ingeniería Civil la investigación de nuevos referentes en sus distintas áreas, es por eso que se hace oportuno este tipo de propuestas innovadoras, que van encaminadas a la obtención de resultados, implementando nuevas tecnologías y dejando como precedente la interdisciplinariedad a la que debe estar enfocada la ingeniería Civil, para el avance de sus investigaciones.

## 10. MARCO DE REFERENCIA

### 10.1. MARCO CONCEPTUAL

En este aparte se describe los conceptos básicos que permitan al lector de este proyecto, tener una idea sobre la del concreto a la penetración del ion cloruro, sus causas, efectos y sus métodos de ensayo.

#### 10.1.1. Teoría Química

Antes de hablar de las reacciones que se dan al interior de la mezcla de concreto se deben tener en cuenta los siguientes conceptos:

- Ánodo: es un electrodo en el cual se lleva a cabo la reacción de oxidación.
- Cátodo: es un electrodo en el cual se lleva a cabo la reacción de reducción.
- Electrodo: es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte “no metálica” de un circuito.
- Ion: un átomo o grupo de átomos que tienen carga eléctrica<sup>3</sup>.

#### 10.1.2. Reacción Química al interior del Concreto

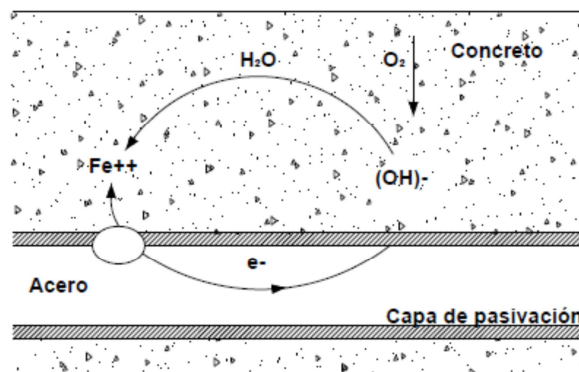
Al interior del concreto reforzado se puede dar el proceso de corrosión del acero de refuerzo, este proceso se ve interrumpido gracias a la capa de concreto llamada recubrimiento, esta capa no permite que agentes externos como los cloruros entren y ataquen de manera directa el acero de refuerzo de la estructura, en la Figura 1 se representa de manera esquemática el proceso de corrosión en el acero de refuerzo.

---

<sup>3</sup> ZALTS, Anita. Una opinión desde la enseñanza de la química para no químicos Química Viva [en línea] 2007, 6 (mayo) : [fecha de consulta: 9 de marzo de 2014] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86309914>> ISSN



Figura 1 Representación Esquemática del Proceso de Corrosión del Acero



Fuente: Tecnología del Concreto A. M. Neville 1998. <http://goo.gl/c1HdDL>

Otra reacción que protege el acero de refuerzo se da durante el proceso de hidratación del cemento, un proceso altamente alcalino, en este ambiente alcalino se forma una delgada capa de óxido protectora, denominada capa pasiva, formada alrededor del acero de un espesor microscópico<sup>4</sup>.

### 10.1.3. Durabilidad del Concreto

Los científicos, quienes deben comprender las propiedades del material y especialmente el envejecimiento y la durabilidad del concreto, están confundidos por todos los posibles mecanismos usados para explicar la complejidad de muchos procesos. La industria de los materiales y la sociedad esperan muchas cosas de la investigación que se está llevando a cabo. Debemos considerar si existe un equilibrio entre las inversiones y las expectativas que harían que los materiales estén disponibles para usarse como compuestos en el concreto.

Los científicos han implementado nuevos productos con grandes propiedades en resistencia y durabilidad. Esto se ha logrado usando compuestos recientemente desarrollados y comprendiendo el mecanismo del posicionamiento óptimo de las partículas del agregado combinado con fibras y aditivos. Este tipo de conocimiento podría proporcionar una futura herramienta para comprender el desempeño de las estructuras existentes. La humedad juega un papel significativo en la mayoría de

<sup>4</sup> TORRES GÓMEZ, Robinson, APERADOR, William, VERA, Enrique, MEJÍA DE GUTIÉRREZ, Ruby, ORTIZ, César. ESTUDIO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO EMBEBIDO EN CONCRETO AAS SOMETIDO A CLORUROS Dyna [en línea] 2010, 77 (Diciembre-Sin mes) : [fecha de consulta: 9 de marzo de 2014] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49620414006>> ISSN 0012-7353

las reacciones químicas en el concreto y en partes de los procesos físicos y químicos en varios fenómenos de deterioro<sup>5</sup>.

#### 10.1.4. Definición de la vida de servicio

El conocimiento que informa sobre la predicción de vida útil parte de la ciencia de los materiales desarrollada en los últimos 30 años. Las viejas estructuras, al final de su vida de servicio, con frecuencia están dañadas o pueden sufrir un colapso. El primer paso en estas valoraciones consiste en analizar la capacidad real para soportar cargas y si hubiera grandes riesgos, permitir una fractura frágil repentina y eventual. Después de este procedimiento, los expertos pueden dar una predicción del futuro deterioro como una función del tiempo o del impacto de diferentes sistemas de reparación sobre el proceso de deterioro.

Generalmente, el conocimiento en esta área no es tan preciso como debiera. Actualmente, somos capaces de predecir las tendencias en procesos diferentes, pero la variación, tanto en materiales como en el medio ambiente, es considerable y afecta la precisión de tales predicciones. Sin embargo, los métodos de predicción usados para las estructuras existentes, combinados con el muestreo, incrementarán la precisión<sup>6</sup>.

La definición de la vida de servicio podría ser establecida como el periodo de tiempo que una estructura, en un medio ambiente específico, retendrá sus propiedades principales, proveyendo seguridad contra el colapso y exhibiendo una estética aceptable. Sin embargo, los propietarios de estructuras importantes probablemente también implementarían valoraciones económicas, interrupciones en la capacidad de servicio y cambios en imagen en casos de una perturbación inesperada<sup>7</sup>.

#### 10.1.5. La humedad en el concreto

El agua en el concreto endurecido que no está químicamente fijada al aglomerante, está físicamente fijada en los poros del concreto. En los poros más pequeños, el agua está más firmemente ligada por absorción en los productos de la reacción. Esta agua puede secarse sólo con una humedad Relativa (HR) muy baja. En los poros capilares el agua está ligada por meniscos produciendo una presión del agua de los poros muy baja, negativa. Puesto que hay una relación

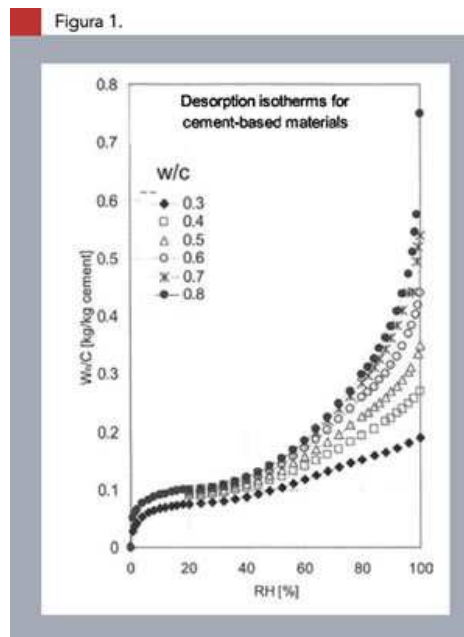
<sup>5</sup> KYÖSTI Tuutti y LARS-OLAF Nilsson, Durabilidad del Concreto [en línea] 2010, 16 (agosto) : [fecha de consulta: 9 de marzo de 2014] Disponible en: <<http://www.imcyc.com/ct2007/dic07/ingenieria.htm>>, p. 1-2.

<sup>6</sup> LEAL GONZÁLEZ Mireya, Alta Construcción en el Bajío, Artículo [en línea] 2007, 20 (diciembre) : [fecha de consulta: 9 de marzo de 2014] Disponible en: <http://www.imcyc.com/revistacyt/images/portada/2007/pdf/DICIEMBRE.pdf> , p. 1-3.

<sup>7</sup> KYÖSTI Tuutti y LARS-OLAF Nilsson, Durabilidad del Concreto, Op. Cit. p. 3.

entre la presión de agua en los poros y la humedad relativa en el aire por encima de un menisco, la HR se usa como una medida del estado de humedad en el concreto. La relación entre la cantidad de agua evaporable [ $W_e$  kg/m<sup>3</sup>] y el estado de humedad HR puede ser calculada a partir de las curvas de desorción (inverso de absorción o adsorción) disponibles (Véase el ejemplo en la Figura 2)<sup>8</sup>.

Figura 2 Curvas de Desorción



Fuente: <http://www.imcyc.com/ct2007/dic07/ingenieria.htm>

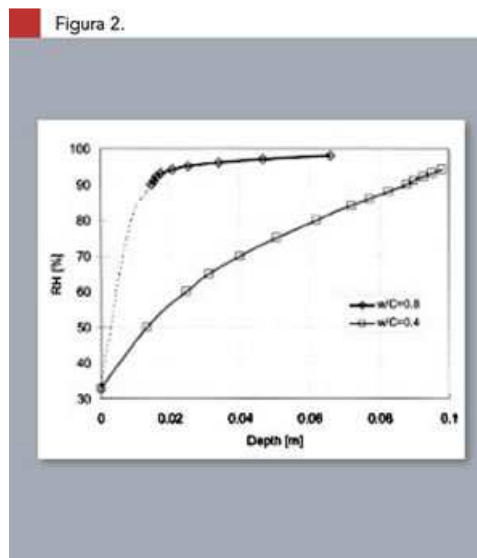
Las curvas de desorción dependen principalmente del contenido de cemento C, la relación agua-cemento W/C, la edad o grado de hidratación y la cantidad de humo de sílice. También varían en algún grado con el tipo de cemento, la temperatura y la cantidad de aditivos.

La distribución de la humedad en una estructura de concreto está determinada por la composición del concreto, el curado y el microclima en las diferentes partes de la estructura. Las diferencias en las condiciones de humedad entre el sistema de poros y el microclima circundante causarán un flujo de humedad hacia adentro y fuera de la superficie de concreto y en la profundidad de la estructura. El perfil de la humedad a largo plazo en una estructura de concreto expuesta a condiciones

<sup>8</sup> Idit., p. 2.

húmedas en un lado puede ser acentuado cerca de la superficie seca, dependiendo de la calidad del concreto (Véase Figura 3)<sup>9</sup>.

Figura 3 Perfil de Humedad del Concreto vs. Calidad



Fuente: <http://www.imcyc.com/ct2007/dic07/ingenieria.htm>

Aun cuando no ocurra transporte de humedad como en las estructuras con cubiertas superficiales cerradas o en concretos densos con bajas relaciones de agua-aglomerante el concreto puede obtener un secado interno debido a la fijación química del agua al aglomerante, puesto que los productos de la reacción tienen un volumen más bajo que los reactivos. La autodesecación se incrementará con relaciones más bajas de agua-cemento y relaciones de agua-aglomerante, la adición de humo de sílice y con algunos tipos de cemento. La HR puede alcanzar aproximadamente 80% en algunos casos tan sólo debido a la auto desecación. En algunos casos el deterioro simplemente se detendrá debido a que el concreto está demasiado seco<sup>10</sup>.

#### 10.1.6. La humedad y los procesos de deterioro

La naturaleza básica del deterioro es principalmente de tres tipos: químico, físico o electroquímico, este último que concierne a la corrosión del refuerzo. Un ataque químico involucra la disolución de sustancias o reacciones químicas entre

<sup>9</sup> Idit., p. 3.

<sup>10</sup> Idit., p. 3.

sustancias y componentes del concreto. Los productos de la reacción, caracterizados por la disolución o expansión, pueden causar muchos problemas. Los ejemplos incluyen:

- Ataque ácido que disuelve el aglomerante de la superficie del concreto.
- Ataque de sulfato desde la superficie, por el agua del subsuelo o agua de mar, o ataque del sulfato interno (formación retardada de ettringita o sal de candlot<sup>11</sup>), creando un producto de reacción que absorbe una cantidad significativa de agua, causando expansión interna y agrietamiento.
- Reacciones álcali-agregado del álcali que proviene del cemento, o del exterior, reaccionando con los componentes de ciertos agregados reactivos.
- Carbonatación proveniente del dióxido de carbono, que reacciona con los componentes en el líquido de los poros.
- Ataque de agua suave causando lixiviación de los álcalis y óxido de calcio, que a su vez causa disolución del hidróxido de calcio depositado y los componentes del aglomerante.

Un ataque puramente físico podría ser desde un líquido no reactivo, o calor, penetrando en el concreto o un componente del concreto, causando esfuerzos internos y expansión, dando como resultado agrietamiento interno o escamas superficiales. El ataque de la congelación es un ataque físico obvio.

La contracción es realmente el opuesto de un líquido que sale del concreto. El ataque electroquímico típico es la corrosión del refuerzo, en donde las reacciones químicas en el ánodo y en el cátodo se combinan con una corriente eléctrica a través del acero y a través del concreto. La humedad juega un papel significativo en la mayoría de las reacciones químicas en el concreto y en partes de los procesos físicos y químicos en varios fenómenos de deterioro.

La humedad puede involucrar:

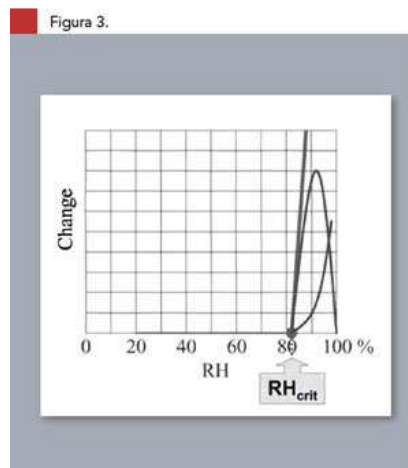
- Un material con propiedades diferentes.
- Un soluto, para reactivos y iones.
- Un medio de transporte.
- Un medio de expansión.
- Un líquido con presión de agua en los poros (negativo).

---

<sup>11</sup> ROCIO LA PUENTE ARAGÓ, Durabilidad del hormigón en Contacto con Sulfatos, [en línea]. 2008: [fecha de consulta: 9 de marzo de 2014], UNIVERSIDAD DE ALICANTE, Disponible en: <<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/100...>>.

El efecto de la humedad usualmente puede ser definido como un tipo de límite crítico de humedad, por debajo del cual no ocurren cambios significativos (Véase la Figura 4).

Figura 4 Límite Crítico de Humedad y Cambio de la muestra



Fuente: <http://www.imcyc.com/ct2007/dic07/ingenieria.htm>

Por encima del límite crítico, los cambios a veces son muy pronunciados. En otros casos, el límite crítico únicamente dice desde qué nivel de humedad empieza a ocurrir un cambio, pero los cambios se incrementan al incrementarse el contenido de humedad. En raros casos, como la tasa de corrosión, los cambios son menos pronunciados y el contenido de humedad es muy alto.<sup>12</sup>

#### 10.1.7. Mecanismos de Transporte a Través del Concreto

En la industria de la construcción se puede afirmar que el concreto es el material más durable, por todo lo que puede resistir a través de los años de servicio. Sin embargo, si se buscan las razones del porque tal resistencia, se debe hablar acerca de la permeabilidad del mismo ante los ataques exógenos o endógenos que lo afectan. Estos ataques que se hacen efectivos por algunos fluidos que lo pueden penetrar y formar procesos de reacción provocándole problemas de vida útil. Los fluidos a los que se hace referencia son el agua o químicos disueltos en el agua, el dióxido de carbono y el oxígeno, los cuales pueden moverse a través del concreto por medio de la naturaleza porosa del mismo generando reacciones con

<sup>12</sup> KYÖSTI TUUTTI Y LARS-OLAF NILSSON, Durabilidad del Concreto, Op. cit. p. 3.

los constituyentes o con el agua presente en los poros iniciando ataques de sulfatos, de cloruros o las reacciones álcali – agregado.

Los cuatro principales procesos de transporte que generan la penetración de sustancias en el concreto son los siguientes: presión de flujo, difusión, electro-migración o migración térmica, en adición a estos se pueden citar tres procesos internos del concreto que pueden afectar los procesos de transporte ellos son: la absorción, la succión capilar y la osmosis.<sup>13</sup>

#### 10.1.7.1. Permeabilidad

Un concepto a tener claro es el de permeabilidad, el cual se define como la facilidad con la cual los fluidos tanto líquidos como gases pueden adentrarse en el concreto y moverse por medio de él, cuando existe un diferencial de presión que los impulsa, (Rodríguez, 2002), también se puede definir como la propiedad del concreto en donde se mide que tan rápido un líquido fluirá a través del concreto cuando se aplica una presión.

#### 10.1.7.2. Difusión

La difusión es un proceso por el cual cualquier ion puede pasar a través del concreto saturado sin necesidad que exista flujo de agua. La difusión es impulsada por los gradientes de concentración, es decir, si una solución fuerte está en contacto con una solución débil los iones migrarán entre las soluciones hasta que ambas tengan igual concentración.

#### 10.1.7.3. Electro migración

Este fenómeno ocurre cuando un campo eléctrico (o diferencia de voltaje) está presente, este campo puede ser derivado de una fuente externa o de la interacción iónica entre especies. Si un campo eléctrico se aplica a través del concreto, los iones negativos se mueven hacia el electrodo positivo, mientras que los iones con carga positiva se mueven hacia el electrodo negativo. En un ensayo de electro migración se produce en el concreto transporte electrolítico, generando evolución de la corriente eléctrica, ya que este es el único mecanismo por el cual el concreto puede conducir electricidad.<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> LIZARAZO MARRIAGA, Juan y CLAISSE, Peter. Optimización de las Propiedades de Transporte Iónico del Concreto Y Simulación del Ensayo ASTM C1202. *Dyna rev.fac.nac.minas* [en línea]. 2009, vol.76, n.160 : [fecha de consulta: 9 de marzo de 2014], p. 185-194 . Disponible en: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532009000400018&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532009000400018&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0012-7353.

<sup>14</sup> LIZARAZO MARRIAGA, Juan y CLAISSE, Peter. Optimización de las Propiedades de Transporte Iónico del Concreto Y Simulación del Ensayo ASTM C1202. Op cit. p.194

#### 10.1.7.4. Termo migración

Es el movimiento de los fluidos impulsados por un gradiente de temperatura, desde regiones cálidas a frías o viceversa. La velocidad con que se produce el movimiento del fluido dependerá de la permeabilidad del sólido. Este proceso es diferente al ocurrido en el secado por evaporación que tiene lugar en las superficies expuestas. Un ejemplo de este tipo de proceso ocurre cuando una estructura es afectada con sales de deshielo que al ser calentada por el sol produce el movimiento de migración rápido del agua con sal, que está en los superficie de los poros del concreto, hacia una parte más fría de la estructura.

#### 10.1.7.5. Absorción

La absorción es el proceso por el cual hay movimiento de iones desde el medio ambiente exterior hacia el concreto. Este movimiento se produce en los capilares de los poros del concreto que están expuestos al ambiente externo. El proceso de acción capilar puede ocurrir teniendo en cuenta dos factores: el primero tiene que ver con la estructura porosa del hormigón y el segundo con la condición de humedad que tenga el material, es decir, se genera de manera diferente dependiendo de las condiciones de saturación del material.<sup>15</sup>

#### 10.1.8. Cloruros en el Concreto Reforzado

Los cloruros en el concreto principalmente generan corrosión en el acero de refuerzo. Estos se presentan como agentes nocivos en el momento de la mezcla de concreto o cuando el concreto ya está en servicio, principalmente en ambientes con altas concentraciones (industrias, agua de mar, sales de deshielo).

Los cloruros se pueden presentar en dos formas: fijos y libres. En el primer estado los cloruros se pueden encontrar físicamente adsorbidos por las paredes de los poros o pueden estar químicamente ligados por la reacción con ciertos compuestos del cemento, como por ejemplo de los hidratos del aluminato tri-cálcico. Estos aluminatos están normalmente presentes en las pastas de cemento y causan una acción importante de fijación de los iones ( $Cl^-$ ) a la pasta de cemento.

Los ciclos de humedecimiento y secado, son muy frecuentes en las costas marinas, estos aumentan la posibilidad de penetración de los cloruros debido a

---

<sup>15</sup> LÓPEZ YÉPEZ, Lucio Guillermo, Influencia del porcentaje de adición de la micro sílice y del tipo de curado, en la penetración del ion cloruro en el concreto de alto desempeño, [en línea], Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia –Maestría en Estructuras, [fecha de consulta: 9 de marzo de 2014], p. 40 – 45, 2011.



que pueden ser absorbidos mediante los poros del concreto por capilaridad. De acuerdo con lo anterior, los cloruros al penetrar al concreto atacan el acero de refuerzo, generando la desaparición de la capa de pasivación en pequeñas áreas de la superficie del acero, originando corrosión por picaduras en el refuerzo estructura.

La corrosión del acero se da por acción electroquímica, la cual se produce cuando dos metales distintos están en contacto eléctrico en presencia de humedad y oxígeno. Este proceso también ocurre en el acero que está solo, debido a diferencias en el potencial electroquímico de la superficie, el cual forma zonas catódicas y anódicas, conectadas por electrólitos en forma de solución salina en el cemento hidratado.<sup>16</sup>

#### 10.1.9. Ensayo realizados en el Concreto Reforzado

El ensayo base para medir la resistencia del concreto a la penetración del ion cloruro se conoce con el nombre de “Ensayo Rápido de Permeabilidad del Cloruro” (RCPT). Este ensayo esta normalizado por la norma ASTM 1202 y la AASHTO T277. Consiste en valorar la habilidad del concreto para resistir la penetración de los cloruros mediante una indicación eléctrica.

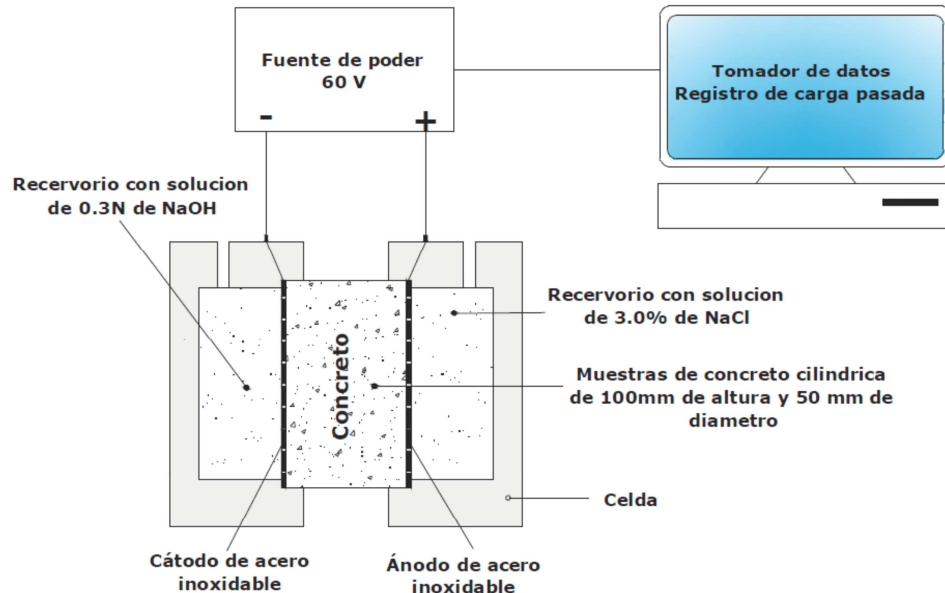
El ensayo consiste en preparar una probeta de concreto, con un espesor de 50 mm y un diámetro de 100 mm, esta muestra se somete a 60 V de corriente directa durante seis horas. La probeta de concreto se coloca entre dos reservorios, uno de ellos con solución de cloruro de sodio (NaCl) al tres por ciento (3%) y el otro con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) de 0.3M. La carga total transmitida por este sistema es usada para valorar la permeabilidad del concreto. Este ensayo fue desarrollado por D. Whiting en 1981 y se conoce normalmente como “Ensayo Rápido de Permeabilidad del Cloruro”, aunque realmente no se mide la permeabilidad del concreto, sino el intercambio iónico.<sup>17</sup> El montaje experimental de RCPT se puede observar en la Figura 5.

---

<sup>16</sup> LÓPEZ YÉPEZ, Lucio Guillermo, Influencia del porcentaje de adición de la micro sílice y del tipo de curado, en la penetración del ion cloruro en el concreto de alto desempeño, Op. cit. p. 45 – 46.

<sup>17</sup> LIZARAZO MARRIAGA, JUAN and CLAISSE, PETER. Optimización De Las Propiedades De Transporte Iónico Del Concreto Y Simulación Del Ensayo ASTM C1202. Op. cit. p. 190-194.

Figura 5 Esquema ensayo RCPT



Fuente: LÓPEZ YÉPEZ, Lucio Guillermo, Influencia del porcentaje de adición de la micro sílice y del tipo de curado, en la penetración del ion cloruro en el concreto de alto desempeño, [en línea], Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia –Maestría en Estructuras, [fecha de consulta: 10 de marzo de 2014], p. 63, 2011.

#### 10.1.10. Teoría Electrónica

##### 10.1.10.1. Dispositivos de Detección y Transductores

Los sensores y transductores son dispositivos que realizan la medición de magnitudes mecánicas, químicas y eléctricas. La magnitud a medir, como una temperatura, una posición o una concentración química son sensibles de ser medidos por el sensor. Las mediciones registradas son convertidas a señales eléctricas por el transductor, a su vez estas señales se encargan de alimentar instrumentos de lectura, control o registro. Ahora bien el funcionamiento de los sensores y transductores se puede localizar alejado del observador, así como en entornos inadecuados o impracticables para los seres humanos.

El sensor y transductor actúan de manera paralela y simultánea. Un termopar consta de dos uniones de diferentes metales que generan una pequeña tensión que depende del diferencial térmico entre las uniones. El termistor es un reóstato especial, cuya resistencia varía según la temperatura. Un reóstato variable puede convertir el movimiento mecánico en señal eléctrica. Para medir distancias se

emplean condensadores de diseño especial, y para detectar la luz se utilizan fotocélulas. Para medir velocidades, aceleraciones o flujos de líquidos se recurre a otro tipo de dispositivos. En la mayoría de los casos, la señal eléctrica es débil y debe ser amplificada por un circuito electrónico.

#### 10.1.10.1. Dispositivos de Detección y Transductores

Los sensores y transductores son dispositivos que realizan la medición de magnitudes mecánicas, químicas y eléctricas. La magnitud a medir, como una temperatura, una posición o una concentración química son sensibles de ser medidos por el sensor. Las mediciones registradas son convertidas a señales eléctricas por el transductor, a su vez estas señales se encargan de alimentar instrumentos de lectura, control o registro. Ahora bien el funcionamiento de los sensores y transductores se puede localizar alejado del observador, así como en entornos inadecuados o impracticables para los seres humanos.

Otro dispositivo a tener en cuenta es la termocupla un transductor de temperaturas, este dispositivo se encarga de convertir una magnitud física en una señal eléctrica. Este dispositivo se encarga de medir diferencias de temperatura, no temperaturas por lo que obliga a tener un valor de temperatura de referencia<sup>18</sup>.

#### 10.1.10.2. Circuitos de Alimentación Eléctrica

La mayoría de los equipos electrónicos requieren tensiones de Corriente Continua **CC** para su funcionamiento. Estas tensiones pueden ser suministradas por baterías o por fuentes de alimentación internas que convierten la corriente alterna, que se puede obtener de la red eléctrica que llega a cada vivienda, en tensiones reguladas de c.c. El primer elemento de una fuente de alimentación de c.c. interna es el transformador, que eleva o disminuye la tensión de entrada a un nivel adecuado para el funcionamiento del equipo. La función secundaria del transformador es servir como aislamiento de masa (conexión a tierra) eléctrica del dispositivo a fin de reducir posibles peligros de electrocución. A continuación del transformador se sitúa un rectificador, que suele ser un diodo. En el pasado se utilizaban diodos de vacío y una amplia variedad de diferentes materiales (cristales de germanio o sulfato de cadmio) en los rectificadores de baja potencia empleados en los equipos electrónicos. En la actualidad se emplean casi exclusivamente rectificadores de silicio debido a su bajo costo y alta fiabilidad.

Las fluctuaciones y ondulaciones superpuestas a la tensión de c.c. rectificadas (percibidas como un zumbido en los amplificadores de sonido defectuosos) pueden filtrarse mediante un condensador. Cuanto más grande sea el condensador, menor será el nivel de fluctuación de la tensión. Es posible alcanzar

---

<sup>18</sup> Algunos Conceptos Básicos de Control y Temperatura, [En Línea]. 2009: [fecha de consulta: 10 de marzo de 2014], Disponible en: < [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm)>.

un control más exacto sobre los niveles y fluctuaciones de tensión mediante un regulador de tensión, que también consigue que las tensiones internas sean independientes de las fluctuaciones que se puedan encontrar en un artefacto eléctrico. Un sencillo regulador de tensión que se utiliza a menudo es el diodo de Zener, formado por un diodo de unión Polo Negativo **pn** de estado sólido que actúa como aislante hasta una tensión predeterminada. Por encima de dicha tensión, se convierte en un conductor que deriva los excesos de tensión. Por lo general, los reguladores de tensión más sofisticados se construyen como circuitos integrados.

#### 10.1.10.3.Circuitos Amplificadores

Los amplificadores electrónicos se utilizan sobre todo para aumentar la tensión, la corriente o la potencia de una señal. Los amplificadores lineales incrementan la señal sin distorsionarla (o distorsionándola mínimamente), de manera que la salida es proporcional a la entrada. Los amplificadores no lineales permiten generar un cambio considerable en la forma de onda de la señal. Los amplificadores lineales se utilizan para señales de sonido y vídeo, mientras que los no lineales se emplean en osciladores, dispositivos electrónicos de alimentación, moduladores, mezcladores, circuitos lógicos y demás aplicaciones en las que se requiere una reducción de la amplitud. Aunque los tubos de vacío tuvieron gran importancia en los amplificadores, hoy día se suelen utilizar circuitos de transistores discretos o circuitos integrados.

#### 10.1.10.4.Micro controladores PIC

Un **PIC**, es un Circuito Integrado Programable que contiene elementos tales como CPU, ROM, RAM, y circuitos de entrada y salida (I/O).

Constituyen el segmento de mayor crecimiento en la industria electrónica, estos se pueden personalizar escribiendo un programa en lenguaje de máquina (Assembler), y realizarán exactamente lo que se le indique. Sus usos y aplicaciones se extienden desde: teléfonos, decodificadores de señales de televisión por cable, relojes, microondas, equipos de música, lavarropas, etc.

#### Conversor A/D (CAD)

Los micro controladores que incorporan un Conversor A/D (Analógico/Digital) pueden procesar señales analógicas, tan abundantes en las aplicaciones. Suelen

disponer de un multiplexor que permite aplicar a la entrada del CAD diversas señales analógicas desde las patitas del PIC.

#### Conversor D/A (CDA)

Transforma los datos digitales obtenidos del procesamiento del computador en su correspondiente señal analógica que saca al exterior por una de las patitas de la cápsula. Existen muchos efectores que trabajan con señales analógicas.

#### Comparador Analógico

Algunos modelos de micro controladores disponen internamente de un Amplificador Operacional que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica por una de las patitas de la cápsula. La salida del comparador proporciona un nivel lógico 1 ó 0 según una señal sea mayor o menor que la otra. También hay modelos de micro controladores con un módulo de tensión de referencia que proporciona diversas tensiones de referencia que se pueden aplicar en los comparadores.

#### Modulador de Anchura de Impulsos o **Pwm**

Son circuitos que proporcionan en su salida impulsos de anchura variable, que se ofrecen al exterior a través de las patitas del encapsulado.

#### Puertos de E/S Digitales

Todos los micro controladores destinan algunas de sus patitas a soportar líneas de E/S digitales. Por lo general, estas líneas se agrupan de ocho en ocho formando puertos.

Las líneas digitales de los Puertos pueden configurarse como Entrada o como Salida cargando un 1 ó un 0 en el bit correspondiente de un registro destinado a su configuración.

#### Puertos de Comunicación

Con objeto de dotar al micro controlador de la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos, otros buses de microprocesadores, buses de sistemas, buses de redes y poder adaptarlos con otros elementos bajo otras normas y

protocolos. Algunos modelos disponen de recursos que permiten directamente esta tarea, entre los que destacan:

UART, Adaptador de Comunicación Serie Asíncrona.

USART, Adaptador de Comunicación Serie Síncrona y Asíncrona

Puerta paralela esclava para poder conectarse con los buses de otros microprocesadores.

USB (Universal Serial Bus), que es un moderno bus serie para los PC.

Bus I2C, que es un interfaz serie de dos hilos desarrollado por Philips.

CAN (Controller Área Network), para permitir la adaptación con redes de conexionado multiplexado desarrollado conjuntamente por Bosch e Intel para el cableado de dispositivos en automóviles. En EE.UU. se usa el J1850.

Herramientas para el desarrollo de aplicaciones.

Uno de los factores que más importancia tiene a la hora de seleccionar un micro controlador entre todos los demás es el soporte tanto software como hardware de que dispone. Un buen conjunto de herramientas de desarrollo puede ser decisivo en la elección, ya que pueden suponer una ayuda inestimable en el desarrollo del proyecto.

Las principales herramientas de ayuda al desarrollo de sistemas basados en micro controladores son:

Desarrollo del software:

Ensamblador. La programación en lenguaje ensamblador puede resultar un tanto ardua para el principiante, pero permite desarrollar programas muy eficientes, ya que otorga al programador el dominio absoluto del sistema. Los fabricantes suelen proporcionar el programa ensamblador de forma gratuita y en cualquier caso siempre se puede encontrar una versión gratuita para los micro controladores más populares.

Compilador. La programación en un lenguaje de alto nivel (como el C ó el Basic) permite disminuir el tiempo de desarrollo de un producto. No obstante, si no se programa con cuidado, el código resultante puede ser mucho más ineficiente que

el programado en ensamblador. Las versiones más potentes suelen ser muy caras, aunque para los micros controladores más populares pueden encontrarse versiones demo limitadas e incluso compiladores gratuitos.

Depuración: debido a que los micro controladores van a controlar dispositivos físicos, los desarrolladores necesitan herramientas que les permitan comprobar el buen funcionamiento del micro controlador cuando es conectado al resto de circuitos.

Simuladores. Son capaces de ejecutar en un PC programas realizados para el micro controlador. Los simuladores permiten tener un control absoluto sobre la ejecución de un programa, siendo ideales para la depuración de los mismos. Su gran inconveniente es que es difícil simular la entrada y salida de datos del micro controlador. Tampoco cuentan con los posibles ruidos en las entradas, pero, al menos, permiten el paso físico de la implementación de un modo más seguro y menos costoso, puesto que ahorraremos en grabaciones de chips para la prueba in-situ.

Placas de evaluación. Se trata de pequeños sistemas con un micro controlador ya montado y que suelen conectarse a un PC desde el que se cargan los programas que se ejecutan en el micro controlador. Las placas suelen incluir visualizadores LCD, teclados, LEDs, fácil acceso a los pines de E/S, etc. El sistema operativo de la placa recibe el nombre de programa monitor. El programa monitor de algunas placas de evaluación, aparte de permitir cargar programas y datos en la memoria del micro controlador, puede permitir en cualquier momento realizar ejecución paso a paso, monitorizar el estado del micro controlador o modificar los valores almacenados los registros o en la memoria.

Emuladores en circuito. Se trata de un instrumento que se coloca entre el PC anfitrión y el zócalo de la tarjeta de circuito impreso donde se alojará el micro controlador definitivo. El programa es ejecutado desde el PC, pero para la tarjeta de aplicación es como si lo hiciese el mismo micro controlador que luego irá en el zócalo. Presenta en pantalla toda la información tal y como luego sucederá cuando se coloque la cápsula.

## **10.2. MARCO LEGAL**

El trabajo y el diseño del prototipo electrónico se encuentran soportados en su totalidad bajo los parámetros estipulados en la norma ASTM C-1202, dentro de la cual se especifica el monitoreo de la cantidad de carga eléctrica que pasa a través

de las probetas de concreto con un espesor de 50mm y un diámetro de 100mm, durante un periodo de seis (6) horas, dentro de este tiempo se debe garantizar una diferencia de potencial eléctrico de 60V dc, una vez la muestra es sumergida en una solución de cloruro de sodio en contacto con una cara e hidróxido de sodio en la otra. La cantidad de carga en Coulomb que pase a través de la muestra determinara según la tabla (X1.1) de la norma ASTM C-1202 la resistencia del concreto a la penetración del ion cloruro.

Tabla 1 Determinación de la penetración de cloruro según la cantidad de carga en Coulomb<sup>19</sup>

**TABLE X1.1 Chloride Ion Penetrability  
Based on Charge Passed (1)**

Charge Passed (coulombs)	Chloride Ion Penetrability
>4,000	High
2,000–4,000	Moderate
1,000–2,000	Low
100–1,000	Very Low
<100	Negligible

Fuente: ASTM C-1202 Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to resist Chloride Ion Penetration, approved February 2012, published March 2012, Cited Enero 2014.

No se puede dejar de lado normas internacionales sobre las cuales se soporta la norma mencionada anteriormente, estas normas son: AASHTO Standard T277-83<sup>20</sup> "Standard Method of Test for Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete" y AASHTO T259-80<sup>21</sup> "Resistance of Concrete to Chloride Ion Penetration."<sup>22</sup>

<sup>19</sup> ASTM C-1202-12 Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, American Standard Testing of materials, approved February 2012, : [fecha de consulta: 9 de marzo de 2014], published March 2012.

<sup>20</sup> AASHTO T277: Standard Method of Test for Rapid Determination of the Chloride permeability of Concrete. American Association of State Highway and Transportation Officials. 1983, : [fecha de consulta: 9 de marzo de 2014].

<sup>21</sup> AASHTO T259: Standard Method of Test for Resistance of Concrete to Chloride Ion Penetration (Salt ponding Test). American Association of State Highway and Transportation Officials. 1980.

<sup>22</sup> W. R. GRACE & Co. Technical Bulletin TB-0100, Understanding AASHTO T277 and ASTM C1202 Rapid Chloride Permeability Test, Grace Construction Products, 2006 p. 1-3



## 11. MARCO METODOLÓGICO

### 11.1. Fases de la Investigación

Dentro del proceso realizado se pudieron identificar cuatro momentos o fases que se describen a continuación:

En primer lugar se planteó de manera reiterada el hecho de determinar la resistencia del concreto a la penetración de los cloruros, como un factor de gran importancia en la actualidad, por lo que ello repercute en la vida útil de las estructuras de concreto reforzado. A su vez este problema se articula con la necesidad de implementar el procedimiento para determinar esta resistencia del concreto en la Universidad la Gran Colombia, lo cual conlleva a contar con el instrumento tecnológico necesario para realizar esta verificación. Es aquí donde entra a jugar un papel determinante las normas nacionales e internacionales sobre las cuales se soporta esta práctica, para el caso de este trabajo la norma ASTM C-1202 norma base que da los parámetros y procedimientos necesarios para determinar la Resistencia del Concreto a la Penetración de los Cloruros o RCPT.

#### **Fase I. Estructura electrónica del prototipo.**

En esta fase se realizó el proceso de diseño, y ensamble de los instrumentos bajo los parámetros que determina la norma ASTM C1202.

Actividad 1.1. Diseño de fuente de energía de 60 V DC Swich.

Actividad 1.2. Protocolo de comunicación para adquisición de datos de corriente y temperatura.

Actividad 1.3. Decodificación de los datos para visualización de display.

Actividad 1.4. Programación en Code Warrior para la transmisión de datos por USB de archivo plano (Block de notas).

Actividad 1.5. Ensamble de los componentes electrónicos del prototipo.

#### **Fase II. Validación del prototipo.**

Una vez se contó con el dispositivo electrónico para realizar el ensayo de resistencia del concreto a la penetración de cloruros, se realizó la verificación y validación de la maquina por medio de la comparación de resultados, este proceso es el que garantizará el completo, apropiado y justo desempeño de este dispositivo.

Actividad 2.1. Fabricación de probetas según diseño de mezcla.

Actividad 2.2. Realización de ensayos RCPT con el prototipo electrónico bajo los parámetros de la norma ASTM 1202.

Actividad 2.3. Obtención de resultados de ensayos RCPT de dos (2) máquinas de referencia.

Actividad 2.4. Comparación y validación de resultados.

## **11.2. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACION DE VARIABLES**

Dentro del proyecto realizado las variables que intervienen están totalmente definidas y sustentadas por la norma ASTM C-1202, en este orden se tiene como variables las siguientes:

### **11.3. Tiempo**

El tiempo de operación del ensayo está definido según la norma ASTM C-1202 con un mínimo de seis (6) horas continuas de funcionamiento de la máquina para realizar el ensayo, en intervalos de tiempo definidos según el usuario.

### **11.4. Potencial Eléctrico**

La norma define que la maquina debe garantizar un potencial eléctrico de sesenta voltios 60V dc durante el tiempo de duración del mismo.

### **11.5. Carga total**

El valor de la carga total a través de la probeta de concreto debe ser suministrado en Coulombs (C), que es la cantidad de carga eléctrica transportada por unidad de tiempo.

### **11.6. Temperatura**

Esta variable será medida por el dispositivo llamado termocupla, según la norma se debe controlar la temperatura para que no supere los noventa grados centígrados (90°C), lo anterior debido a la resistencia del material de las celdas, empaques y sellantes utilizados para contener el cloruro de sodio y el hidróxido de sodio.

## 11.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo del proyecto se tendrá en cuenta parámetros electrónicos y parámetros técnicos.

### 11.8. Parámetros Electrónicos

#### 11.8.1.1. Diseño de la Fuente de Poder

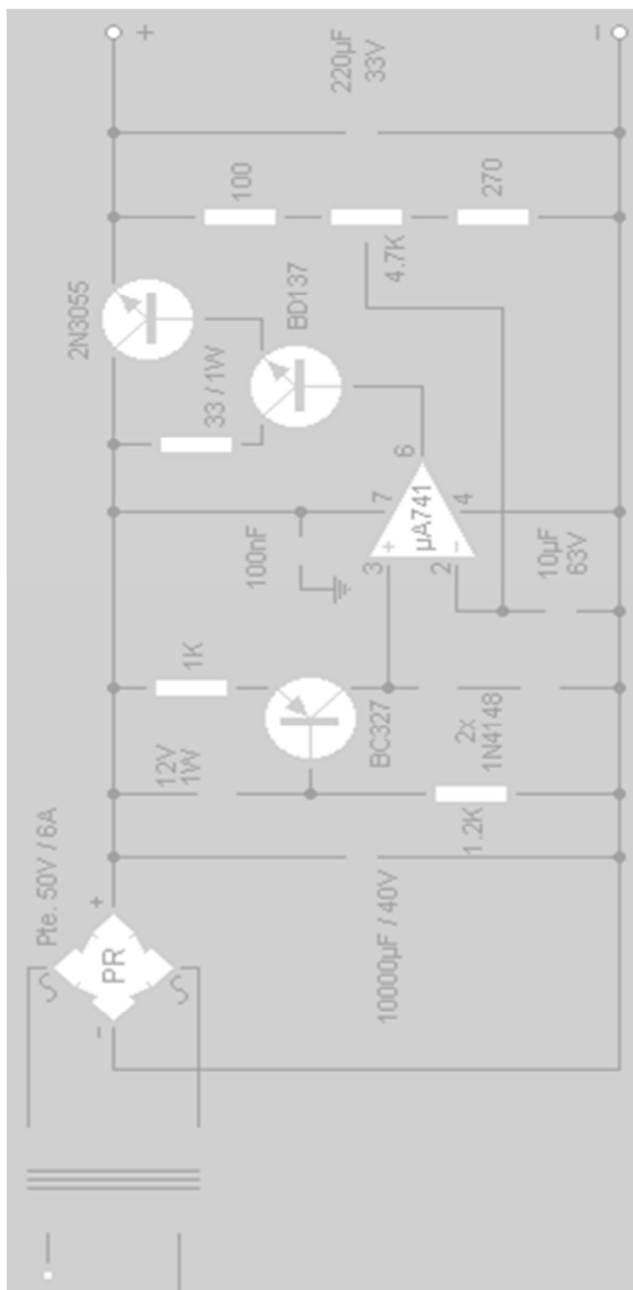
El circuito consta de tres etapas. La primera (formada por el transformador, el puente rectificador y el capacitor electrolítico de 10000 $\mu$ F) se encarga de aislar y reducir la tensión de red, rectificar y filtrar. La segunda etapa (formada por el transistor de BC327, el circuito integrado y los componentes anexos) se encarga de proporcionar una tensión de referencia la cual será empleada para determinar, junto con el potenciómetro y sus resistencias de tope, la tensión a aplicar sobre el transistor driver y éste sobre el de potencia. La tercera etapa (formada por los transistores BD137 y 2N3055) se encarga de dejar pasar la corriente en forma controlada, haciendo las veces de reguladores en serie. Cabe aclarar que éstos efectúan una regulación resistiva y conmutada (switching) por lo que la tensión en el emisor no es pulsante. Luego se tiene un pequeño filtro de salida formado por el capacitor electrolítico.

El transformador debe proporcionar una tensión de 60V con una capacidad de corriente de 3A y la tensión de su primario deberá ser de 110 voltios. El transistor 2N3055 deberá estar montado sobre un buen radiador de calor, mientras que para el BD137 bastará con un radiador del tipo clip. El capacitor de 100nF, conectado en paralelo con la alimentación del  $\mu$ A741 deberá estar lo más próximo posible a éste para optimizar el filtrado de la fuente. A continuación se muestra el esquema en la Figura 6.

#### 11.8.1.2. Diseño de interface de comunicación.

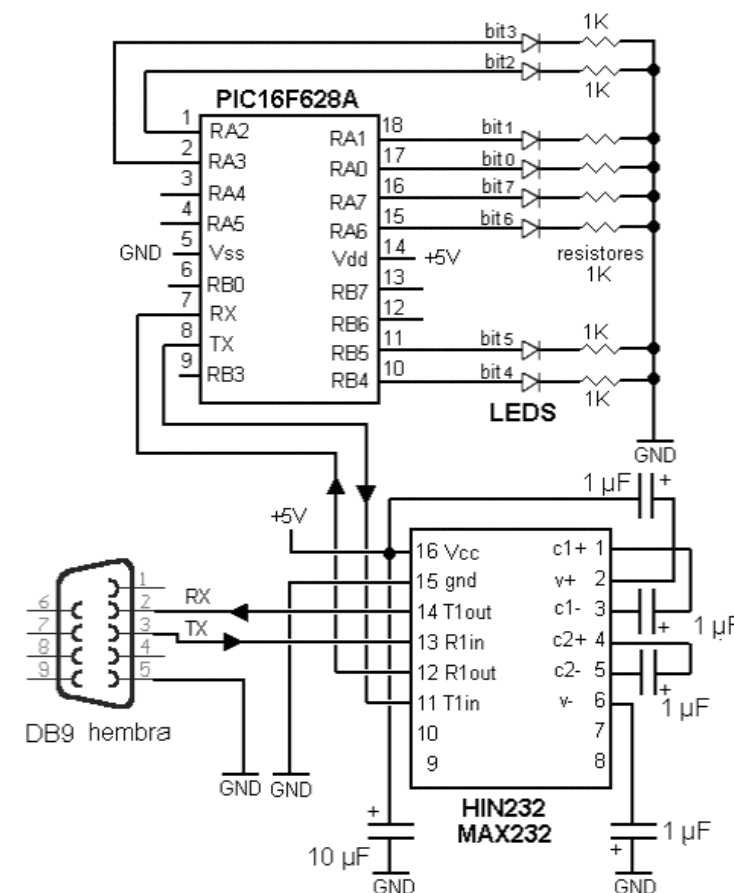
El micro controlador se comunica utilizando su puerto serie. Se programará este puerto a una velocidad de 9600 baudios, un formato de dato de 16 bits, un bit de parada, y sin ningún control de flujo. Luego la rutina principal de este pequeño programa espera a recibir un carácter, lo devuelve como eco hacia la PC, y luego lo exhibe a través de sus puertos, donde se tienen conectados LEDs indicadores. Esto nos permite comprobar la recepción de los caracteres Hexadecimal desde la PC, cuyo código veremos sobre los LEDs. También hace que el circuito cumpla la función de transformar la salida en serie del PC en una salida de 16 bits en paralelo. A continuación en la Figura 7 se puede observar el circuito a utilizar:

Figura 6. Esquema electrónico fuente de poder.



Fuente: Autores.

Figura 7 Esquema Circuito Electrónico Interface de Comunicación



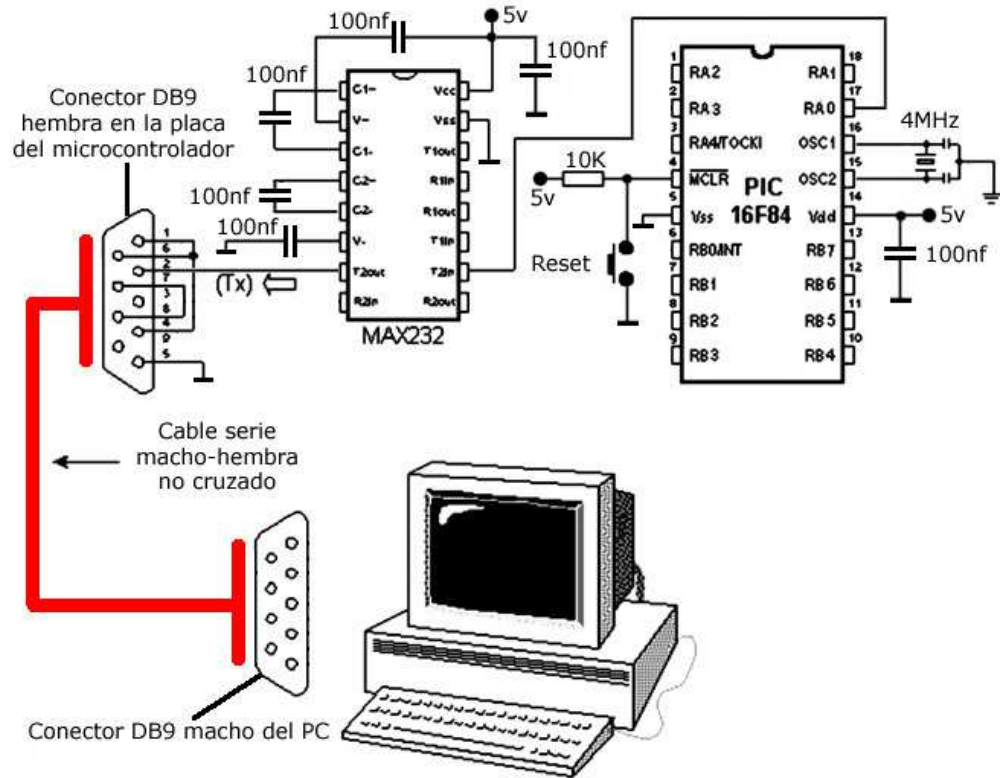
Fuente: [http://robots-argentina.com.ar/Prueba\\_PIC628-RS232.htm](http://robots-argentina.com.ar/Prueba_PIC628-RS232.htm)

### 11.8.1.3. Sistema de control

Para el diseño del sistema de control se desarrolla una metodología de sistema de bloques en donde la primera fase la realiza la lectura de la temperatura, voltaje y corriente que se toma de la celda la cual mantendrá el cilindro en estudio con los reactivos correspondientes. La segunda fase se logra haciendo la decodificación análoga de los datos leídos y transformándolos en una señal digital la cual será enviada por medio de una comunicación rs232 a una computadora por el puerto USB la cual permite visualizar los datos obtenidos de la lectura.

En la Figura 8 se puede visualizar el esquema electrónico entre el control electrónico y la computadora.

Figura 8 Esquema Electrónico de Control



Fuente: [http://perso.wanadoo.es/pictob/comunicacion\\_pic\\_pc\\_via\\_rs232.htm](http://perso.wanadoo.es/pictob/comunicacion_pic_pc_via_rs232.htm)

## 11.9. PARÁMETROS TÉCNICOS

### 11.9.1. Diseño de mezcla.

Para la fundida de las probetas que servirán como instrumento de validación de la maquina se realizó el correspondiente diseño de mezcla, este diseño obedece a los parámetros estipulados de resistencia, relación agua cemento, contenido de aire esperado, asentamiento, consistencia y volumen requerido, y que son equiparables a los diseños empleados por las máquinas usadas como referencia. Las anteriores variables se resumen en la Tabla 2.



## 12. RESULTADOS

Los resultados del estudio serán los datos arrojados por cada uno de los montajes de laboratorio según la norma ASTM C-1202 que se realizan para medir el **RCPT**, para este caso se tomará como punto de referencia y comparación el ensayo de laboratorio realizado en las instalaciones del laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de Colombia, bajo la dirección y supervisión del Dr. Juan Manuel Lizarazo Marriaga y el laboratorio de concretos de la Asociación Colombiana de productores de Concreto ASOCRETO, bajo la dirección del Ing. Nelson Hernández, quienes amablemente facilitaron sus instalaciones para realizar esta ensayo, los resultados de esta prueba, se compararan con los datos arrojados por el ensayo realizado con el Dispositivo Electrónico diseñado en este estudio de investigación, con el fin de verificar y validar el correcto funcionamiento de la máquina, teniendo en cuenta las normas y parámetros que lo reglamentan.

A continuación se relacionan los resultados de la Máquina **RCPT** Marca Proove'it, marca registrada a nivel mundial y reconocida en evaluar la resistencia del concreto a la penetración de cloruros, esta prueba se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia (ver Anexo 1).

La Asociación Colombiana de productores de Concreto ASOCRETO por su parte permitió realizar el ensayo **RCPT** en su laboratorio de Concretos y los resultados arrojados por la máquina se muestran en el siguiente anexo (Ver Anexo 2).

Los resultados del ensayo de laboratorio realizados con el dispositivo electrónico diseñado en este trabajo se relacionan en el siguiente anexo (Ver Anexo 3).



### 13. ANÁLISIS RESULTADOS

Teniendo en cuenta los datos suministrados por cada uno de los ensayos realizados se procede a la comparación de los mismos para realizar el proceso de verificación y validación del Dispositivo electrónico para medir la resistencia del concreto a la penetración de cloruros, esta comparación se realizara verificando aspectos tales como:

- Voltaje
- Carga pasada a través de la muestra
- Clasificación de la muestra según la Tabla X1.1 de la norma ASTM C-1202-12

Los resultados de cada uno de los ensayos en cada una de la maquinas se relaciona en la siguiente tabla comparativa. (Ver Tabla No.3)

Revisando los datos arrojados por el cuadro comparativo de los resultados del ensayo RCPT, encontramos que los resultados del Dispositivo objeto de este trabajo de investigación se encuentra en un punto medio con relación a los resultados de los ensayos de la Universidad Nacional y ASOCRETO, por esta razón se pude determinar que el dispositivo está dentro de los parámetros aceptables para la realización del ensayo según la norma ASTM C-1202.

Tabla 3 Análisis de Calibración Dispositivo RCPT

ANALISIS DE CALIBRACIONDISPOSITIVO ELECTRONICO RCPT SEGÚN ASTM C-1202				
<b>DATOS BASICOS ENSAYO:</b>				
VOLTAJE = 60 V				
TIEMPO DE DURACION = 6 Horas				
CANTIDAD DE MUESTRAS = 2 por Maquina				
INSTITUCION	Muestra No.1		Muestra No,2	
	Carga Pasada(Coulombs)	Carga Corregida(Coulombs)	Carga Pasada(Coulombs)	Carga Corregida(Coulombs)
UNIVERSIDAD NACIONAL	3.947	3.562	4.899	4.421
ASOCRETO	2.983	2.660	2.822	2.526
DISPOSITIVO UGC.	2.740	2.671	3.464	3.376

## 14. CONCLUSIONES

Realizando los procedimientos técnicos (Diseño y Ensamble) y las comprobaciones necesarias para el correcto funcionamiento de los circuitos que componen el prototipo electrónico para medir la resistencia del concreto a la penetración de cloruros **RCPT**, se determina que cumple con los parámetros técnicos exigidos por la norma ASTM C-1202, tales como voltaje con un valor fijo de 60 V DC, lectura de temperatura, lectura de la carga a través de la muestra y ajuste de los intervalos de tiempo para toma de datos durante el tiempo de duración del ensayo.

Partiendo de la comparación de los resultados en cada uno de los ensayos realizados en la Universidad Nacional, ASOCRETO y la Universidad la Gran Colombia, se puede determinar que el prototipo electrónico para medir la RCPT, obtiene datos en un rango intermedio a los suministrados por los dos dispositivos con los que se comparan sus resultados, con esto se determina que su resultado está dentro de los parámetros aceptables.

Tomando en cuenta todo el proceso realizado durante este trabajo de investigación, se hace evidente la necesidad de la interdisciplinariedad de los saberes aplicados a una disciplina, en este caso específico la materialización de este proyecto radica principalmente en el aporte realizado por la teoría electrónica, tomando como base los parámetros y directrices que da la norma ASTM C-1202 para la realización del ensayo RCPT.

## **15. ANEXOS**

Anexo 1 Resultados del Ensayo RCPT realizado en la maquina Proove'it, propiedad de la Universidad Nacional Colombia.

Anexo 2 Resultados del Ensayo RCPT realizado en la Maquina propiedad de la Asociación Colombiana de Productores de Concreto **ASOCRETO**.

Anexo 3 Resultados del Ensayo RCPT realizado en el dispositivo electrónico diseñado en este trabajo de investigación, para la Universidad La Gran Colombia.

## 16. BIBLIOGRAFÍA

**ASTM C1202**, 2012e1, "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, DOI: 10.1520/C0033-03E01, [www.astm.org](http://www.astm.org)

**AASHTO T 259**, 2002e1, "Standard Method of Test for Resistance of Concrete to Chloride Ion Penetration," AASHTO International, Washington DC, 2003, MA-T259-02-UL, <http://www.transportation.org/>

**AASHTO Standard T 277**, 2007, "Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration," AASHTO International, Washington DC, 2007, MA-T277-07-UL, <http://www.transportation.org/>

**A. M. NEVILLE**, Tecnología del Concreto, México Trillas, [en línea]. 1998, Disponible en: <http://www.imcyc.com/revista/1999/dic99/concreto1.htm>., "Concreting technology / an essential element of structural design", Concrete International (1998)

**CASTORENA GONZÁLEZ**, J.H., ALMERAYA-CALDERÓN, F., ALMARAL-SÁNCHEZ, J.L., CALDERÓN-GUILLÉN, J.A., GAONA-TIBURCIO, C., MARTÍNEZ-VILLAFANE, A. Análisis con elemento finito de los esfuerzos expansivos por corrosión en las estructuras de concreto reforzado Ingeniería. Investigación y Tecnología [En línea] 2011, XII (Enero-Marzo): [fecha de consulta: 20 de noviembre de 2013] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40419887001>> ISSN 1405-7743

**CASTORENA**, J et al. Modelación con elementos finitos del agrietamiento en el hormigón por corrosión localizada en la armadura. *Rev. ing. constr.* [en línea]. 2007, vol.22, n.1 [citado 2013-11-21], pp. 35-42. Disponible en: <<http://goo.gl/z04dL3>> ISSN0718-5073. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732007000100004>

**KYÖSTI** Tuutti y **LARS-OLAF** Nilsson, Durabilidad del Concreto, Instituto Mexicano del Concreto y del Cemento, [en línea]. 2009, Disponible en: <http://www.imcyc.com/ct2007/dic07/ingenieria.htm>.

**LIZARAZO MARRIAGA**, Juan, Penetración de Iones Cloruro en el Concreto "Una mirada General". En: INGENIERIA GRANCOLOMBIANA. 11ª 2011 Bogotá. p. 47-60. Ed. Periódicas S.A.S, 2011.

**LIZARAZO MARRIAGA** Juan, **CLAISSE** Peter, Optimización de las Propiedades de Transporte iónico del Concreto y Simulación del Ensayo ASTM C1202. *Dyna rev.fac.nac.minas* [en línea], 2009, vol.76, n.160 [cited 2013-11-20], pp.185-194. Available from: < <http://goo.gl/2AjzBY> >. ISSN 0012-7353.