Prototipo de equipo con electrodos basado en el principio de la electroósmosis

Monografía presentada para obtener el título de
Tecnólogo en Electricidad
Facultad Tecnológica
Universidad Distrital Francisco José de Caldas,

José Fernando Gallego Chaparro.

Octubre, 2015
Bogotá, D.C.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a Dios quien es mi verdadero maestro interno; a mis padres cuyo amor me enseñó a ser humilde y perseverante para alcanzar mis metas; a mi esposa por el tiempo que me cedió de su compañía, por su comprensión y su apoyo y a mis hijas por enseñarme la profundidad del amor, la alegría de servir y el inmenso valor de lo sencillo.

Agradecimientos

"Quien adquiere conocimientos, adquiere Voluntad de expresarse sinceramente, cuando la Voluntad es sincera la mente adquiere el sentido de la Justicia, con esto se cultiva la vida personal"

Eugenio Zonhamir T.T.

Gracias a la Universidad Distrital por darme la oportunidad de crecer intelectualmente, a todos los docentes que participaron en ese proceso y en especial a mi tutora que desde su vocación como docente y su nivel como ingeniera supo siempre guiarme; a mis compañeros de estudio por su amistad, respeto y compañía.

RESUMEN.

En el presente trabajo final de Tecnología en Electricidad se hace uso de diferentes conceptos propios de la electricidad, técnicas de medidas eléctricas y programación aprendidos durante la carrera, aplicando el principio electroquímico de la electroósmosis basados en la patente ES 2 244 190 T3; para la construccion de un prototipo con electrodos utilizado para la desecacion de sitemas constructivos afectados por alto nivel de la capa freatica.

En el desrrollo de este proceso se realizó un circuito de control con un microcontrolador que genera una señal específica, la cual es medida en los Laboratorios de Electricidad de la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, sede Facultad Tecnológica en sus variables eléctricas de tensión [V]; intensidad [mA]; frecuencia [Hz]; campo eléctrico [mV/m] y magnético [µA/m].

A partir de estas pruebas; se fabrican unos pequeños tanques delimitados por una barrera impermeable relacionada con el objetivo de este experimento, para implementar el circuito de control arriba mencionado y verificar la aplicabilidad del mismo.

Con lo anterior, se comprueba que el flujo electroosmótico está directamente realcionado con la tensión aplicada; pero que, como el equipo será de funcionamiento continuo y prolongado se escoge una diferencia de potencial que no es problemática para la estabilidad del sistema de control ni para la seguridad de las personas; así, el prototipo se implementa a 59.8 [Vdc] para periodos [T] de 6 [s] durante 8 días.

El marco teórico viene dado dentro de los procesos de transporte de fluidos a microescala donde la ecuación de Navier-Stokes analizada en una dimensión es el punto de partida para obtener la velocidad del flujo electroósmostico en el sistema.

Finalmente se concluye que el sistema electroósmotico es de alta aplicación y bajo costo en cuanto a sus componentes de circuitos eléctricos y que en suma; no representa riesgo eléctrico ni magnético para las personas.

ABSTRACT

In this final assignment of Technology in electricity use different concepts of electricity, electrical measurements and programming techniques learned during the program, applying the principle of electro electroosmosis based on patent ES 2244190 T3; for the construction of a prototype with electrodes applied to the desiccation of construction's systems.

During this process a control circuit was performed using a micro controller that generates a specific signal, which is measured in the electricity's laboratory of University Francisco Jose de Caldas in technological seat in their electrical variables of voltage [V] ; intensity [mA]; frequency [Hz]; electric field [mV / m] and magnetic field [uA / m].

After these tests; a small tank was manufactured delimited by an impermeable barrier related objective of this experiment, to implement the above-mentioned control circuit and verify the applicability of it.

In the development of evidence is found that the electro osmotic flow is directly relate with the applied voltage; but as the equipment will be extended and continuous operation a potential difference that is not problematic for the stability of the control system neither for people usage is in this way, the prototype is implemented to 29.8 [V] DC for periods [T] 6, 8 and 10 [s] during 5 days.

The theoretical framework is implemented in the microdcale fluid transport processes where the Navier-Stokes analyzed in one dimension for speed electro ósmostico flow in the system is the starting point.

Finally it is concluded that the electroosmotic system is easy to use and inexpensive in their circuital components add to this it does not represent magnetic or electrical hazard to persons.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA ..... **I**

AGRADECIMIENTOS ..... **II**

RESUMEN. ..... **III**

ABSTRACT ..... **IV**

TABLA DE CONTENIDO ..... **V**

LISTA DE TABLAS ..... **VI**

LISTA DE IMAGINES ..... **VII**

LISTA DE ILUSTRACIONES ..... **VII**

LISTA DE ECUACIONES ..... **VIII**

1. INTRODUCCIÓN. **1**

1.1 JUSTIFICACIÓN. 1
1.2 ANTECEDENTES. 3
1.3 OBJETIVOS 7
1.3.1 Objetivo general: *7*
1.3.2 Objetivos específicos: *7*

2. MARCO CONCEPTUAL Y TEORICO. **8**

2.1 DOBLE CAPA ELÉCTRICA. 8
2.2 ANÁLISIS UNIDIMENSIONAL DE LA ECUACIÓN DE NAVIER-STOKES PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DEL FLUJO ELECTROOSMÓTICO. 11
2.3 ANÁLISIS DIMENSIONAL Y CÁLCULO DEL VALOR DE LA VELOCIDAD DEL FLUJO ELECTRO OSMÓTICO EN EL PROTOTIPO: 21

3. FASE EXPERIMENTAL **23**

3.1 METODOLOGÍA GENERAL. 23
3.2 SIMULACIÓN. 23
3.2.1 Resultados de la simulación *25*
3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO 30
3.3.1 Pruebas de circuito eléctrico. *33*
3.3.2 Resultados de la implementación *35*
3.3.3 Potencia y energía consumidas *44*

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA. **49**

5. CONCLUSIONES. **52**

5.1 RECOMENDACIONES. 54

BIBLIOGRAFÍA **55**

ANEXOS. **57**

Lista de tablas

Tabla 1 Sistemas electroosmóticos a nivel mundial 6
Tabla 2 Valores límite de exposición a los campos electromagnéticos dado por el RETIE (Ministerio de Minas y Energía, 2013, pág. 74) 7
Tabla 3 Parámetros físicos y electroquímicos usados en fenómenos electro cinéticos (Velázquez Jiménez, 2013, pág. 11) 22
Tabla4 Tiempos de prueba para equipo 25
Tabla 5 Variables eléctricas y ambientales para T 6[s] 35
Tabla 6 Variables de campo eléctrico y magnético para T 6[s] 36
Tabla 7 Variables eléctricas y ambientales para T 8[s] 36
Tabla 8 Variables de campo eléctrico y magnético para T 8[s] 36
Tabla 9 Variables eléctricas y ambientales para T 10[s] 37
Tabla 10 Variables de campo eléctrico y magnético para T 10[s] 37
Tabla 11 Comparativa valores de campo eléctrico y magnético entre normativa colombiana y prototipo 37
Tabla 12 Datos para T 6[s] en prueba de 14 días 38
Tabla 13 Datos 8 días para T 6[s] ánodo de grafito 41
Tabla 14 datos para 8 días para T 6[s] con ánodo de acero inoxidable 42
Tabla 15 Incertidumbre en medida de tensión 45
Tabla 16 Incertidumbre en medida de intensidad 45
Tabla 17 Incertidumbre en potencia y energía ánodo de cobre. 46
Tabla 18 Incertidumbre en potencia y energía ánodo de grafito. 46
Tabla 19 Incertidumbre en potencia y energía ánodo de acero 47
Tabla 20 Relación energía costo para materiales de ánodo 47
Tabla 21 Relación de pozos subterráneos en el área de la ciudad de Bogotá D.C. según mapa 63

Lista de imagines

Imagen1 Salón afectado por humedad debida a capilaridad..... 2
Imagen2 Pared afectada por humedad debida a alto nivel en zona freática..... 2
Imagen3 Pared bajo chimenea..... 3
Imagen 4 Modelo de la doble capa eléctrica (Ahualli, 2008, pág. 15)..... 9
Imagen5 Montaje de los electrodos en el elemento y representación de un poro en el sistema a desecar o deshumificar..... 14
Imagen 6 Montaje con relés de estado sólido para prototipo de prueba deshumificador... 31
Imagen7 Montaje con opto acopladores tipo TH en prueba de T 10[s] 31
Imagen8 Montaje con opto acopladores tipo MS en prueba T 6[s]..... 32
Imagen9 Medida con instrumentos para intensidad y tensión en prototipo final deshumificador 32
Imagen 10 Señal de 6[s] dada por el microcontrolador en las terminales del circuito de optoacopladores del prototipo. 33
Imagen11 Señal de 8[s] dada por el microcontrolador en las terminales del circuito de optoacopladores del prototipo. 34
Imagen12 Señal de 10[s] dada por el microcontrolador en las terminales del circuito de optoacopladores del prototipo. 34
Imagen13 Montaje con prototipo 35
Imagen14 Mancha de electrodo de cobre en elemento a desecar y en el agua. 40
Imagen15 Electrodo de grafito..... 41
Imagen 16 Materiales utilizados como electrodo en ánodo..... 43
Imagen 17 Mapa hidrogeológico de Bogotá D.C. (Alcaldia de Bogotá D.C. Secretaria Distrital de Ambiente, 2013) 61

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Condiciones límite de la doble capa (Schlegel, 2013)..... 14
Ilustración 2 Montaje en simulación..... 26
Ilustración 3 simulación con instrumentos..... 26
Ilustración 4 Simulación con osciloscopio..... 27
Ilustración 5 Diagrama de flujo para programa 27
Ilustración 6 Programa en lenguaje C++ para control de circuito optoacopladores. 30

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Desplazamiento eléctrico *11*
Ecuación 2 Forma diferencial de la Ley de Gauss en el vacío *11*
Ecuación 3 Intensidad de campo eléctrico *12*
Ecuación 4 Densidad de carga en su forma diferencial *12*
Ecuación 5 Intensidad de campo eléctrico en su forma diferencial *12*
Ecuación 6 Ecuación de Navier-Stokes *13*
Ecuación 7 Ecuación de Navier-Stokes unidimensional para determinar la velocidad de flujo electroosmótico *15*
Ecuación 8 Vorticidad de la velocidad de flujo *15*
Ecuación 9 Potencial de velocidad de flujo *15*
Ecuación 10 Relación campo y potencial *16*
Ecuación 11 Sustitución para la forma diferencial de la ley de Gauss en el vacío *16*
Ecuación 12 Densidad de carga *16*
Ecuación 13 Términos del límite de Debye-Hückell *17*
Ecuación 14 Implementación del límite de Debye-Hückell en la ley de Gauss en el vacío *17*
Ecuación 15 Inverso de la longitud de Debye para un electrolito *17*
Ecuación 16 Laplaciano del potencial en términos de la longitud de Debye *17*
Ecuación 17 Ecuación para la solución del potencial producido por la doble capa *17*
Ecuación 18 Solución para el potencial en la doble capa *18*
Ecuación 19 Densidad de carga e términos de zita *18*
Ecuación 20 Velocidad del flujo electro osmótico en el electrólito *18*
Ecuación 21 Solución para el potencial en la simetría del poro *20*
Ecuación 22 Velocidad para la simetría del poro *20*
Ecuación 23 Velocidad electro osmótica para la simetría del poro simplificada *21*
Ecuación 24 Composición química sulfato de cobre II en su forma hidratada *40*

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Justificación.

En la actualidad en Bogotá, D.C. las empresas de rehabilitación en construcción especializadas en el área de tratamiento de humedades que intervienen las humedades producidas por alto nivel de zona freática utilizan sistemas altamente invasivos como puede ser un filtro perimetral a nivel de la cimentación (Grupo editorial CEAC, 2005, pág. 285).

Una de las grandes afectaciones debidas a humedad en espacios cerrados, son las producidas a nivel respiratorio, según artículo publicado en la revista NIOSH (National Institut for Ocupacional Safety and Healt) de los EEUU:

"*En el 2009, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó la Guía sobre calidad de aire interior: humedad y moho [OMS 2009]. Sobre la base de su revisión de la literatura científica hasta julio de 2007, la OMS estableció que hay evidencia epidemiológica suficiente para concluir que los ocupantes de edificios con humedad están en riesgo de desarrollar síntomas del tracto respiratorio superior e inferior (incluidos la tos y el silbido al respirar), infecciones respiratorias, asma y exacerbación del asma. Por otra parte, el informe de la OMS determinó que hay evidencia limitada que sugiere una relación entre los edificios con humedad y la bronquitis y la rinitis alérgica, y que hay evidencia clínica que sugiere que la exposición al moho y otros agentes microbianos en los edificios con humedad puede aumentar el riesgo de desarrollar neumonitis por hipersensibilidad, rinosinusitis crónica y sinusitis micótica alérgica. En el 2011, la revisión de la OMS se extendió para poder incluir las publicaciones de la literatura científica hasta noviembre del 2009. La evidencia adicional llevó a la conclusión de que la falta de aire (disnea), la bronquitis y la rinitis alérgica se deben añadir a la lista de efectos en la salud para los cuales hay suficiente evidencia para establecer su relación con la humedad y los agentes relacionados con la humedad [Mendell et al. 2011].".* (NIOSH, 2012)

Desde lo anterior, desarrollar un proyecto con métodos científicos basado en principios eléctricos para eliminar esta clase de deficiencia constructiva, se presenta como una opción acertada si se garantiza el control de la cantidad de agua de la zona freática absorbida por los capilares de la cimentación hacia suelos y paredes de la primera planta de las edificaciones.

A continuación se presenta una vivienda estrato socioeconómico 4 del sector Galerías sometida a los efectos de la patología que trata la presente investigación, la cual ha sido intervenida en varias ocasiones sin presentar; como lo demuestran las imágenes adjuntas, resultados duraderos en el tiempo.



Imagen1 Salón afectado por humedad debida a capilaridad



Imagen2 Pared afectada por humedad debida a alto nivel en zona freática



Imagen3 Pared bajo chimenea

1.2 Antecedentes.

Se han realizado varios estudios acerca de la desecación de sistemas constructivos a partir de la electroósmosis tanto en países europeos como americanos, con patentes conocidas en Austria (2398 de 1986); España (ES 2 037 500 de 1990); Estados Unidos (5.368.709 *(Utklev k. , 1994)*, 4.600.486 *(Oppitz, 1986)* y 5.015.351 *(Miller, 1991)*); Suecia (8106785-2 y 8601888-4 de 1997); Canadá (CA-A_22116232 de 1997) y más recientemente, España(ES 2 244 190 T3 de 1999) *(Bjerke, 1999)*.

Las dos primeras se fundamentan en la emisión de ondas electromagnéticas a través de los elementos afectados, la austriaca por medio de electrodos, mientras que en la segunda; la española, se propone un sistema de radiación inalámbrica de ondas electromagnéticas y de la optimización de costos en los materiales del equipo. Desde la tercera el apartado ***"antecedentes de la invención"*** coincide en todas, desde la estadounidense de 1996, hasta la española de 1999, el cual se presenta enseguida:

*"**Antecedentes de la invención***

La presente invención se refiere generalmente a un método para deshidratar materiales porosos, tales como paredes y/o suelos húmedos de una estructura de mampostería u hormigón, así como la estructura de contención de arcilla de un relleno de tierra, a través del uso de electroósmosis. Más particularmente, la presente invención se refiere a aplicar

un voltaje de corriente continua de un patrón pulsatorio específico a un ánodo embebido en un material poroso y permitir que el voltaje atraviese el material poroso hasta un cátodo embebido en tierra.

Los problemas de humedad en estructuras de contención son comunes, particularmente en estructuras de edificios situadas al menos parcialmente de forma subterránea. Además, los esfuerzos actuales para minimizar el tiempo de construcción de edificios a menudo no permiten un tiempo de secado adecuado para el hormigón, conduciendo a problemas de humedad en la estructura del edificio.

Se ha desarrollado un número de métodos para deshidratar materiales porosos tales como estructuras de hormigón y mampostería. Aunque son marginalmente eficaces, un número de estos métodos requiere una energía y un tiempo significativos para alcanzar los resultados marginales...

...Ha habido un número de intentos comerciales para deshidratar estructuras de edificios usando electroósmosis. En algunos países europeos, se ha empleado el llamado sistema de electroósmosis "pasiva", en el que se usa una diferencia de potencial natural que se crea entre un material húmedo y sus alrededores. Este tipo de instalación ha dado resultados marginales.

En otros tipos de sistemas de electroósmosis, se ha usado una corriente continua o corriente alterna convencional para generar una diferencia de potencial. Con estos sistemas, solo es posible transportar agua entre el ánodo y el cátodo a lo largo de un período de tiempo corto, debido a que las fuerzas después de algún período se invertirán de modo que el electrolito (agua) es transportado de nuevo hasta su origen. Los esfuerzos se dirigieron así a desarrollar un sistema capaz de funcionar a lo largo de un periodo de tiempo prolongado, sin que el llamado "potencial Z" se invierta, lo que significa que el agua vuelve de nuevo al material capilar.

Se ha desarrollado un número de sistemas que utilizan una corriente continua pulsatorio, esto es en los que la corriente se cambia entre potenciales positivos y negativos. Tales sistemas se describen en las Patentes de EE.UU. N_ 5.368.709, 4.600.486 y 5.015.351, así

como en las solicitudes de Patente Sueca 8106785-2 y 8601888-4 (P. Eliassen), la Patente Sueca N_ 450264 y la Patente Polaca N_ 140265 (Basinsky y otros). Estos sistemas conocidos tienen problemas relativos a la durabilidad de los electrodos en la cara anódica del sistema debido a que los ánodos son fácilmente corroídos debido a un fenómeno de reducción oxidación.

Además, estos sistemas conocidos no han equilibrado la energía de los impulsos positivos y negativos en voltaje-segundos, también denominado flujo magnético, a fin de que se obtenga un flujo de salida de agua máximo del material poroso de la estructura sin tener un humedecimiento adicional del material poroso en un momento ulterior.

Finalmente, la Patente de EE.UU. N_ 5.755.945 y la Patente Canadiense N_ CA-A-2 216 232, ambas de Kristiansen, describen un método y un aparato para deshidratar un material poroso usando electroósmosis en el que un patrón impulsos de voltaje de corriente continua se aplica a electrodos embebidos en el material poroso. El patrón pulsatorio incluye una duración del impulso positivo, que está seguida subsiguientemente por una duración del impulso negativo y una pausa, o impulso neutro. Significativamente, Kristiansen contempla un intervalo del impulso positivo T+ entre 0,8-0,98, un intervalo del impulso negativo T- entre 0,0-0,05 y un intervalo del impulso neutro Tp entre 0,02-0,15."(Bjerke, 1999, pág. 2).

En la

	SISTEMAS ELECTROOSMÓTICOS EN EL MERCADO MUNDIAL							
Año de fundación	1978	1984	1985		1997	2000	2000	2003
Nombre	LECTROS	MURSEC ECO	AQUAMAT	AQUACONTROL	DOMODRY	KALIBRA DRY Y KONTROL DRY	HUMITRONIC	WATERTEC
Patente		ES 2 244 190 T3	Patente europea (EP0395085)		UIBM Patent No. 0001391107;EPO Application No. 9167412 US Patent Application No. 13/029,053			
Página web	http://www.lectros.com/	http://www.humicontrol.com/humicontrol/Humedades capilaridad/Humedades capilaridad problema.htm	http://www.murag.ch/	http://www.sterlingrefurbishments.co.uk/electromagnetic-osmosis-damp-proofing	http://www.domodry.it./eng/solution-2A.asp	http://www.skm-italia.eu/KDGaranzie.aspx	http://www.humitronic.com.ar/	http://www.watertec.com.ar/
Enlaces de información		COSTO http://es.charla.actualidad.narkive.com/3VHkJ354/humedades.			Compatibilidad electromagnética http://www.domodry.it/eng/fag.asp			Certificado de compatibilidad elcetromagnética http://www.watertec.com.ar/descargas/OAprobaciones.pdf
País	Australia y Reino Unido	España	Suiza	Alemania	Italia	Italia	Uruguay	Argentina
Tipo de sistema	ELECTRODOS	INALÁMBRICO	INALÁMBRICO	ELECTRODOS E INALÁMBRICO	INALÁMBRICO	INALÁMBRICO	INALÁMBRICO	INALÁMBRICO
Costo para 100 m²		6.052,00 €						1800USD
Costo en pesos colombianos por m² según TMR Banco de la República febrero 2016 http://www.banrep.gov.co/es/trm		$ 150.967,65						$ 34.766,10
Invasión estructura	SI	NO	NO	DEPENDE DE SITEMA	NO	NO	NO	NO
Contaminación electromagnética		A 0.5 [M] > 20[nT]			0.3 [m] 0,015[µt]	0,3 [V/m] 6,25 [µT]		A 0,5 [m] 0,213 [V/m] 0,0025 [µT]
Comercialización	Ausmotic Wikamol group	Humitronic	Humipro Murag A.G.	Sterling home improvement	Leonardo solutions	SKM S.R.L.	Humitronic	Water service international
Gratantía equipo	20 años	20 años		30 años	3 años		30 años	20 años incluido mantenimiento
Mecanismo de garantía	Contrato	Aseguradora a 10 años	Contrato	Contrato	contrato (Vitalicio)	Contrato a 3 años	contrato a 1 año garantia total de satisfacción	Contrato
Visibilización de resultado	Entre 6 meses y 1 año	2 meses	3 a 12 meses	3 y 4 semanas	De 6 a 24 meses	4 a 6 semanas	4 a 8 meses	6 meses a 1 año

Tabla 1 Sistemas electroosmóticos a nivel mundial se presenta una comparativa de los

representantes más significativos a nivel mundial del equipo mencionado.

A nivel nacional se identificó una investigación de la Universidad Nacional de Colombia realizada para obtener el título de Magister en Ingeniería-Geotecnia, por Luis E. Restrepo Mosquera donde se trata la electroósmosis para obtener "*un flujo de agua en un suelo fino, por lo general de tipo impermeable; como resultado del flujo de agua se presenta una reducción de la presión de poros, aumenta la resistencia y se produce consolidación en el suelo*." (Restrepo Mosquera, 2014).

	SISTEMAS ELECTROOSMÓTICOS EN EL MERCADO MUNDIAL							
Año de fundación	1978	1984	1985		1997	2000	2000	2003
Nombre	LECTROS	MURSEC ECO	AQUAMAT	AQUACONTROL	DOMODRY	KALIBRA DRY Y KONTROL DRY	HUMITRONIC	WATERTEC
Patente		ES 2 244 190 T3	Patente europea (EP0395085)		UIBM Patent No. 0001391107;EPO Application No. 9167412 US Patent Application No. 13/029,053			
Página web	http://www.lectros.com/	http://www.humicontrol.com/humicontrol/Humedades capilaridad/Humedades capilaridad problema.htm	http://www.murag.ch/	http://www.sterlingrefurbishments.co.uk/electromagnetic-osmosis-damp-proofing	http://www.domodry.it./eng/solution-2A.asp	http://www.skm-italia.eu/KDGaranzie.aspx	http://www.humitronic.com.ar/	http://www.watertec.com.ar/
Enlaces de información		COSTO http://es.charla.actualidad.narkive.com/3VHkJ354/humedades.			Compatibilidad electromagnética http://www.domodry.it/eng/fag.asp			Certificado de compatibilidad elcetromagnética http://www.watertec.com.ar/descargas/OAprobaciones.pdf
País	Australia y Reino Unido	España	Suiza	Alemania	Italia	Italia	Uruguay	Argentina
Tipo de sistema	ELECTRODOS	INALÁMBRICO	INALÁMBRICO	ELECTRODOS E INALÁMBRICO	INALÁMBRICO	INALÁMBRICO	INALÁMBRICO	INALÁMBRICO
Costo para 100 m²		6.052,00 €						1800USD
Costo en pesos colombianos por m² según TMR Banco de la República febrero 2016 http://www.banrep.gov.co/es/trm		$ 150.967,65						$ 34.766,10
Invasión estructura	SI	NO	NO	DEPENDE DE SITEMA	NO	NO	NO	NO
Contaminación electromagnética		A 0.5 [M] > 20[nT]			0.3 [m] 0,015[µt]	0,3 [V/m] 6,25 [µT]		A 0,5 [m] 0,213 [V/m] 0,0025 [µT]
Comercialización	Ausmotic Wikamol group	Humitronic	Humipro Murag A.G.	Sterling home improvement	Leonardo solutions	SKM S.R.L.	Humitronic	Water service international
Gratantía equipo	20 años	20 años		30 años	3 años		30 años	20 años incluido mantenimiento
Mecanismo de garantía	Contrato	Aseguradora a 10 años	Contrato	Contrato	contrato (Vitalicio)	Contrato a 3 años	contrato a 1 año garantia total de satisfacción	Contrato
Visibilización de resultado	Entre 6 meses y 1 año	2 meses	3 a 12 meses	3 y 4 semanas	De 6 a 24 meses	4 a 6 semanas	4 a 8 meses	6 meses a 1 año

Tabla 1 Sistemas electroosmóticos a nivel mundial

Debido a que el prototipo tendrá un uso doméstico los valores de intensidad de campo eléctrico y magnético no deben superar los especificados en el RETIE ((Ministerio de Minas y Energía, 2013, pág. 74)

	Intensidad de campo eléctrico (KV/m)	Intensidad de campo magnético (μT)
Exposición ocupacional en un día de trabajo de 8 horas	8,3	1000

Tabla 2 Valores límite de exposición a los campos electromagnéticos dado por el RETIE (Ministerio de Minas y Energía, 2013, pág. 74)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Diseñar el prototipo de un equipo basado en el principio de la electroósmosis con electrodos para la rehabilitación de sistemas constructivos deteriorados por humedad debida a alto nivel de zona freática en Bogotá, D.C.

1.3.2 Objetivos específicos:

1. Verificar la pertinencia del prototipo, mediante la consulta de información en diferentes medios de las zonas de Bogotá, D.C. donde las edificaciones están más expuestas a humedad debida a alto nivel de zona freática.
2. Escribir en lenguaje de alto nivel tipo C un programa que genere un tren de pulsos según datos recopilados en patentes.
3. Implementar el programa en microcontrolador junto al circuito de prueba correspondiente para el monitoreo y control en la interface investigador máquina.
4. Diseñar e implementar un artefacto que simule las condiciones de un material afectado por humedad debida a alto nivel en la zona freática para hacer las pruebas de laboratorio.

5. Determinar mediante pruebas con equipos específicos señal y frecuencia óptimas para la correcta operación del prototipo diseñado.
6. Cuantificar económicamente los valores para el diseño del prototipo del equipo de desecación de sistemas constructivos afectados por alto nivel en la zona freática en Bogotá, D.C.

2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO.

2.1 Doble capa eléctrica.

Un elemento importante a la hora de analizar la electroósmosis es el de la doble capa eléctrica debido a las interacciones fisico químicas que se presentan en ella a nivel microscópico, esta se puede definir , en nuestro caso, como la capa en que se determina el volumen de fluido en la movilidad electroosmótica.

A través del tiempo la teoria de la doble capa eléctrica a tomado diferentes concepciones (Ahualli, 2008)

FF Reuss hace mas de 200 años dio la primera demostración de lo que hoy se conoce como electrocinética, luego de forma descriptiva se realizaron varios experimentos , hasta que Widerman (1856) y Quinke (1861) dieron las primeras ideas para el estudio cuantitativo de estos fenomenos; pero no fue hasta Helmholtz (1879) que se concocio una primera representación teórica donde se representaba la doble capa electrica asimilandola a un condesador de placas parelelas; teoria que Smoluchowski (1903) ampliaria.

Gouy (1910)-Chapman (1913), propusieron que la doble capa no era estática sino difusa debida a las interacciones fisico-quimicas.

Finalmente, Stern (1924) combina ambas teorias mostrando como una parte de los iones se quedan adheridos a la superficie del metal (porcion lineal) mientras que otra debido a esa protonación (*adición de un protón a un átomo*) del electrolito permanece dispuesta para cambios.

Una descripción más de tallada de este fenómeno, nos la presenta la física Alejandra Ahualli en su tesis doctoral:

"*el campo electrico producido por la carga de los iones en el electrolito atrae iones de signo opuesto (contraiones) del medio los cuales forman una fina capa compacta cerca de la superficie de la particula, rodeada a su vez por una mas gruesa, denominada capa difusa. La carga superficial y la de los contraiones que se distribuyen alrededor manteniendo la electroneutralidad del sistema, forman la doble capa eléctrica, DCE.*" (Ahualli, 2008, pág. 13)

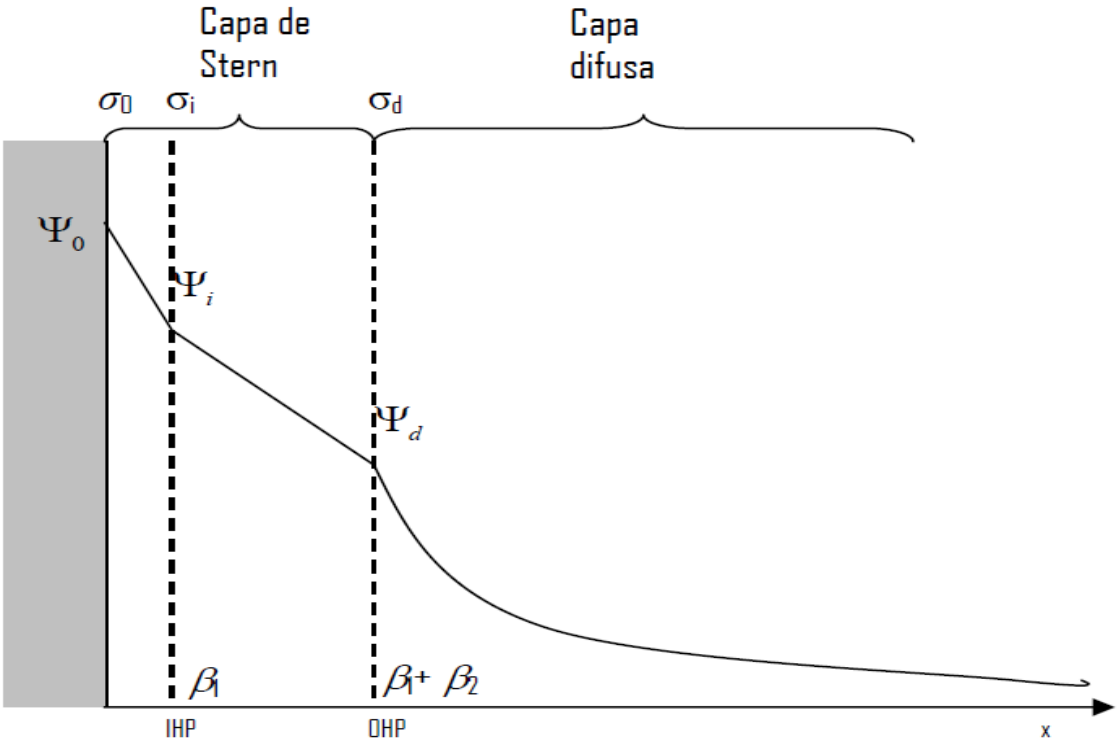


Imagen 4 Modelo de la doble capa eléctrica **(Ahualli, 2008, pág. 15)**

Donde

$\boldsymbol{\sigma_0}$ Carga superficial

$\boldsymbol{\psi_0}$ Potencial superficial

Luego en la capa de Stern delimitada entre el plano interno (IHP) y el externo (OHP) de Helmholtz con medida de aproximadamente un radio iónico se encuentra:

$\boldsymbol{\sigma_i}$Densidad de carga en el plano interno de Helmholtz

$\boldsymbol{\beta_1}$ Distancia para modelar un condensador de placas paralelas donde las placas son la superficie de la partícula y el plano donde se localizan las cargas.

$\boldsymbol{\psi_i}$ Potencial en la capa de Stern.

En el plano exterior de Helmholtz, más allá de un radio iónico $\boldsymbol{\beta_1 + \beta_2}$, donde las interacciones son más débiles, se encuentra la capa difusa o atmósfera de Debye con:

$\boldsymbol{\sigma_d}$ Densidad de carga difusa

$\boldsymbol{\psi_d}$ Potencial difuso.

También se considera el potencial z, el cual es el punto donde se encuentran la capa de Stern y la capa difusa, también conocido como plano de cizallamiento o punto donde la fuerza del campo aplicado tiene efecto sobre la estructura iónica del electrólito haciendo que exista arrastre de líquido; *"la propia existencia del potencial z es una abstracción (implica una discontinuidad en la viscosidad del medio que pasa de ser infinita en la capa de Stern a un valor finito en la capa difusa)"* (Ahualli, 2008, pág. 16), su importancia radica en que la mayoria de magnitudes representadas en la ***Imagen 4 Modelo de la doble capa eléctrica*** , son de difícil determinación; no así la del potencial z, que por medio de técnicas electrocinéticas se puede cuantificar, tomandose normalmente 26 [mV] (*valor obtenido mediante la ley de límite de Debye-Hückell*) como valor máximo; éste valor representa; entonces, el potencial que el electrolito al unirse con la superficie crea y el cual es el mínimo que debe romperse para que el campo magnético externo inducido pueda crear movimiento en el fluido.

Se toma $\boldsymbol{\psi_d} = \zeta$

2.2 Análisis unidimensional de la ecuación de Navier-Stokes para determinar la velocidad del flujo electroosmótico.

El siguiente desarrollo conceptual tiene origen en clases del profesor S. Ganguly del departamento de ingeniería química del Instituto de Tecnología de la India Kharagpur, impartidas dentro del marco de NPTEL (Programa nacional para el mejoramiento del aprendizaje tecnológico), para el curso de *"Procesos de trasporte a micro escala"* (Indian Institute of Technology Kharagpur, 2013) y también, del grupo de investigación del profesor Bryan Kirby de la Universidad Cornell, capítulo 6 *"electroósmosis"* (Kirby, 2012). Presentando aquí un análisis interpretativo de las mismas.

Cuando una carga eléctrica se introduce en un medio como el agua se presentan principalmente dos tipos de interacciones:

1. Se polarizan las moléculas del agua, de:

$$\overline{D} = \left(\frac{q}{4\pi}\right) * \left(\frac{\hat{r}}{\Delta r^2}\right)$$

Ecuación 1 Desplazamiento eléctrico

La anterior ecuación representa la asociación de una carga en el espacio con la velocidad que produce en una determinada dirección; ésta, definida en términos de la densidad de carga neta ρ_{el}.

$$\nabla \cdot \overline{E} = \frac{\rho_{el}}{\varepsilon_0}$$

Ecuación 2 Forma diferencial de la Ley de Gauss en el vacío

∇= Operador Nabla

ε_0= Permitividad del vacío

$\boldsymbol{\rho_{el}}$= Densidad de carga eléctrica

El teorema de Gauss representa la divergencia del campo eléctrico o lo que la carga le hace al medio en el que se encuentra.

2. Se induce un campo eléctrico, de:

$$\bar{F} = q * \bar{E}$$

Ecuación 3 Intensidad de campo eléctrico

$\bar{F}$ = Fuerza eléctrica

q = carga de estudio

$\bar{E}$ = campo electromagnético

Como se toma un volumen de control en un campo infinitesimal se puede decir que:

$$\rho_{el} = \frac{dq}{dt}$$

Ecuación 4 Densidad de carga en su forma diferencial

Reemplazando 4 en 3:

$$\bar{F} = \rho_{el} * \bar{E}$$

Ecuación 5 Intensidad de campo eléctrico en su forma diferencial

La ecuación de Navier-Stokes la cual es un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales no lineales que describen el movimiento de un fluido, tiene el siguiente recorrido a través de la historia *"Podemos decir que la teoría matemática de la dinámica de los fluidos comienza en el siglo XVII con el trabajo de Isaac Newton, quien fue el primero en aplicar sus leyes de la mecánica a los movimientos de los flujos. Más tarde Leonard Euler escribió por primera vez (1755) las ecuaciones diferenciales que rigen el movimiento de un fluido ideal, es decir, en ausencia de disipación debido a la interacción entre moléculas. Y finalmente C. Navier (1822) [52] e, independientemente, G. Stokes (1845) [61] introdujeron en el modelo el termino de viscosidad y llegaron a las ecuaciones que hoy denominamos "Navier-Stokes".* (Cordoba Gazolaz, 2011)

$$\rho\left(\frac{d_{v_i}}{d_t} + \bar{v} * \nabla v_i\right) = -\frac{d_p}{d_{xi}} + \eta\nabla^2\bar{v} + \rho g + \rho_{el}\bar{E}$$

Ecuación 6 Ecuación de Navier-Stokes

En el lado izquierdo, el primer término representa la variación de la densidad en un punto fijo del espacio y por ello se la denomina derivada local, mientras que el segundo representa la variación de la propiedad asociado al cambio de posición de la partícula fluida, y se la denomina derivada convectiva. En el lado derecho se relaciona la suma de: el diferencial de presión; el producto de la viscosidad con el laplaciano de la velocidad y las fuerzas externas que influyen en el líquido.

En resumen esta ecuación representa el balance de fuerzas en un volumen de control.

$\bar{v}$= *(*u_1, u_2, u_3*);* u_i = u_i*(x1; x2; x3; t) velocidad del fluido;*

p = p (x1; x2; x3; t) presión;

ρ = ρ (x1; x2; x3; t) densidad;

η = *cte.≥ 0 viscosidad;*

$\bar{E}$= *fuerza externa; para nuestro sistema el* $\bar{E}_{externo}$ *aplicado por una fuente.*

ρ_{el} = *Densidad de carga*

g= gravedad

Se toman condiciones de límite debido a que existe una pequeña capa donde las interacciones se realizan es de aproximadamente 10[nm] donde hay una diferencia de potencial ρ_0 con respecto al centro del fluido.

De acuerdo a nuestro sistema:

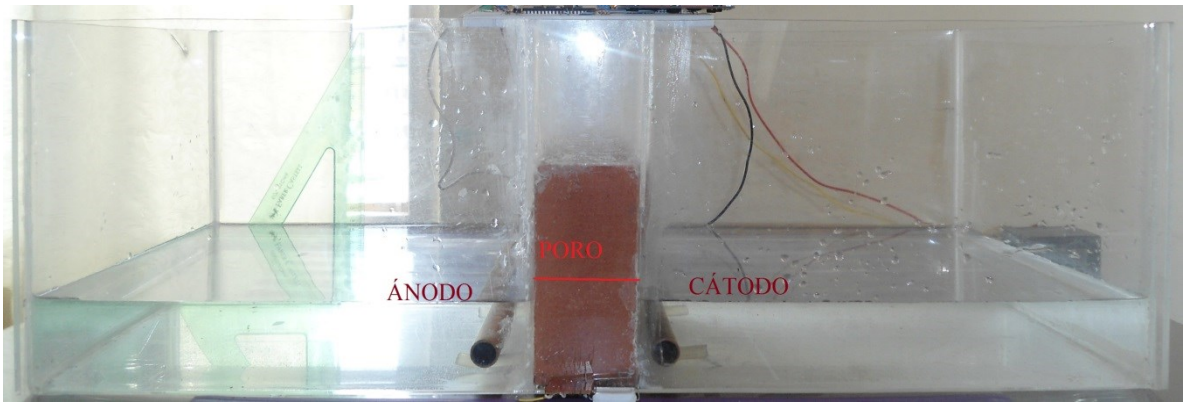


Imagen5 Montaje de los electrodos en el elemento y representación de un poro en el sistema a desecar o deshumificar

La estructura a nivel microscópico del poro en sus condiciones límite viene dada según se muestra:

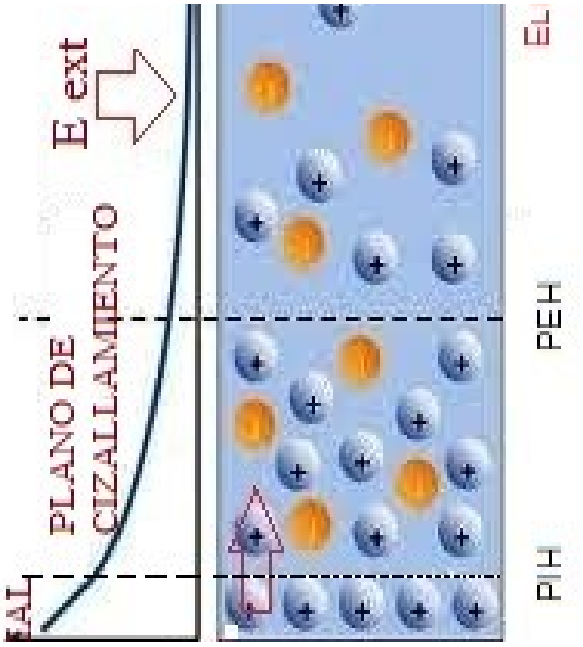


Ilustración 1 Condiciones límite de la doble capa (Schlegel, 2013)

Además se considera:

1. Flujo laminar e irrotacional (*uniforme y su rotacional es 0 para cualquier punto e instante)*
2. Sin gradiente de presión o presión uniforme en el espacio

3. Sin gravedad

Con lo anterior la *Ecuación 6 Ecuación de Navier-Stokes*:

El término de la izquierda se cancela debido a las ecuaciones de continuidad en el fluido (caso particular de principio de conservación de la masa), cuando el flujo es laminar.

El primer y tercer término de la derecha se cancela debido a la segunda y tercera condición resultando:

$$\eta \nabla^2 \bar{v} = -\rho_{el} \bar{E}$$

Ecuación 7 Ecuación de Navier-Stokes unidimensional para determinar la velocidad de flujo electro osmótico

Si se realiza una interpretación euleriana de la anterior ecuación, donde se toma una porción de prueba volumétrica para referenciar lo que sucede en el sistema completo; entonces, se tiene la carga neta en ese punto de prueba cuyo balance se da debido a la viscosidad del electrólito.

Como se dijo arriba existe un potencial en el fluido el cual se relaciona con la carga neta en el volumen de muestra de la siguiente forma:

De la *Ecuación 2 Forma diferencial de la Ley de Gauss en el vacío* para hacer un paralelo entre el potencial de velocidad de flujo y el campo eléctrico, cuando el flujo es irrotacional:

$$\nabla \, X \, v = 0$$

Ecuación 8 Vorticidad de la velocidad de flujo

v= velocidad de flujo

El potencial de flujo existe

$$v = -\nabla \emptyset$$

Ecuación 9 Potencial de velocidad de flujo

∅= Potencial creado por la velocidad

Entonces, en ausencia de cambios en el campo magnético:

$$\nabla X \bar{E} = 0$$

$$\bar{E} = -\nabla \emptyset$$

Ecuación 10 Relación campo y potencial

Reemplazando 10 en 2:

$$-\nabla^2 \emptyset = \frac{\rho_{el}}{\varepsilon}$$

Ecuación 11 Sustitución para la forma diferencial de la ley de Gauss en el vacío por el laplaciano

Con:

$$\rho_{el} = -2Z\bar{e}C_0 senh\left[\frac{Z\bar{e}}{K_B T}\emptyset(\hat{r})\right]$$

Ecuación 12 Densidad de carga

Dónde:

$\rho_{el} = Densidad\ de\ carga$

Z = valencia del elemento

$\bar{e}$= carga del electrón

K_B = Constante de Boltzman

T = Temperatura

C_0 = Concentración del electrolito

$\emptyset$ = potencial eléctrico

Reemplazando 12 en 11 y realizando una expansión tayloriana utilizando el límite de Debye-Hückell:

$$senh(u) \approx u \text{Si } Z\bar{e}\zeta \ll K_B T$$

Ecuación 13 Términos del límite de Debye-Hückell

Se obtiene:

$$\nabla^2 \emptyset = \frac{2(Z\bar{e})^2}{\varepsilon K_B T} \emptyset(\hat{r})$$

Ecuación 14 Implementación del límite de Debye-Hückell en la ley de Gauss en el vacío

Donde el inverso de la longitud de Debye (λ_D) es:

$$\frac{2(Z\bar{e})^2}{\varepsilon K_B T} = \frac{1}{\lambda_D}$$

Ecuación 15 Inverso de la longitud de Debye para un electrolito

Con lo anterior y sustituyendo 15 en 14:

$$\nabla^2 \emptyset = \frac{1}{\lambda_D} \emptyset(\hat{r})$$

Ecuación 16 Laplaciano del potencial en términos de la longitud de Debye

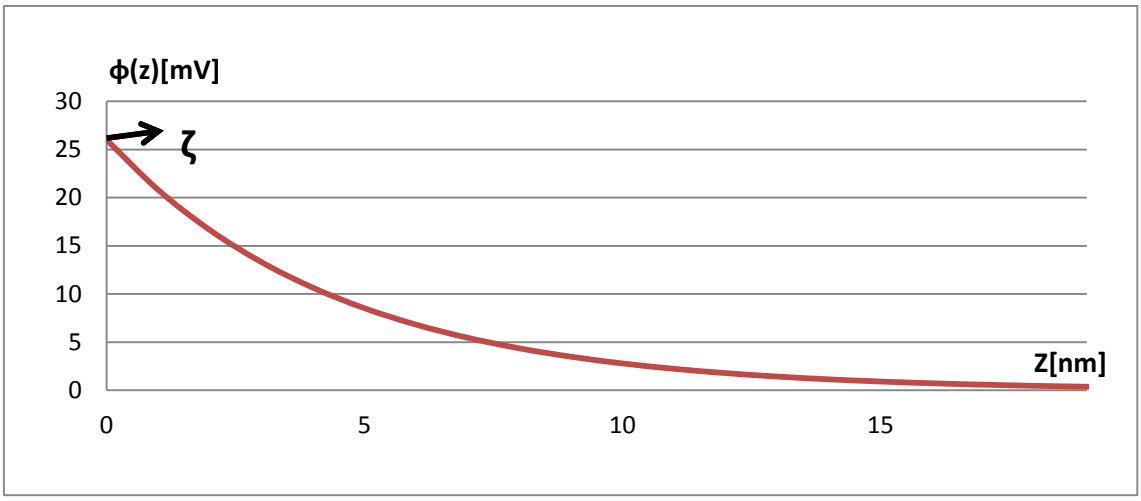
Operando el laplaciano en dirección z se obtiene:

$$\emptyset_{(z)} = C_1 e^{z/\lambda_D} + C_2 e^{-z/\lambda_D}$$

Ecuación 17 Ecuación para la solución del potencial producido por la doble capa

Solucionando dentro de las siguientes condiciones:

$\begin{cases} \emptyset_\infty = 0 \\ \emptyset_0 = \zeta \end{cases}$ Debido a esto: se elimina la capa de Stern



Gráfica1 Simplificación del sistema de la doble capa eléctrica en términos del potencia Z.

Dado que $\emptyset(z)$debe tener un valor limitado y C_1 tiende a infinito; $C_1 = 0$ y $C_2 = \zeta$ se obtiene:

$$\emptyset_{(z)} = \zeta e^{-z/\lambda_D}$$

Ecuación 18 Solución para el potencial en la doble capa

Con este resultado y despejando de *Ecuación 11*ρ_{el} se obtiene:

$$\rho_{el} = -\varepsilon \nabla^2 \emptyset$$

Ecuación 19 Densidad de carga e términos de zita

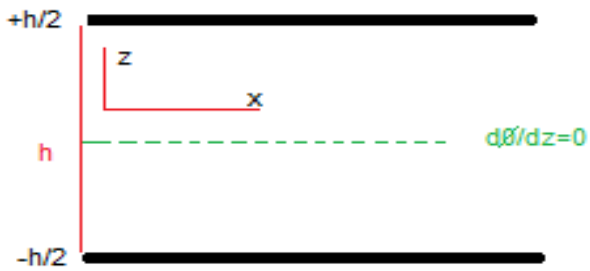
Con lo anterior; despejando y operando los laplacianos:

$$\bar{v}(z) = \frac{\varepsilon E_{ext} \emptyset_{(z)}}{\eta}$$

Ecuación 20 Velocidad del flujo electro osmótico en el electrólito

Todo lo anterior se resolvió para entender el comportamiento en la doble capa eléctrica para una pared pero el poro en nuestro experimento y en general; que es por donde circula el

líquido, le corresponde una simetría donde una pared delimita la parte superior y otra la inferior de la siguiente forma:



Gráfica2 Simetría para un poro del sistema

Extrapolando el procedimiento antes mostrado y resolviendo dentro de este nuevo marco, bajo las siguientes condiciones:

$$\begin{cases} \emptyset\left(\pm\frac{h}{2}\right) = \zeta \\ \frac{d\emptyset_{(z)}}{dz} = 0 \end{cases}$$

Además:

- el potencial z es continuo a lo largo de la pared
- $\bar{E}$ es homogéneo
- El flujo es laminar
- $\lambda_D \ll$ distancia al medio del poro
- $\bar{v}(x)\left(\pm\frac{h}{2}\right) = 0$ la velocidad en los extremos es nula debido al comportamiento físico químico mencionado en la doble capa eléctrica.

De la *Ecuación 17 Ecuación para la solución del potencial producido por la doble capa*

$$\emptyset_{(z)} = C_1 e^{z/\lambda_D} + C_2 e^{-z/\lambda_D}$$

Se tiene que C_1 ahora posee un valor no como en el caso anterior que tendía a infinito, resolviendo:

$$\emptyset_{(z)} = \frac{\cosh \frac{z}{\lambda_D}}{\cosh \frac{h/2}{\lambda_D}}$$

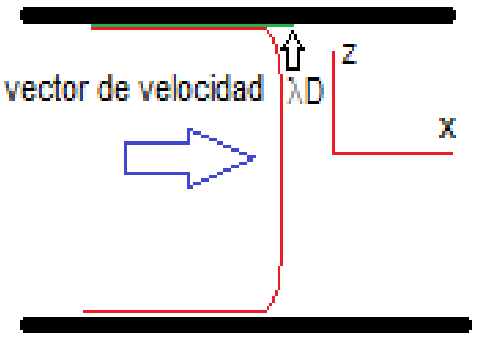
Ecuación 21 Solución para el potencial en la simetría del poro

Por último tomando la *Ecuación 20 Velocidad del flujo electro osmótico en el electrólito* y reemplazando $\emptyset_{(z)}$:

$$v_{x(z)} = \left\{ \left(1 - \frac{\cosh \frac{z}{\lambda_D}}{\cosh \frac{h/2}{\lambda_D}} \right) * \frac{\varepsilon \zeta E_{(x)}}{\eta} \right\}$$

Ecuación 22 Velocidad para la simetría del poro

Evaluando la anterior expresión con respecto a x se obtiene una gráfica como la siguiente:



Gráfica3 Perfil de velocidad electro osmótica en el poro

Debido a que el primer factor en el término derecho de la *Ecuación 22 Velocidad para la simetría del poro* se delimita con respecto a λ_D el cual según las condiciones arriba mencionadas es muy pequeño respecto a la simetría media del poro, se toma que la velocidad electro osmótica se puede calcular con:

$$v_{x(z)} = \frac{\varepsilon E_{(x)ext}\zeta}{\eta}$$

Ecuación 23 Velocidad electro osmótica para la simetría del poro simplificada

Dónde:

$\bar{v}$= velocidad $[\frac{m}{s}]$

ε = permitividad del agua = $\varepsilon_0 * 80$ $[\frac{F}{m}]$

E_{ext}= campo aplicado en dirección x $[\frac{N}{C}]$

ζ = Potencial [V]

η = viscosidad del electrolito $[\frac{kg}{m*s}]$

2.3 Análisis dimensional y cálculo del valor de la velocidad del flujo electro osmótico en el prototipo:

Sabiendo que el Faradio $F = \frac{C}{V}$

$$v = \frac{\left(\frac{C}{Vm}\right) * \left(\frac{N}{C}\right) * (V)}{\left(\frac{kg}{m*s}\right)}$$

Con Newton $N = \frac{Kg*m}{s^2}$

$$v = \frac{\left(\frac{\frac{Kg*m}{s^2}}{m}\right)}{\left(\frac{kg}{m*s}\right)}$$

$$v = \frac{\left(\frac{Kg}{s^2}\right)}{\left(\frac{kg}{m*s}\right)}$$

$$v = \frac{(m*s)}{s^2}$$

$$v = \left[\frac{m}{s}\right]$$

Sustituyendo datos:

η del agua a 25℃ $= 0.00089 \frac{Kg}{(m*s)}$

ζ = 26 [mV] = 0.026[V]

Aplicando una diferencia de potencial igual a 25[V]dc donde los electrodos están separados 7[cm]

$$E_{ext} = \frac{V_{ab}}{d} = \frac{25[V]}{0.07[m]} = 357.14 \left[\frac{V}{m}\right]$$

Reemplazando los anteriores valores en *Ecuación 23 Velocidad electro osmótica para la simetría del poro simplificada*

$$v_{x(z)} = 7.39 * 10^{-6} \left[\frac{m}{s}\right]$$

Se toma un término medio en el espesor del micro canal de acuerdo a la *Tabla 3 Parámetros físicos y electroquímicos usados en fenómenos electro cinéticos* igual a 150[µm]; además, una longitud del poro de 60 [mm];

Parámetro	Rango del parámetro
Espesor típico de microcanales, h(µm)	0,01 ~ 300
Concentración del electrolito, n0(mM)	10 ~ 0,001
Longitud de Debye, λD(nm)	100
Potencial Zeta, ζ (mV)	± 1 ~ ± 100
Campo eléctrico, E (V/mm)	1 ~ 100
Velocidad electroosmótica, U (mm/s)	< 2
Número de Reynolds, Re	10 ~ 1

Tabla 3 Parámetros físicos y electroquímicos usados en fenómenos electro cinéticos **(Velázquez Jiménez, 2013, pág. 11)**

3. FASE EXPERIMENTAL

3.1 Metodología general.

Se realizan cálculos eléctricos para determinar tensiones e intensidades relevantes en el circuito, también un programa en lenguaje de alto nivel C++ el cual se simula dentro del entorno de Proteus para verificar el funcionamiento de los componentes; las condiciones finales en que el prototipo se prueba involucra un electrodo de ánodo y otro de cátodo en tubo de cobre fabricado con tecnología de temple duro tipo M, con espesor de pared de 0.71 [mm], longitud 18.5 [cm], y área 153.93 [mm^2], Conductividad eléctrica a 20^0C: 41-52 $\frac{m}{Ohm}$* mm^2 y Resistividad eléctrica a 20^0C: 0.022 [Ω] $\frac{mm^2}{m}$separados una distancia entre ejes de 7[cm] donde el ánodo cambia de material para realizar las diferentes pruebas; cuya conexión eléctrica al circuito se realizó con conductor Centelsa *C TFF 60°C 18AWG 600V*, aplicando una tensión de fuente de 120[Vdc], los cuales se sumergen en dos tanques acrílicos de volumen 9540[cm^3] cada uno, donde se utilizan 3000[cm^3] para llenar con agua de la red de Bogotá D.C. separados por una barrera permeable de ladrillo prensado tradicional (24.5 X 12 X 5.5 [cm]) de la fábrica Santafé.

Bajo las condiciones anteriores se monta el equipo en su estado físico para realización de pruebas en el Laboratorio de Electricidad de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y así comprobar su funcionamiento y cuantificar su rendimiento.

3.2 Simulación.

Segùn lo especificado en propuesta se presentan los siguientes resultados en el proceso de simulación:

Elementos seleccionados para la prueba:

Rele a 5 [Vdc] de ST para conmutar la señal de control generada por el microcontrolador con la señal de la fuente 30[Vdc].

Integrado ULN2003a configuraciòn de 7 transistores tipo darlintong el cual nos sirve para ahorrar espacio en el sistema a implementar y conexiones; con lo cual, también evitamos fallos por conexiones eléctricas físicas. Èste elemento es el que nos garantiza que la bobina del relé será alimentada correctamente.

Diodos 1N4004 los cuales impedirán que al momento de desenergizar la bobina del relé las corrientes generadas por autoinducción afecten los dispositivos de control, en especial el microcontrolador. Ya que el cambio en la intensidad va a ser muy rápido tenemos:

$$U_{ind} = -L\frac{di}{dt}$$

"Cuando una corriente circula por una bobina, se crea un campo electromagnético en el que se acumula energía. Pues bien, si se interrumpe la corriente que circula por la bobina, el campo magnético intenta mantenerse como tal . Pero para ello necesita, precisamente, que circule una corriente. Puesto que la corriente externa se ha interrumpido, tendrá que ser la misma bobina la que proporcione la corriente necesaria, y eso solo puede ahcerlo convirteindose ella misma en fuente de corriente… para evitar corrientes tan altas hay que cortocircuitar la fuente…la manera más sencilla de provocar este cortocircuito es mediante un diodo de protección"(Harth, 2008, págs. 252,254)

Microcontrolador 16f877a de microchip.

Diodos leds que nos confirman la salida de señal del microcontrolador.

Resistencias de carbono 10[kΩ] para eliminar los rebotes en los interruptores, con ello el microcontrolador interpreta siempre que el interruptor este abierto un 0 lógico y cerrado un 1 lógico

LCD de 16x2 la cual nos sirve para verificar que en el equipo se esten realizando las funciones programadas.

Cristal oscilador el cual nos ayuda con la frecuencia de trabajo en ciclo de operaciones del microcontrolador y sus respectivos capacitores para evitar el rizado en la señal.

Un dip switch triple(interruptor triple) que nos da la señal de inicio a las funciones.

El programa es realizado en lenguaje de alto nivel C++ con el editor de PIC C el cual en su estado básico se trabaja para reproducir una señal de ánodo a cátodo del equipo que varía según los reles van dando paso a la intensidad generada por la fuente D.C. de 30 [Vdc] y que en suma; muestran errores de funcionamiento en el equipo como:

- Sobreintensidad por apertura de fusible en fuente DC 30[Vdc].
- Niveles bajos o altos de tensión en el circuito de control

Por otro lado, para las pruebas se implementarán 3 interuptores que dan la posibilidad de reproducir los tiempos de prueba en el equipo, los cuales serán montados en los pines (B1 a B4), evitando asì el desmonte del microcontrolador para nuevas programaciones.

Los tiempos de trabajo según propuesta se especifican en *Tabla4 Tiempos de prueba para equipo* donde el ciclo positivo es superior al 90% de T y esta relacionado en proporciòn 1:3 entre el primer T+ y el segundo T+; además, luego de cada T+ le sigue un T- , finalizando luego del segundo T- con un T neutro.

TIEMPOS DE PRUEBA PARA EQUIPO					
t de prueba [ms]	T_1+	T_1-	T_2+	T_2 -	T neutro
6000	1380	150	4140	150	180
8000	1600	200	4800	200	240
10000	2000	250	6000	250	300

Tabla4 Tiempos de prueba para equipo

Se espera una intensidad máxima desde la fuente de 120[V]dc y de 25[mA] según montaje, intensidad que no afecta el relé debido a que éste resiste una corriente de hasta 10[A].

3.2.1 Resultados de la simulación

Haciendo uso de el simulador Proteus versión 8.0 se realizan el montaje *Ilustración 2 Montaje en simulación*, verificando intensidades y tension de salida para la señal alimentada a 30[V]dc

Ilustración 3 simulación con instrumentos; para finalmente observar la señal obtenida en el osciloscopio *Ilustración 4 Simulación con osciloscopio*

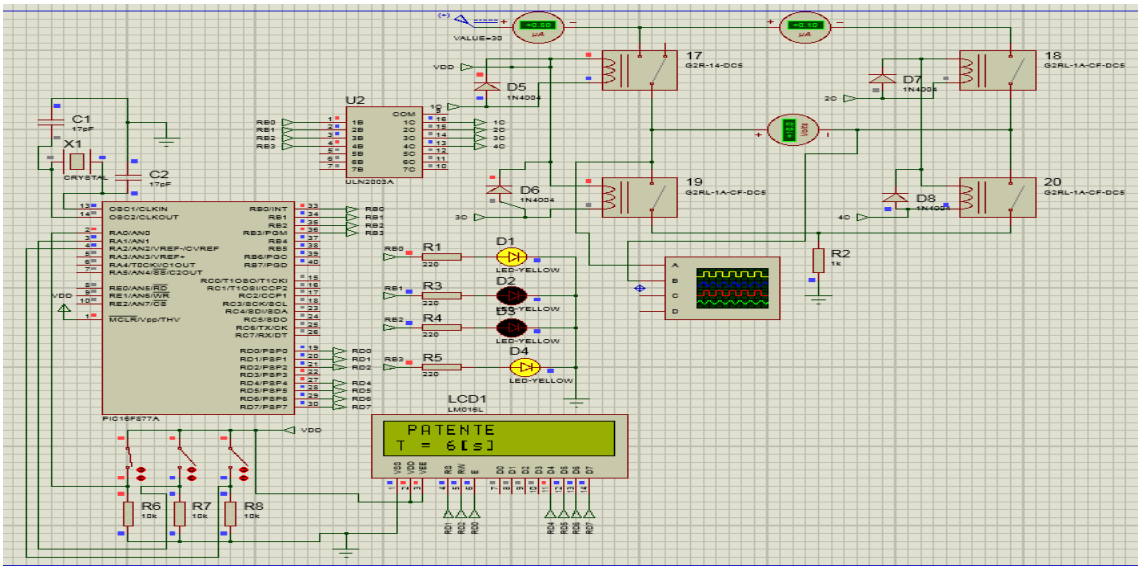


Ilustración 2 Montaje en simulación

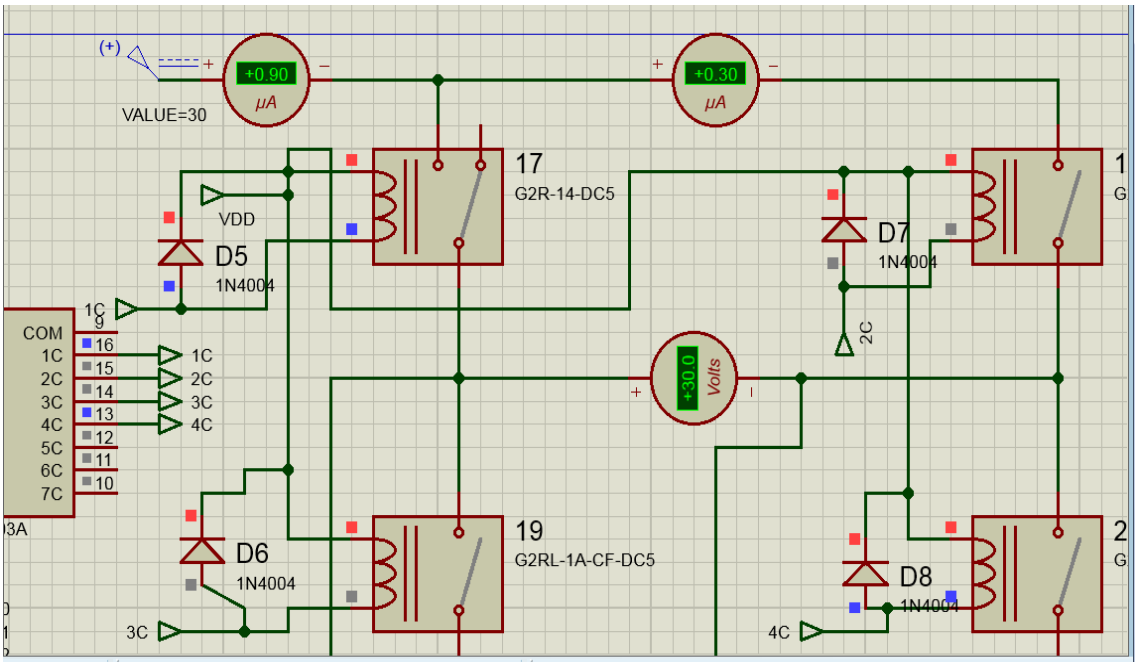


Ilustración 3 simulación con instrumentos

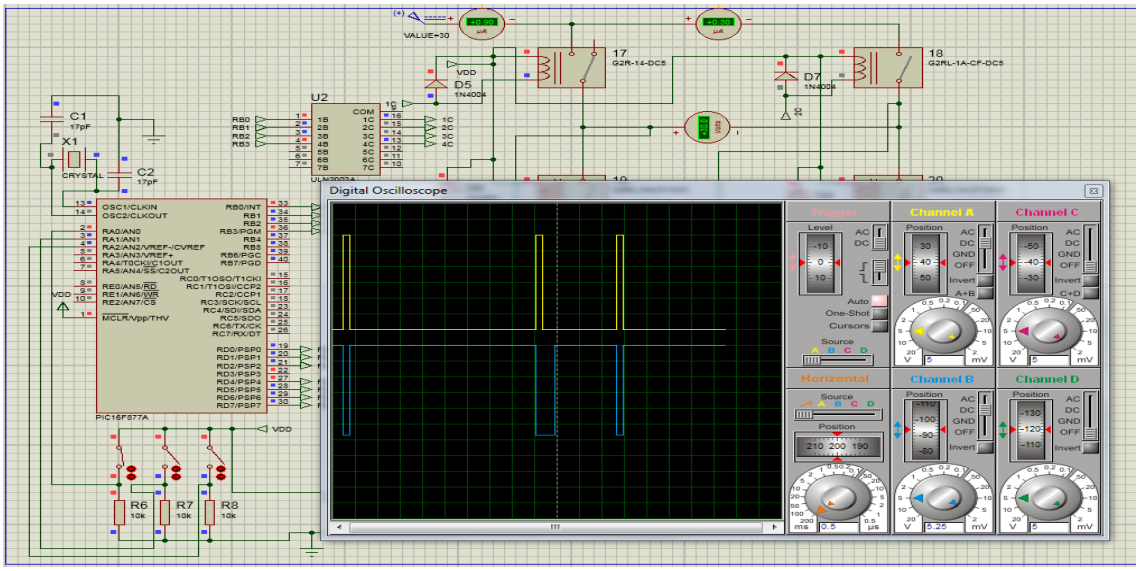


Ilustración 4 Simulación con osciloscopio

La programación se realiza desde el siguiente diagrama de flujo

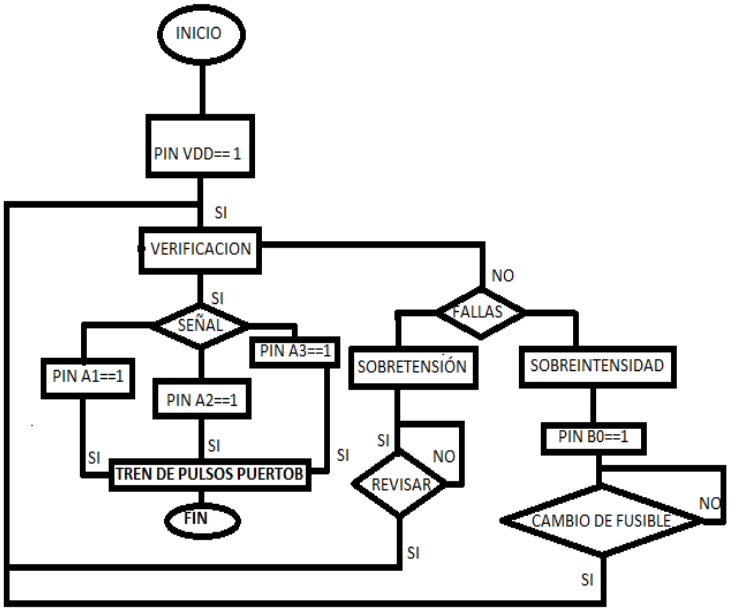


Ilustración 5 Diagrama de flujo para programa

Utilizando el programa PIC C 4.057; el cual se muestra *en Ilustración 6 Programa en lenguaje C++ para control de circuito optoacopladores*.; donde se utiliza la secuencia en bucle infinito WHILE (TRUE) y una selección tipo menú; ésta se puede realizar con las instrucciones (switch-case; llamado de funciones e if- else if-else) en este caso como se notará se escoge la última por su simplicidad. (Joyanes Aguilar, 2000, págs. 37,158)

También, en la instrucción para encendido de leds se escoge el tipo binario ya que de otra forma tendríamos que poner a cada pin en estado alto o bajo con las instrucciones

Output_high (PIN_B0); pone en 1 lógico el pin b0

Output_high (PIN_B3); pone en 1 lógico el pin b3

Delay_ms (1380); tiempo que tarda encendido

Output_low (PIN_B0); pone en 0 lógico el pin b0

Output_low (PIN_B3); pone en 0 lógico el pin b3

Delay_ms (20); tiempo para evitar rebote

Así estas 6 líneas de programa son reemplazadas con estas 3

Output_b (0b00001001); pone en 1 lógico los pines B0 y B3

Delay_ms (1380);

Output_b (0b00000110); pone en 1 lógico los pines B1 y B2 Y EN 0 al resto de pines en el puerto B

Con la siguiente instrucción se activaran los pines deseados desactivando los anteriores

```
#include <16f877a.h>
#fuses XT,NOWDT, NOPROTECT,
#use delay (CLOCK=4000000)    //frecuencia de trabajo en las operaciones
#use standard_io (b)
#use standard_io (c)
#use standard_io (d)
#include <lcd.c>           //libreria de lcd
#define use_portd_lcd TRUE //define puerto para lcd

 void main() {
set_tris_A(0xFF); //declara puerto a como entradas
set_tris_b(0x00); //declara puerto b como salidas
output_b (0x00);  //inicia puerto a en 0 lògico
lcd_init();       //inicia lcd
lcd_gotoxy(1,2);
printf (lcd_putc,"\fSELECCIONE SEÑAL");
delay_ms (200);

WHILE(TRUE) {

 if (input(PIN_A0)==1){   //pulsando interruptor 1
 printf (lcd_putc,"\f PATENTE");
   lcd_gotoxy(1,2);
  printf (lcd_putc,"T = 6[s]");
   lcd_gotoxy(2,1);
  delay_ms (100);

   output_b(0b00001001);  //activa pin B0 y B3
   delay_ms (1380);
   output_b (0b00000110); //activa pin B1 y B2
   delay_ms (150);
   output_b(0b00001001); //activa pin B0 y B3
   delay_ms (4140);
   output_b(0b00000110); //activa pin B1 y B2
   delay_ms (150);
   output_b(0b00001100); //activa pin B2 y B3
   delay_ms (180);

    }
```

señal.c *

```
41  else if (input(PIN_A1)==1){   //pulsando interruptor 2
42
43   lcd_gotoxy(1,2);
44   printf (lcd_putc,"\f T=8[s]");
45   delay_ms (100);
46    output_b(0b00001001);
47    delay_ms (1600);
48    output_b (0b00000110);
49    delay_ms (200);
50    output_b(0b00001001);
51    delay_ms (4800);
52    output_b(0b00000110);
53    delay_ms (200);
54    output_b(0b00001100);
55    delay_ms (240);}
56
57  else if (input(PIN_A2)==1){  //pulsando interruptor 3
58   lcd_gotoxy(1,2);
59   printf (lcd_putc,"\f T = 10[s]");
60   delay_ms (100);
61    output_b(0b00001001);
62    delay_ms (2000);
63    output_b (0b00000110);
64    delay_ms (250);
65    output_b(0b00001001);
66    delay_ms (6000);
67    output_b(0b00000110);
68    delay_ms (250);
69    output_b(0b00001100);
70    delay_ms (300); }
71
72      else {                //si no se pulsa nigun interruptor
73     printf (lcd_putc,"\fSELECCIONE T");
74    delay_ms (200);
75    output_b(0b00000000);              //apaga todos los leds
76    delay_ms (200);
77    }
78   }
79 }
```

Ilustración 6 Programa en lenguaje C++ para control de circuito optoacopladores.

3.3 Implementación del prototipo

Se realiza el montaje físico y la programación del micro controlador con el programador K150 ISCP notando que los valores positivos, negativos y neutros de tensión leídos fluctúan de una pulsación a otra.

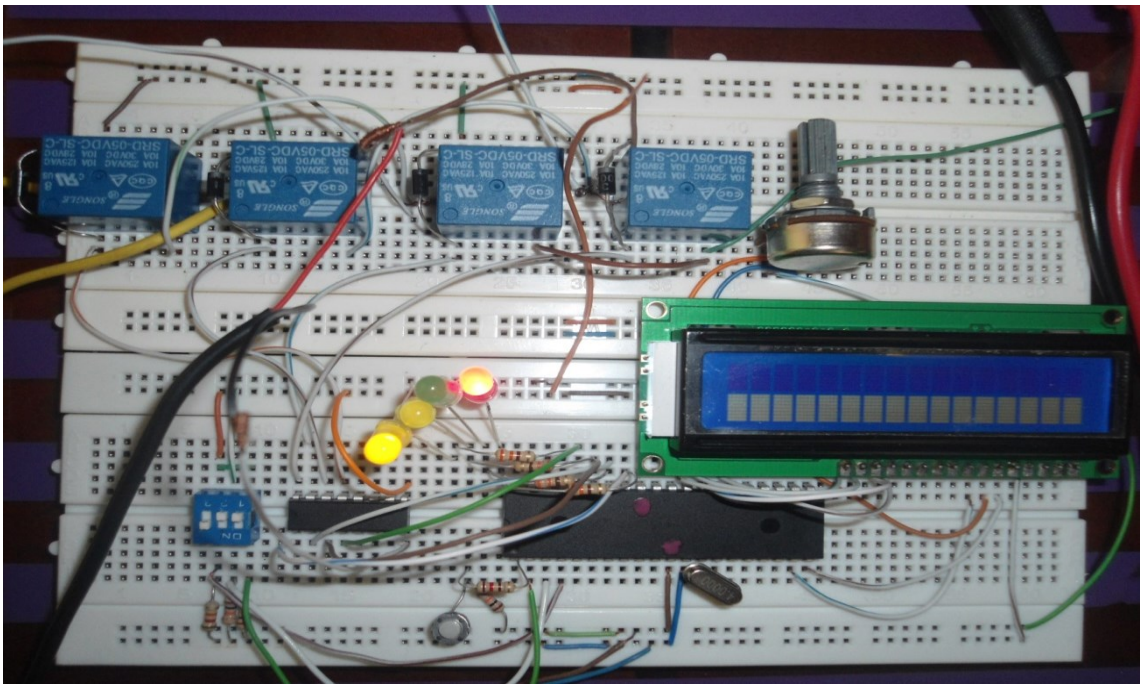


Imagen 6 Montaje con relés de estado sólido para prototipo de prueba deshumificador

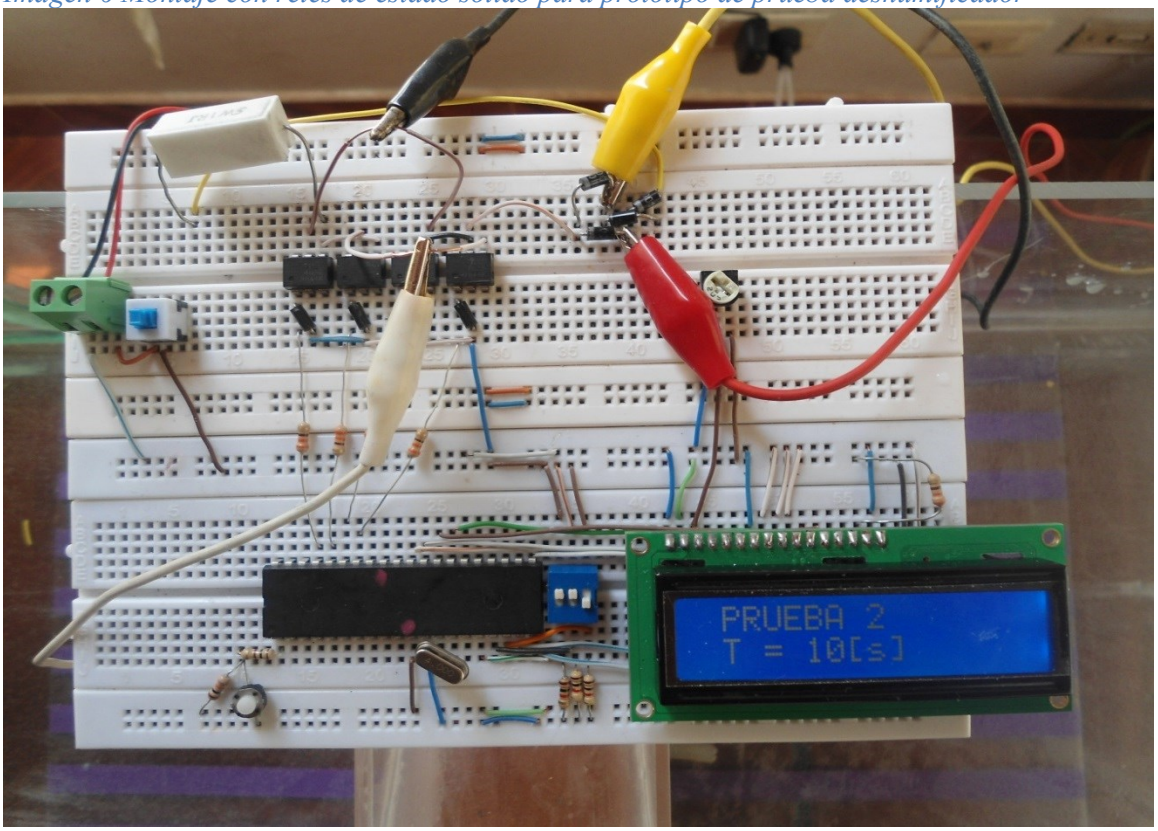


Imagen 7 Montaje con opto acopladores tipo TH en prueba de T 10[s]

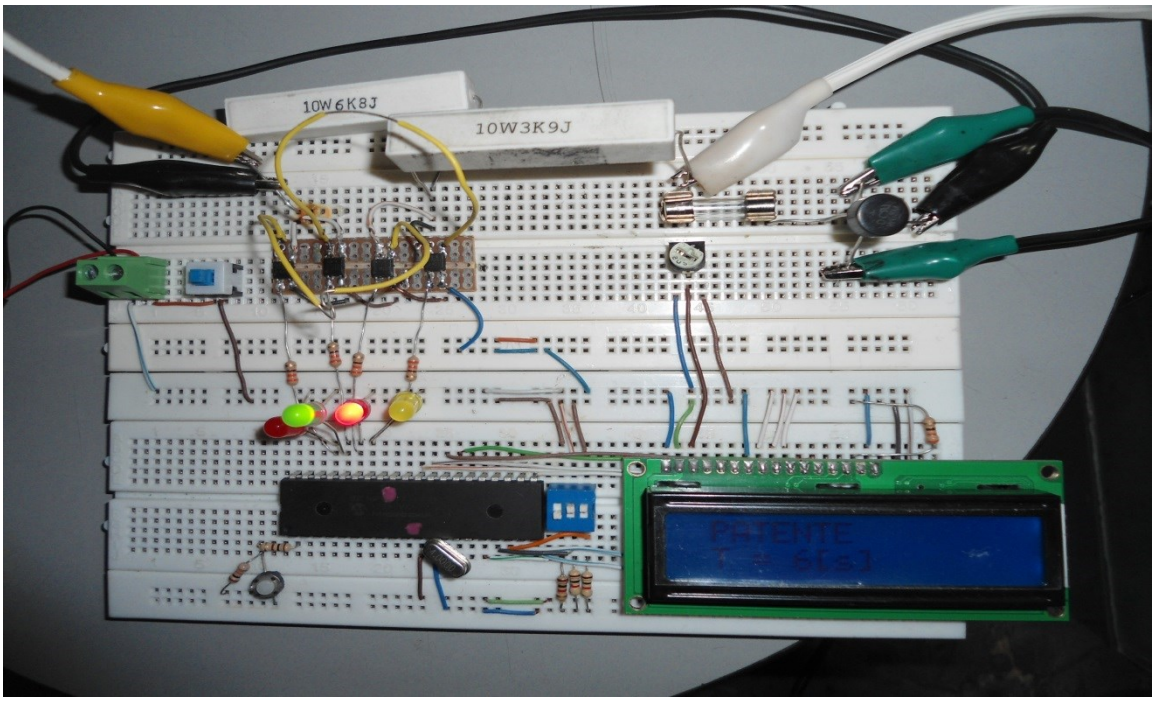


Imagen 8 Montaje con opto acopladores tipo MS en prueba T 6[s]

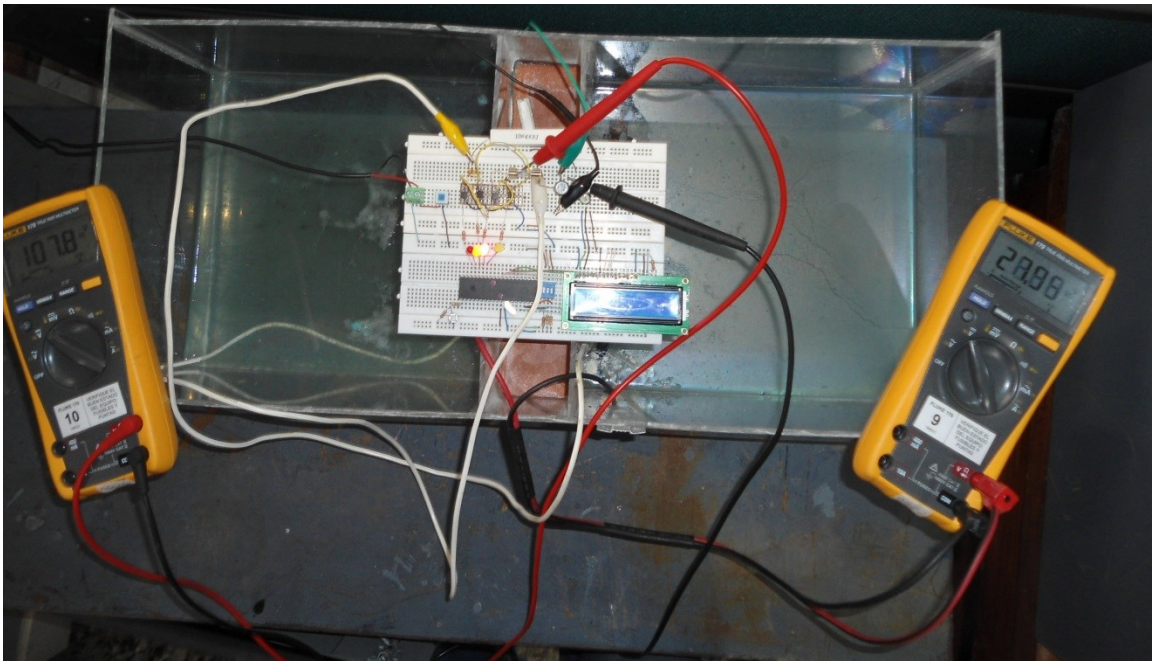


Imagen 9 Medida con instrumentos para intensidad y tensión en prototipo final deshumificador

También, se observa que los relés hacen mucho ruido debido a su funcionamiento electromecánico; debido a ello, se genera una consulta (Moreno Velasco, 2004) donde se encuentra que existen elementos electrónicos que a la tensión que trabajará el equipo

(30[V]dc) pueden reemplazar al relé, estos elementos son los optoacopladores o relés de estado sólido, que ofrecen un buen aislamiento galvánico, en especial para éste proyecto el 4N32 que opera hasta 30[V]dc V_{CE}; y su sensibilidad de activación se da desde 1[mA] según datasheet.

En la simulación se omite el regulador de tensión pero en el montaje se utiliza un L7805cv de St micorelectronics debido a que el circuito de control se alimentará con cargador de teléfono celular con una intensidad (5,9 [Vdc]) superior al máximo especificado en el datasheet del micro controlador (5,5 [Vdc]).

3.3.1 Pruebas de circuito eléctrico.

Se procede a energizar la fuente DC a 29[Vdc] registrando su tensión de salida con multímetro Fluke 179; así como su intensidad de salida con pinza amperimétrica Stech; también se conecta un multímetro Fluke 179 a las salidas donde irán posteriormente conectados los electrodos para; en una primera prueba verificar los cambios de intensidad en la señal de salida.

Luego en estos mismos terminales se procede a conectar el osciloscopio Rigol dejando las sondas en el rango de x1, y configurando acoplamiento DC con 10[Vdc] por división y 2 [s] por división en el eje del tiempo; se comprueba el periodo [T] de 6s; 8s y 10s. De donde se obtuvo la siguiente información gráfica.

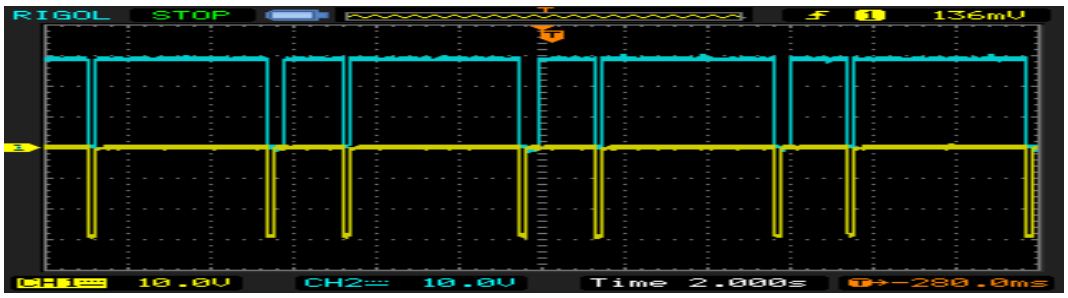


Imagen 10 Señal de 6[s] dada por el microcontrolador en las terminales del circuito de optoacopladores del prototipo.

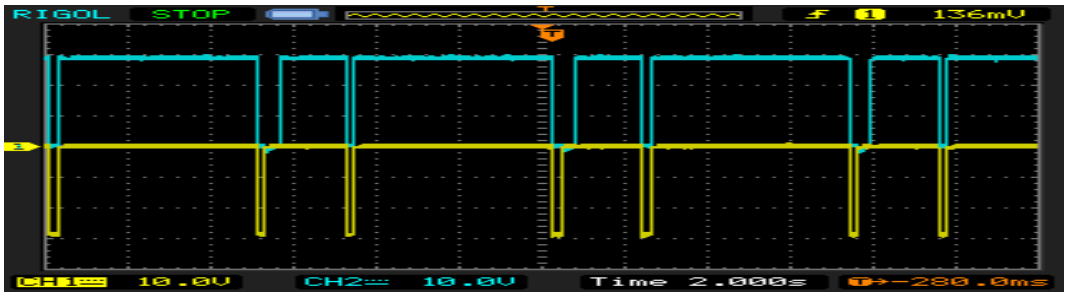


Imagen11 Señal de 8[s] dada por el microcontrolador en las terminales del circuito de optoacopladores del prototipo.

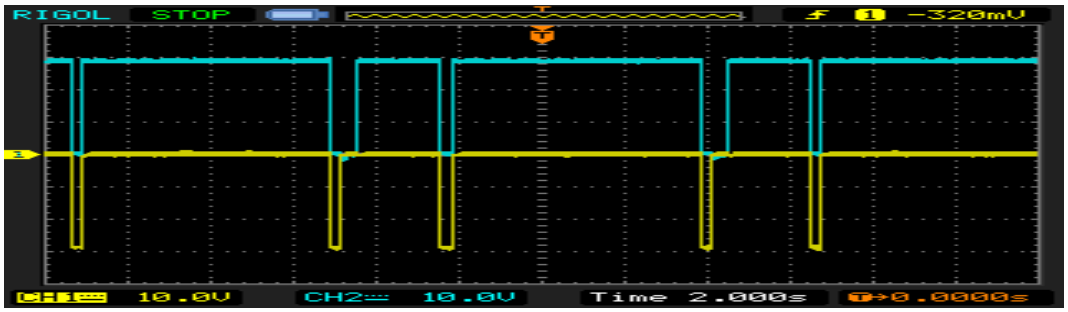


Imagen12 Señal de 10[s] dada por el microcontrolador en las terminales del circuito de optoacopladores del prototipo.

Luego de realizar estas pruebas eléctricas en el laboratorio se procede a realizar las pruebas de estanqueidad al tanque diseñado en fibra de vidrio para simular un elemento afectado por humedad debida a alto nivel en zona freática, encontrando que el montaje clásico para la prueba de electroósmosis (con el elemento permeable en el medio de los dos tanques) presenta filtraciones entre tanques; sin embargo hasta un nivel inferior al ladrillo (3lts en cada tanque) se realizan las siguientes pruebas con el equipo electrónico en el laboratorio como se ilustra en la imagen siguiente:

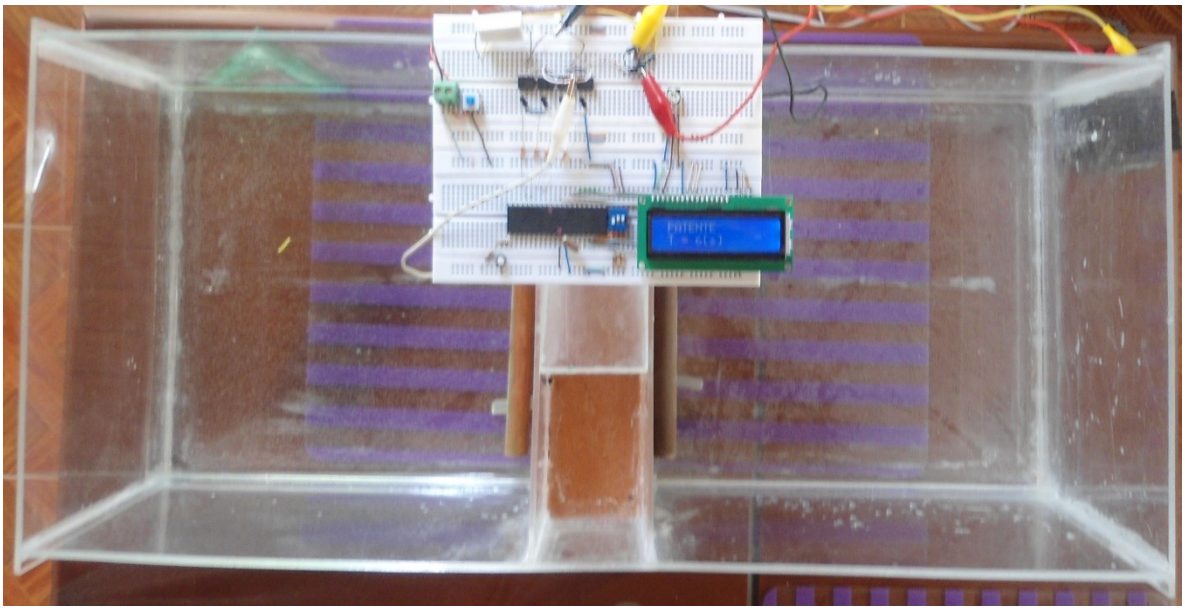


Imagen13 Montaje con prototipo

3.3.2 Resultados de la implementación

Para el análisis de los resultados obtenidos en la implementación se tendrá en cuenta la exactitud de los equipos empleados para determinar la propagación de la incertidumbre en las variables implicadas dentro de las siguientes tablas. (Rodríguez Barrera, 2011, págs. 12,21).

TABLA RECOLECCIÓN DE DATOS T 6[s]								
Día	I F [mA]	V F[V]	V electrodos[V]	tiempo[h]	altura [mm]	Temperatura [C]	Humedad [%RH]	Presión [mmHg]
02/03/2015	6,61	29,64	28,13	13:20	38	21,1	64,2	561,8
03/03/2015	8,21	29,64	27,97	11:49	39	21,1	58,5	562,3
04/03/2015	8,66	29,66	28,04	16:05	40	21,7	56,6	560,8
05/03/2015	8,32	29,65	28,04	12:30	41	21,3	57,9	561,8
06/03/2015	8,51	29,64	28,96	13:15	42	22,4	56,3	560,8

Tabla 5 Variables eléctricas y ambientales para T 6[s]

Intensidad de campo magnético[µA/m] T 6[s]				Intensidad de campo eléctrico[mV/m] a 20[cm] T 6[s]			
x	y	z	xyz	x	y	z	xyz
1290	1038	1511	2242	486,4	391,4	570	845,3
640,8	505,8	558,8	1061	453,8	441,9	558,3	941,6
733,6	640,8	558,3	1058	299,4	250,8	216,6	420,2
650,2	650,9	555,2	1060	398,7	422,9	462,8	752,6
720,5	560,3	592,7	1061	421,7	415,6	397,3	862,8

Tabla 6 Variables de campo eléctrico y magnético para T 6[s]

TABLA RECOLECCIÓN DE DATOS T 8[s]								
Día	I F [mA]	V F[V]	V electrodos[V]	tiempo [h]	altura [mm]	Temperatura [C]	Humedad [%RH]	Presión [mmHg]
02/03/2015	5,24	29,52	27,95	13:28	38	20,9	64,2	561,8
03/03/2015	3,36	29,61	27,92	11:59	39	21,1	58,5	562,3
04/03/2015	2,47	29,5	28,13	16:15	40	21,7	56,6	560,8
05/03/2015	3,64	29,58	27,33	12:40	41	21,3	57,9	561,8
06/03/2015	4,52	29,56	28,07	13:30	42	22,4	56,3	560,8

Tabla 7 Variables eléctricas y ambientales para T 8[s]

Intensidad de campo magnético[µA/m] T 8[s]				Intensidad de campo eléctrico[mV/m] a 20 [cm] T 8[s]			
x	y	z	xyz	x	y	z	xyz
679,3	591,7	477,7	1061	228,8	166,4	171,9	225,6
943,2	747,7	808,2	1312	370,1	248,5	271,6	518
733,6	640,8	477,7	1061	299,4	250,8	171,9	225,6
852,7	650,3	534,8	1218	315,2	221,9	254,1	352,3
786,2	695,4	652,3	1147	329,6	205,3	198,5	405,2

Tabla 8 Variables de campo eléctrico y magnético para T 8[s]

TABLA RECOLECCIÓN DE DATOS T 10[s]								
Día	I F [mA]	V F[V]	V electrodos[V]	tiempo [h]	altura [mm]	Temperatura [C]	Humedad [%RH]	Presión [mmHg]
07/03/2015	6,14	29,32	28,85	12:28	38	21,9	60,2	560,8
08/03/2015	4,86	29,51	28,32	10:59	39	20,1	59,5	561,3
09/03/2015	4,47	29,58	29,33	13:05	40	21,8	58,7	561,8
10/03/2015	6,12	29,32	28,85	11:40	41	21,8	56,9	560,8
11/03/2015	4,21	29,15	28,07	12:30	42	21,4	57,3	561,5

Tabla 9 Variables eléctricas y ambientales para T 10[s]

Intensidad de campo magnético[µA/m] T 10[s]				Intensidad de campo eléctrico[mV/m] a 20[cm]T 10[s]			
x	y	z	xyz	x	y	z	xyz
679,3	591,7	477,7	1061	228,8	166,4	171,9	225,6
943,2	747,7	808,2	1312	370,1	248,5	271,6	518
733,6	640,8	477,7	1061	299,4	250,8	171,9	225,6
640,6	650,6	525,2	1035	398,7	412,6	412,8	732,8
710,9	540,3	572,6	1048	411,2	422,5	396,5	732,5

Tabla 10 Variables de campo eléctrico y magnético para T 10[s]

De lo anterior se concluye que los valores para intensidad de campo eléctrico y magnético dados en la regulación eléctrica colombiana *Tabla 2 Valores límite de exposición a los campos electromagnéticos dado por el RETIE* no son superados y por tanto el prototipo se puede implementar como electrodoméstico según los siguientes datos.

COMPARATIVA VALORES DE CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO		
	RETIE	PROTOTIPO
Intensidad de campo eléctrico [kV/m]	8,3	0,0007325
Intensidad de campo magnético [µT]	1000	0,000016

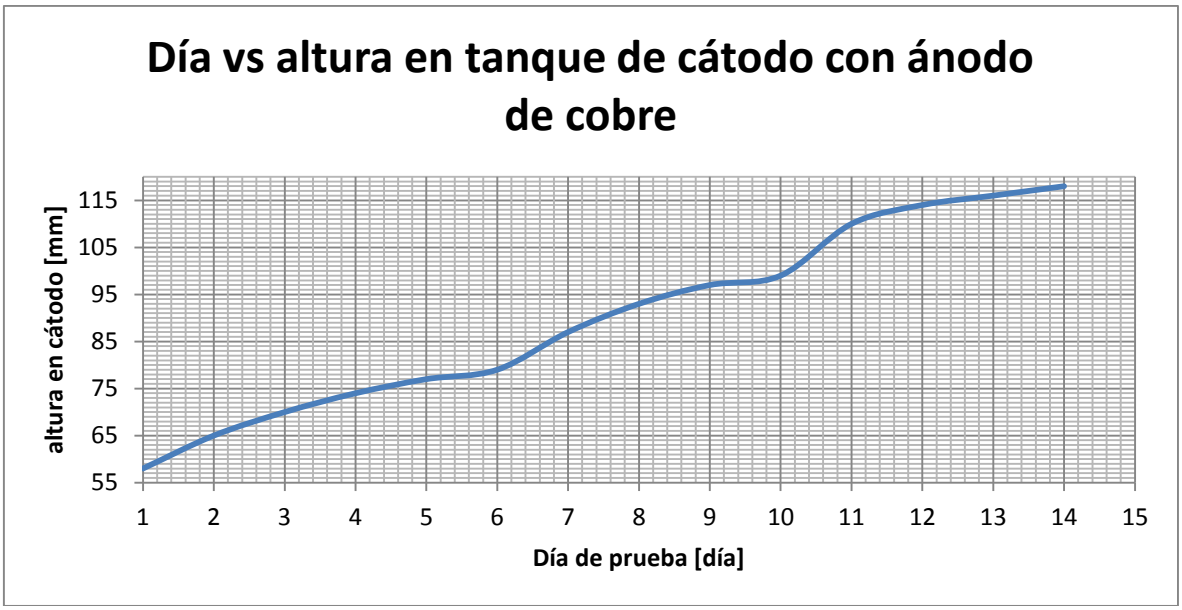
Tabla 11 Comparativa valores de campo eléctrico y magnético entre normativa colombiana y prototipo

Comprobándose que el periodo en la señal no es un dato concluyente en este experimento; se toma el periodo T=6[s] como patrón del mismo y se procede a realizar un nuevo experimento de 14 días cuyos resultados se presentan a continuación.

TABLA RECOLECCIÓN DE DATOS T 6[s] ánodo de cobre desde junio 7 de 2015								
Día	**I F [mA]**	**V F[V]**	**V electrodos[V]**	**tiempo[h]**	**altura [mm]**	**Temperatura [C]**	**Humedad [%RH]**	**Presión [mmHg]**
1	19,61	106,6	105,8	21:00	58	10,1	64,2	561,8
2	18,23	105,4	105,1	21:36	65	12,1	58,5	562,3
3	18,67	106,2	105,1	19:30	70	15,2	56,6	560,8
4	18,56	107,4	106,2	18:45	74	14,8	58,3	561,5
5	19,23	104,3	103,1	19:20	77	12,5	57,2	561,4
6	18,72	108,1	107,0	21:42	79	11,2	63,3	560,9
7	20,02	105,7	104,2	21:08	87	13,5	64,5	562,1
8	19,48	108,1	107,2	22:11	93	10,6	55,3	562,1
9	18,82	105,6	104,2	21:27	97	12,3	57,4	561,7
10	19,33	106,4	105,2	21:19	99	13,5	61,8	560,7
11	19,56	104,2	103,1	21:28	110	12,2	63,2	560,9
12	18,49	104,1	102,6	21:45	114	10,3	58,6	560,9
13	18,37	104,6	103,1	19:00	116	14,3	56,9	560,2
14	19,55	107,6	106,3	20:32	118	12,8	61,7	560,5

Tabla 12 Datos para T 6[s] en prueba de 14 días

Los días marcados en color representan momentos donde se rellena el tanque del ánodo debido a que el nivel del agua está por debajo 4 [mm] en el tanque del ánodo dejando sin efecto la aplicación de la intensidad de campo magnético.



Gráfica 4 Tiempo versus altura en tanque de cátodo

Como se ve en la gráfica anterior teniendo que 1000[cm^3] de agua en el tanque equivalen a 17[mm] de altura, la prueba arroja que el prototipo ha desplazado un volumen de 3530 [cm^3] de agua; La cantidad de agua desplazada depende en gran medida de la contrapresión presente en el tanque del electrodo negativo como se ve en la cuando los dos tanques están a nivel e inicia la prueba a las 24 horas se mueven 410[cm^3] ; a las 48 horas 290[cm^3] ; a las 72 horas 230 [cm^3] ; a las 96 horas 170 [cm^3] ; a las 120 horas 110[cm^3] ; así se concluye que cuando el agua en el tanque del cátodo aumenta y el del ánodo disminuye con el pasar del tiempo es más difícil ante las mismas condiciones electromagnéticas y ambientales desplazar líquido; por ello, tanto en el día 6 como en el día 10 se presenta un salto significativo en la altura del tanque negativo pues en esos puntos se ha nivelado el agua en los tanques.

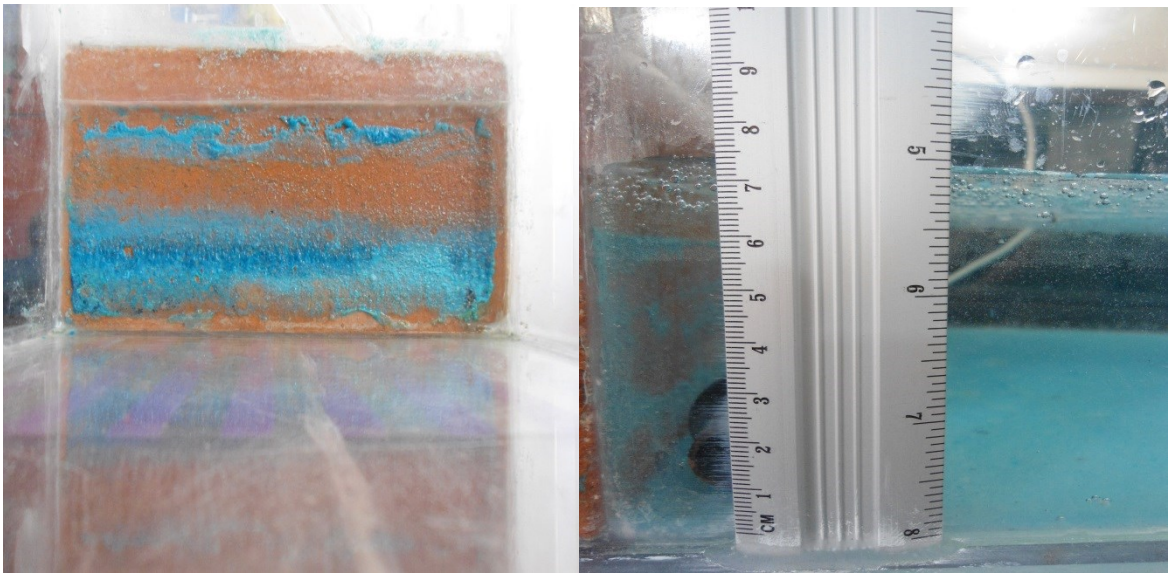


Imagen14 Mancha de electrodo de cobre en elemento a desecar y en el agua.

Luego de analizar el resultado mostrado en la imagen se concluye por parte del asesor químico del proyecto *(Ospina Duarte, 2015)* que el compuesto derivado de la prueba es sulfato de cobre tipo II en su forma hidratada cuya composición química es:

$$CuSo_4 * 5H_2O$$

Ecuación 24 Composición química sulfato de cobre II en su forma hidratada

El cual es tóxico bajo ingestión e inhalación debida a evaporación del elemento a altas temperaturas según documento ICSC: 1416 ficha internacional de seguridad química del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España (*Documento 1 Ficha internacional de seguridad química para el sulfato de cobre pentahidratado tipo II)*

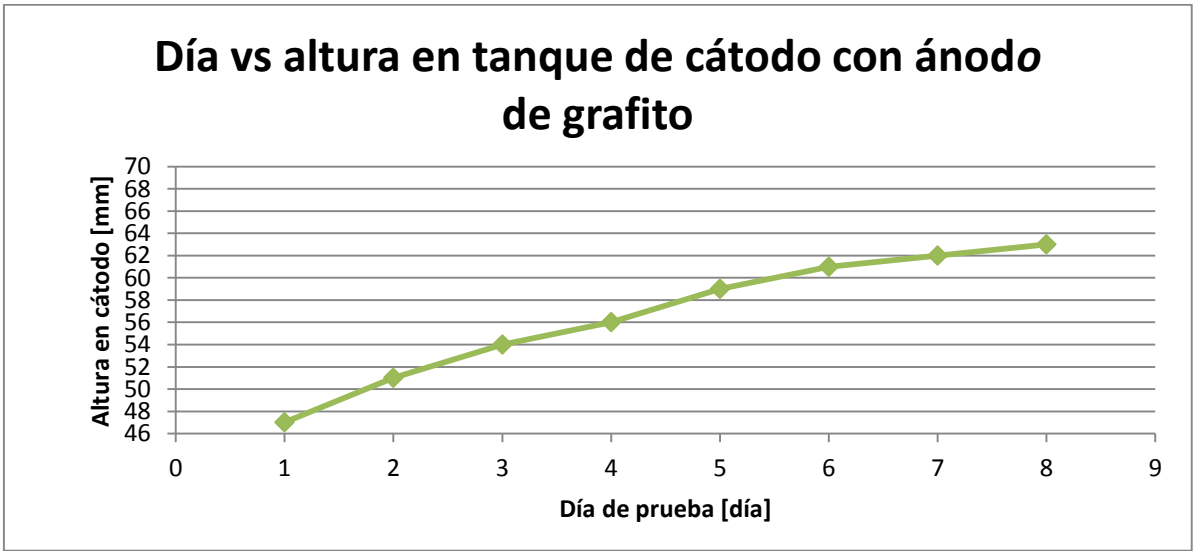
Debido a que una de las finalidades del equipo es la salud en las personas que hagan uso del equipo y la estética en el elemento a desecar se prueba con electrodo de grafito pues al no ser un elemento metálico y ser un excelente conductor puede eliminar esta falla del cobre *(Universitat de Barcelona, 2013)*.



Imagen15 Electrodo de grafito

TABLA RECOLECCIÓN DE DATOS T 6[s] ánodo de grafito desde Septiembre 21 de 2015								
Día	I F [mA]	V F[V]	V electrodos [V]	Tiempo [h]	altura [mm]	Temperatura [C]	Humedad [%RH]	Presión [mmHg]
1	18,91	107,6	86,1	11:15	47	17,1	63,8	562,3
2	18,57	105,3	80,2	13:38	51	18,1	59,5	562,3
3	19,02	105,3	80	11:32	54	18,2	57,3	561,8
4	18,24	104,7	46,8	13:25	56	19,8	58,3	561,5
5	19,17	107,8	102,3	14:10	59	18,5	58,2	560,9
6	18,97	107,2	101,8	10:39	61	18,2	62,1	561,3
7	19,52	105,6	100,7	10:45	62	17,5	63,5	561,9
8	19,25	108,1	103,6	16:58	63	15,6	59,5	561,8

Tabla 13 Datos 8 días para T 6[s] ánodo de grafito



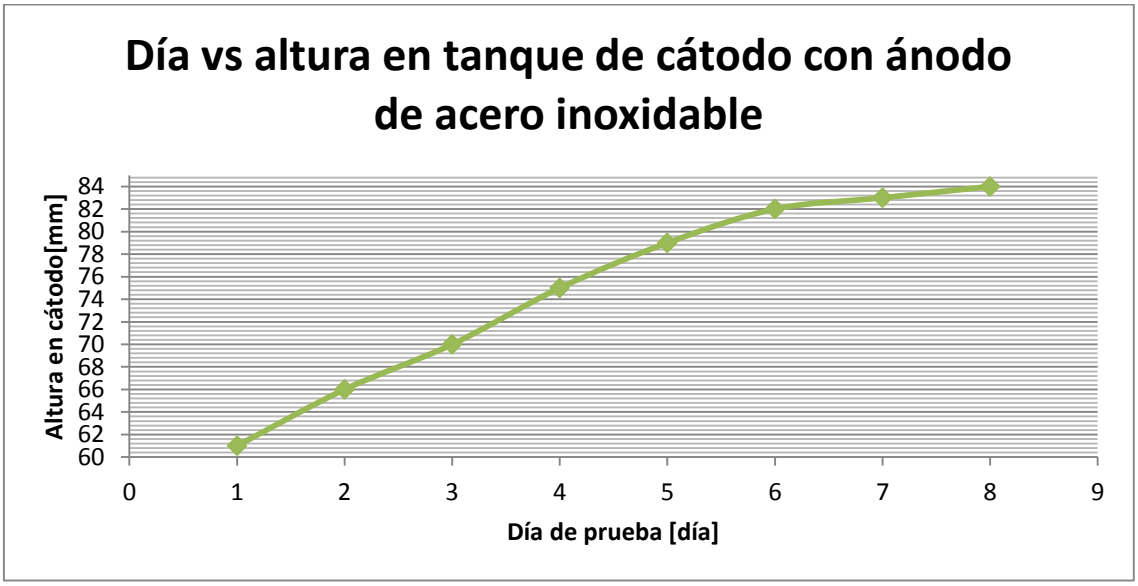
Gráfica5 Tiempo Vs altura en tanque cátodo con ánodo de grafito

Los resultados de la prueba demuestran que la utilización del ánodo de grafito no deja manchas ni en el material a desecar, ni en el agua del tanque y que además, la altura alcanzada en el tanque del cátodo arroja un rendimiento del 55,17% en relación con la prueba realizada con el ánodo de cobre, moviéndose 941,2 [cm^3] en un periodo de 8 días.

Finalmente se realiza una prueba con ánodo de acero inoxidable para determinar la oxidación del material en el medio, cuyos resultados se presentan a continuación:

TABLA RECOLECCIÓN DE DATOS T 6[s] ánodo de acero desde Octubre 4 de 2015								
Día	I F [mA]	V F[V]	V electrodos [V]	Tiempo [h]	altura [mm]	Temperatura [C]	Humedad [%RH]	Presión [mmHg]
1	18,72	102,9	100,8	21:00	61	8,1	63,8	562,3
2	17,95	105,4	103,5	22:10	66	9,2	59,5	562,3
3	18,53	107,5	106,7	21:30	70	5,3	57,3	561,8
4	18,24	105,7	107,8	19:34	75	10,3	58,3	561,5
5	17,88	106,1	105,5	22:30	79	6,3	58,2	560,9
6	18,95	106,2	104,2	21:08	82	8,6	62,1	561,3
7	18,93	107,6	105,5	15:35	83	17,5	63,5	561,9
8	18,41	107,2	105,3	18:45	84	12,6	59,5	561,8

Tabla 14 datos para 8 días para T 6[s] con ánodo de acero inoxidable



Gráfica 6 Día vs altura en tanque de cátodo con ánodo de acero inoxidable

Los resultados de la prueba demuestran que la utilización del ánodo de acero inoxidable no deja manchas ni en el material a desecar, ni en el agua del tanque y que además, la altura alcanzada en el tanque del cátodo arroja un rendimiento del 79,31% en relación con la prueba realizada con el ánodo de cobre, moviéndose 1352.9 [cm^3] en un periodo de 8 días.

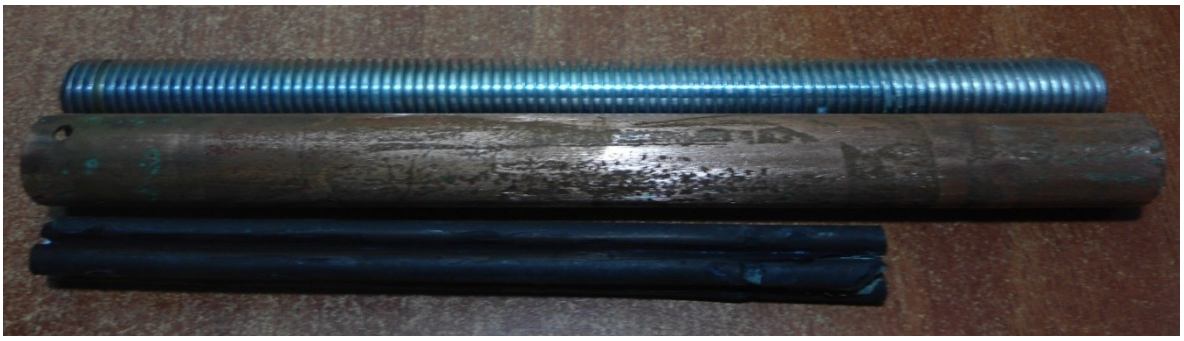


Imagen 16 Materiales utilizados como electrodo en ánodo

Las condiciones finales óptimas en que el prototipo trabaja sin que exista riesgo de oxidación metálica involucran un electrodo de ánodo en grafito longitud 13.5 [cm], y área 75.45 [mm^2], y Resistividad eléctrica a 20^{0}C: 0.00006 [Ω * m] y otro de cátodo en tubo de cobre fabricado con tecnología de temple duro tipo M, con espesor de pared de 0.71 [mm], longitud 18.5 [cm], y área 153.93 [mm^2], Conductividad eléctrica a 20^{0}C: 41-52 $\frac{m}{Ohm}$* mm^2 y Resistividad eléctrica a 20^{0}C: 0.022 [Ω] $\frac{mm^2}{m}$separados una distancia entre ejes de 7[cm]; cuya conexión eléctrica al circuito se realiza con conductor Centelsa *C TFF 60ºC 18AWG 600V*, aplicando una tensión de fuente inicial de 120[Vdc], para un secado rápido del elemento a deshumificar para luego cambiar la tensión a 60[Vdc] el cual da un rango para que el potencial z sea superado y a su vez el costo energético sea inferior al calculado; los cuales se sumergen en dos tanques acrílicos de volumen 9540[cm^3] cada uno, donde se utilizan 3000[cm^3] para llenar con agua de la red de Bogotá D.C. separados por una barrera permeable de ladrillo prensado tradicional (24.5 X 12 X 5.5 [cm]) de la fábrica Santafé.

3.3.3 Potencia y energía consumidas

A continuación se presenta una cuantificación de la potencia y energía consumida por el equipo en el período de tiempo de la prueba de 14 días, donde

P = Vf * If y

E = P * t

Además se presenta el valor de la incertidumbre en cada uno de los valores; de acuerdo a los apuntes tomados en clase de *Medidas eléctricas del periodo 2013-II*en el cual se toma que:

$$\Delta_{tension\ de\ la\ fuente} = \left(\frac{V_m * \%\ lectura}{100}\right) + (recuentos * resolución)$$

Dónde los valores % lectura, recuentos y resolución vienen dados en el manual del multímetro Fluke 179, además: V_m = Valor medido

Y en la potencia y la energía existe una propagación de la incertidumbre(Rodríguez Barrera, 2011, págs. 15,17) que viene dada por:

$$P = f(V, I)$$

$$\partial_p = \frac{\partial_f}{\partial_I}\Big|(V_0, I_0) * \partial_V + \frac{\partial_f}{\partial_V}\Big|(V_0, I_0) * \partial_I$$

Con

$P = V_f * I_0$ Que es la operación correspondiente para potencia y energía

$$P_0 = V_0 * I_0$$

$$\Delta_p = I_0\Delta_V + V_0\Delta_I$$

INCERTIDUMBRE EN TENSIÓN ÁNODO DE COBRE				
V F[V]	**% lectura**	**Recuentos**	**Resolución[V]**	**±△V [V]**
106,6	0,09%	2	0,1	0,29594
105,4	0,09%	2	0,1	0,29486
106,2	0,09%	2	0,1	0,29558
107,4	0,09%	2	0,1	0,29666
104,3	0,09%	2	0,1	0,29387
108,1	0,09%	2	0,1	0,29729
105,7	0,09%	2	0,1	0,29513
108,1	0,09%	2	0,1	0,29729
105,6	0,09%	2	0,1	0,29504
106,4	0,09%	2	0,1	0,29576
104,2	0,09%	2	0,1	0,29378
104,1	0,09%	2	0,1	0,29369
104,6	0,09%	2	0,1	0,29414
107,6	0,09%	2	0,1	0,29684

Tabla 15 Incertidumbre en medida de tensión

INCERTIDUMBRE EN INTENSIDAD ÁNODO DE COBRE				
I F [mA]	**%lectura**	**Recuentos**	**Resolución[mA]**	**△A[mA]**
19,61	1,00	1	0,01	0,02961
18,21	1,00	1	0,01	0,02821
18,66	1,00	1	0,01	0,02866
18,52	1,00	1	0,01	0,02852
19,22	1,00	1	0,01	0,02922
18,75	1,00	1	0,01	0,02875
20,02	1,00	1	0,01	0,03002
19,48	1,00	1	0,01	0,02948
18,82	1,00	1	0,01	0,02882
19,33	1,00	1	0,01	0,02933
19,56	1,00	1	0,01	0,02956
18,49	1,00	1	0,01	0,02849
18,37	1,00	1	0,01	0,02837
19,55	1,00	1	0,01	0,02955

Tabla 16 Incertidumbre en medida de intensidad

POTENCIA Y ENERGÍA ÁNODO DE COBRE								
V F[V]	±ΔV[V]	I F [mA]	±ΔA[mA]	P[KW]	±ΔP[KW]	E[KWh]	±ΔE[KWh]	t[h]
106,6	0,29594	19,61	0,02961	0,00209	0,000009	0,050	0,0002	24
105,4	0,29486	18,21	0,02821	0,001919	0,000008	0,046	0,0002	24
106,2	0,29558	18,66	0,02866	0,001982	0,000009	0,048	0,0002	24
107,4	0,29666	18,52	0,02852	0,001989	0,000009	0,048	0,0002	24
104,3	0,29387	19,22	0,02922	0,002005	0,000009	0,048	0,0002	24
108,1	0,29729	18,75	0,02875	0,002027	0,000009	0,049	0,0002	24
105,7	0,29513	20,02	0,03002	0,002116	0,000009	0,051	0,0002	24
108,1	0,29729	19,48	0,02948	0,002106	0,000009	0,051	0,0002	24
105,6	0,29504	18,82	0,02882	0,001987	0,000009	0,048	0,0002	24
106,4	0,29576	19,33	0,02933	0,002057	0,000009	0,049	0,0002	24
104,2	0,29378	19,56	0,02956	0,002038	0,000009	0,049	0,0002	24
104,1	0,29369	18,49	0,02849	0,001925	0,000008	0,046	0,0002	24
104,6	0,29414	18,37	0,02837	0,001922	0,000008	0,046	0,0002	24
107,6	0,29684	19,55	0,02955	0,002104	0,000009	0,050	0,0002	24
				0,028266		0,678		336

Tabla 17 Incertidumbre en potencia y energía ánodo de cobre.

Los cálculos de incertidumbre en tensión y energía para ánodo de grafito y acero se encuentran en los anexos

POTENCIA Y ENERGIA EN ÁNODO DE GRAFITO								
V F[V]	ΔV[V]	I F [mA]	ΔA[mA]	P[KW]	ΔP[KW]	E[KWh]	ΔE[KWh]	t[h]
107,6	0,2968	18,91	0,01189	0,00203	0,00001	0,048833	0,0002	24
105,3	0,2948	18,57	0,01186	0,00196	0,00001	0,046930	0,0002	24
105,3	0,2948	19,02	0,01190	0,00200	0,00001	0,048067	0,0002	24
104,7	0,2942	18,24	0,01182	0,00191	0,00001	0,045833	0,0002	24
107,8	0,2970	19,17	0,01192	0,00207	0,00001	0,049597	0,0002	24
107,2	0,2965	18,97	0,01190	0,00203	0,00001	0,048806	0,0002	24
105,6	0,2950	19,52	0,01195	0,00206	0,00001	0,049471	0,0002	24
108,1	0,2973	19,25	0,01193	0,00208	0,00001	0,049942	0,0002	24
				0,01615		0,387480		192

Tabla 18 Incertidumbre en potencia y energía ánodo de grafito.

POTENCIA Y ENERGIA EN ÁNODO DE ACERO								
V F[V]	ΔV[V]	I F [mA]	ΔA[mA]	P[KW]	ΔP[KW]	E[KWh]	ΔE[KWh]	t[h]
102,9	0,2926	18,72	0,01187	0,00193	0,00001	0,046231	0,0002	24
105,4	0,2949	17,95	0,01180	0,00189	0,00001	0,045406	0,0002	24
107,5	0,2968	18,53	0,01185	0,00199	0,00001	0,047807	0,0002	24
105,7	0,2951	18,24	0,01182	0,00193	0,00001	0,046271	0,0002	24
106,1	0,2955	17,88	0,01179	0,00190	0,00001	0,045530	0,0002	24
106,2	0,2956	18,95	0,01190	0,00201	0,00001	0,048300	0,0002	24
107,6	0,2968	18,93	0,01189	0,00204	0,00001	0,048885	0,0002	24
106,8	0,2961	18,41	0,01184	0,00197	0,00001	0,047189	0,0002	24
				0,01565		0,375619		192

Tabla 19 Incertidumbre en potencia y energía ánodo de acero

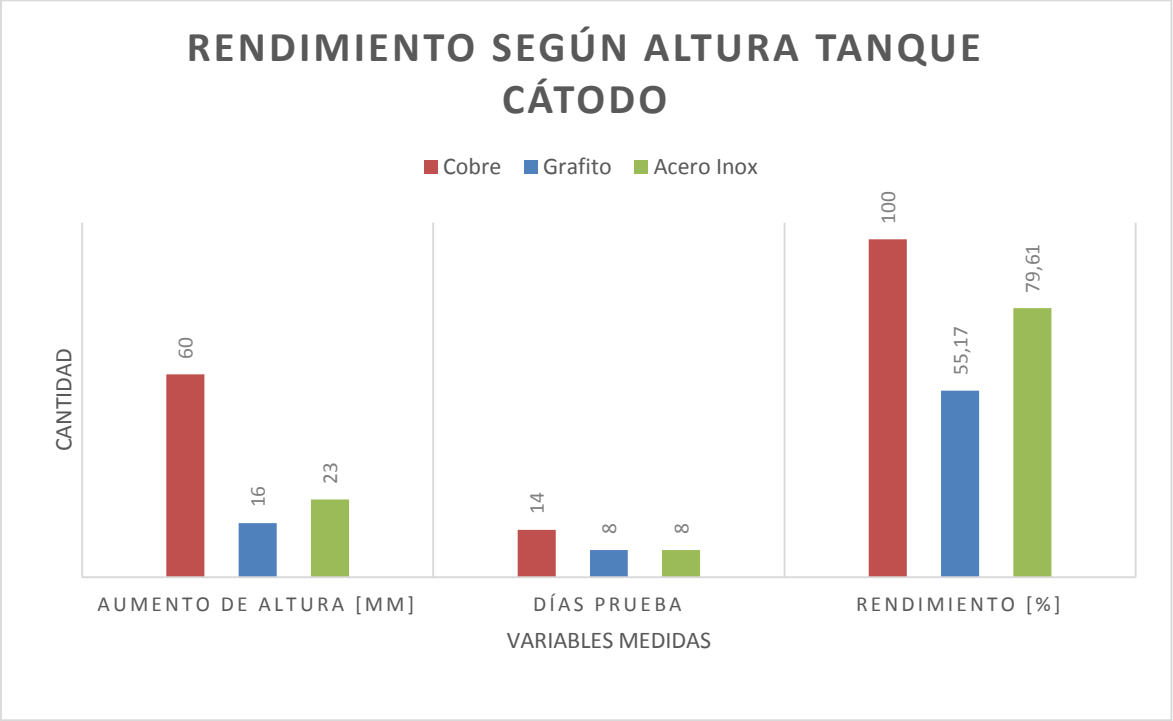
De la anterior información, se concluye que la inversión por 1000[cm^3] de líquido desplazados por el equipo según tarifa de facturación de la empresa comercializadora Codensa S.A.ESP para Bogotá en el año 2015 que es: $ 426.80.

Si se movieron 3530[cm^3] en 14 días con 0,678 [KWh] entonces; 1000[cm^3] equivale a 0,192 [KWh]; con lo cual, según costo vigente se tiene un valor de: $75,61por 1000 [$cm^3$] para ánodo de cobre; de $ 152,6 para el grafito y de $147,92 para ánodo de acero.

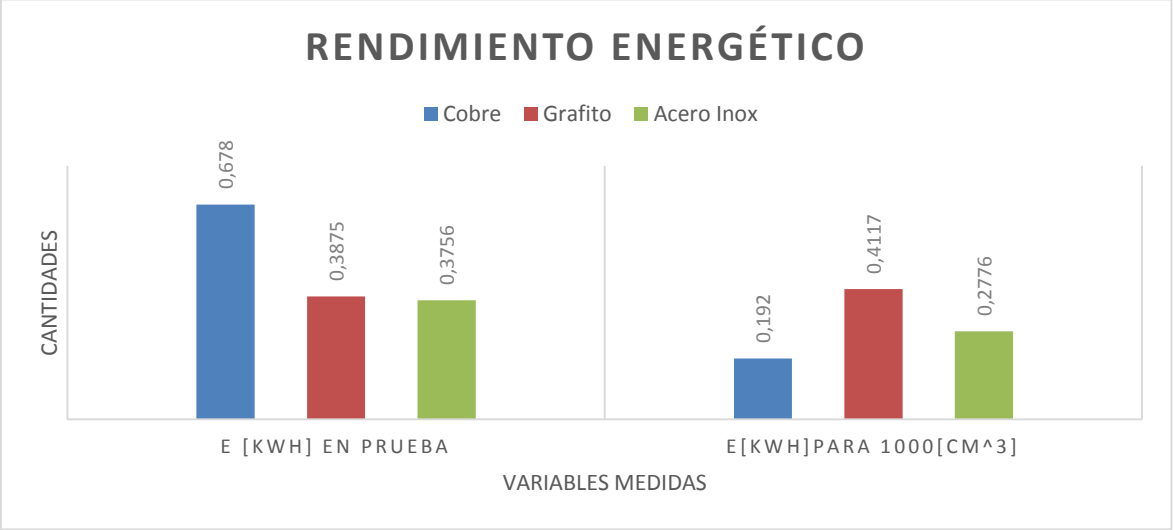
Por último se deja la relación de Energía costo y rendimiento para los diferentes materiales utilizados en el prototipo.

VALORES DE ENERGÍA COSTO Y RENDIMIENTO PARA MATERIALES DE ÁNODO							
	E [kWh] en prueba	[cm^3] en prueba	Aumento de altura [mm]	Días prueba	E[kWh]para 1000[cm^3]	Costo en pesos por 1000[cm^3]	Rendimiento [%]
Cobre	0,678	3530	60	14	0,192	75,614	100
Grafito	0,3875	941,2	16	8	0,4117	152,6	55,17
Acero Inox	0,3756	1352,95	23	8	0,2776	147,92	79,61

Tabla 20 Relación energía costo para materiales de ánodo



Gráfica 7 Relación atura rendimiento para materiales de ánodo



Gráfica 8 Rendimiento energético en material de ánodo

4. EVALUACIÓN ECONÓMICA.

ELEMENTO	CANTIDAD	COSTO X UNIDAD	TOTAL
Puente de diodos B250C	2	$ 1.900,0	$ 3.600,0
Micro controlador 16F877A de Microchip	5	$ 18.000,0	$ 90.000,0
Electrodos	2	$ 2.500,0	$ 5.000,0
Programador K150	1	$ 38.000,0	$ 38.000,0
Pantalla LCD 16x2	2	$ 13.500,0	$ 27.000,0
Protoboard Wish sencilla	3	$ 20.000,0	$ 60.000,0
Resistencias de carbono	100	$ 50,0	$ 5.000,0
Potenciómetro 10K	2	$ 4.500,0	$ 9.000,0
Bornera conexión	3	$ 1.800,0	$ 5.400,0
Fusibles 250[mA]	3	$ 5.200,0	$ 15.600,0
Relés electromecánicos 5[V] de ST	6	$ 3.500,0	$ 21.000,0
Opto acopladores 270 de CEL	4	$ 7.000,0	$ 28.000,0
Opto acopladores 4N35	6	$ 3.800,0	$ 22.800,0
Diodos 1N4004	10	$ 500,0	$ 5.000,0
Dip switch triple	2	$ 2.200,0	$ 4.400,0
Regulador L7805	2	$ 4.500,0	$ 9.000,0
Oscilador 4[KHz]	3	$ 4.800,0	$ 14.400,0
Pulsador de enclavamiento	2	$ 1.200,0	$ 2.400,0
Montaje en acrílico para pruebas en laboratorio	2	$ 100.000,0	$ 200.000,0
		TOTAL	**$ 560.400,0**

Tabla 10 Costo de materiales

Y una comparativa con la relación económica del costo producido por los elementos para el montaje de un equipo.

ELEMENTO	CANTIDAD	COSTOX UNIDAD	TOTAL
Puente de diodos B250C	1	$ 1.900,0	$ 1.900,0
Micro controlador 16F877A de microchip	1	$ 18.000,0	$ 18.000,0
Electrodos	2	$ 2.500,0	$ 5.000,0
Pantalla LCD 16x2	1	$ 13.500,0	$ 13.500,0
Protoboard Wish sencilla	1	$ 20.000,0	$ 20.000,0
Resistencias de carbono	5	$ 50,0	$ 250,0
Potenciometro 10K	1	$ 4.500,0	$ 4.500,0
Bornera conexión	1	$ 1.800,0	$ 1.800,0
Fusibles 250[mA]	1	$ 5.200,0	$ 5.200,0
Optoacopladores 270 de CEL	4	$ 7.000,0	$ 28.000,0
Diodos 1N4004	4	$ 500,0	$ 2.000,0
Dip switch triple	1	$ 2.200,0	$ 2.200,0
Regulador L7805	1	$ 4.500,0	$ 4.500,0
Oscilador 4[KHz]	1	$ 4.800,0	$ 4.800,0
Pulsador de enclavamiento	1	$ 1.200,0	$ 1.200,0
		TOTAL	**$ 112.850,0**

Tabla 11 Costo materiales para un montaje

Tabla 12 Gastos de personal (miles de pesos)

NOMBRES Y APELLIDOS	TÍTULO		Función en el proyecto	Tipo de vinculación (planta/ esp.)	Dedicación Horas/Sem	Meses	Fuentes					TOTAL
	Formación básica	Postgrado					UD		EMPRESA		EJECUTORES	
Alexandra Shashenka Pérez	Ingeniera en electricidad		Directora		22/22.4	5					$660.000,00	$660.000,00
Patricia Ospina	Licenciada en Química		Asesora		4/1	0					$120.000,00	$120.000,00
Fernando Gallego			Ejecutor		150/22.4	5						$2.989.000,00
TOTAL												$3´769.000,00

SMLV 2014	$ 644.350,00
Auxilio de transporte	$ 74.000,00

Datos tomados de http://www.mintrabajo.gov.co/empleo/abece-del-salario-minimo.html

5. CONCLUSIONES.

Las condiciones finales óptimas en que el prototipo trabaja sin que exista riesgo de oxidación metálica involucran un electrodo de ánodo en grafito longitud 13.5 [cm], y área 75.45 [mm^2], y Resistividad eléctrica a 20^0C: 0.00006 [Ω * m] y otro de cátodo en tubo de cobre fabricado con tecnología de temple duro tipo M, con espesor de pared de 0.71 [mm], longitud 18.5 [cm], y área 153.93 [mm^2], Conductividad eléctrica a 20^0C: 41-52 $\frac{m}{Ohm}$* mm^2 y Resistividad eléctrica a 20^0C: 0.022 [Ω] $\frac{mm^2}{m}$separados una distancia entre ejes de 7[cm]; cuya conexión eléctrica al circuito se realiza con conductor Centelsa *C TFF 60ºC 18AWG 600V*, aplicando una tensión de fuente inicial de 120[Vdc], para un secado rápido del elemento a deshumificar para luego cambiar la tensión a 60[Vdc] el cual da un rango para que el potencial z sea superado y a su vez el costo energético sea inferior al calculado; los cuales se sumergen en dos tanques acrílicos de volumen 9540[cm^3] cada uno, donde se utilizan 3000[cm^3] para llenar con agua de la red de Bogotá D.C. separados por una barrera permeable de ladrillo prensado tradicional (24.5 X 12 X 5.5 [cm]) de la fábrica Santafé.

Cuando el agua en el tanque del cátodo aumenta y la del ánodo disminuye con respecto al tiempo es más difícil ante las mismas condiciones electromagnéticas y ambientales desplazar líquido.

Se concluyó por parte del asesor químico del proyecto que el compuesto derivado de la prueba en ánodo de cobre es sulfato de cobre tipo II en su forma hidratada; el cual según tablas internacionales de seguridad química, es tóxico bajo ingestión e inhalación debida a evaporación del elemento a altas temperaturas, causante también de irritación cutánea y de ojos; compuesto muy tóxico para los organismos acuáticos.

Según costo vigente de energía para Bogotá D.C. en septiembre de 2015 de la empresa comercializadora Codensa S.A ESP, por 1000 [cm^3] de líquido desplazado se tiene un costo en pesos de: $ 75,61 para ánodo de cobre, de $ 152,6 para ánodo de grafito y de $147,92 para ánodo de acero.

La energía en [kWh] necesaria para desplazar 1000 [cm^3] de agua es según material utilizado en el ánodo es de 0.192 en cobre; 0.4117 en grafito y 0,2776 en acero.

Los ánodos de grafito y acero presentan las mejores condiciones finales en tanto la estética del elemento a desecar aunque su rendimiento eléctrico es del 55,17% para el primero y de 79,61% para el segundo en relación al de cobre, lo cual es irrelevante para el grafito teniendo en cuenta la eliminación del riesgo para la salud.

Se concluye que los valores para intensidad de campo eléctrico y magnético dados en la regulación eléctrica colombiana *Tabla 2 Valores límite de exposición a los campos electromagnéticos dado por el RETIE* no son superados y por tanto el prototipo se puede implementar como electrodoméstico según los siguientes datos tomados a una distancia de 20[cm] para los ejes (xyz), Intensidad de campo eléctrico 0.0007325[kV/m] e intensidad de campo magnético 0.000016[µT].

Se determinó que el microcontrolador utilizado en el prototipo (16F877A) a pesar de ser un integrado bastante utilizado y funcional, se puede reemplazar por el de la siguiente generación (16F887) que posee estas mejoras:
Selección individual de pines AD - en el 877 por grupos
Selección individual de pull-up del puerto B - en el 877 por puerto
Selección individual de interrupción por cambio en todo el puerto B - en el 877 por grupos
Reloj interno muy preciso - en el 877 no existe
Reconocimiento de baudios - en el 877 no existe
Módulo comparado análogo - en el 877 no existe
El temporizador WDT mejorado

El oscilador de 4[MHz] utilizado físicamente en el prototipo, este lo posee internamente.

Según comparativa económica y luego de evaluar el costo total del proyecto, se tiene que la inversión para el montaje de un equipo en cuanto a sus componentes eléctricos es de $112.850 o US 33.12 según TRM del Banco de la república al 16/02/2016.

Los opto acopladores son elementos electrónicos de gran aislamiento entre la etapa de control y la de potencia (3750 [V] r.m.s.); con alta velocidad de interrupción (10[μs]); de bajo costo y fácil utilización que evitan los ruidos producidos por los relés de estado sólido y que; por su tamaño, reducen peso y espacio en el circuito final.

5.1 Recomendaciones.

Aunque en estas pruebas los resultados en cuanto a movilidad electroosmótica fueron buenos, aún queda por determinar su funcionamiento en un elemento de edificación que se encuentre afectado por esta patología.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, L. J. (2000). *Programación en C++ algoritmos,estructuras de datos y objetos.* México: McGraw Hill.

Ahualli, S. A. (2008). *Propiedades electrocinéticas de suspensones coloidales concentradas(tesis doctoral).* Granada: Editorial de la Universidad de Granada.

Alcaldia de Bogotá D.C. Secretaria Distrital de Ambiente. (11 de agosto de 2013). *Recurso hídrico subterráneo.* Obtenido de Alcaldia de Bogota D.C.: http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneas

Bjerke, E. y. (1999). *Patente nº 2.244.190.* España.

Gámez, L. S. (2012). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD*. Recuperado el 24 de 02 de 2015, de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Diseno_de_Plantas_Potabilizadoras/ficha_tcnica.html

Gazolaz, D. C. (11 de 06 de 2011). *Jornada sobre los problemas del milenio*. Recuperado el 25 de 02 de 2015, de http://garf.ub.es/milenio/img/Navier-Stokes.pdf

Grupo editorial CEAC. (2005). *Nueva enciclopedia de la construcción.* Barcelona: Ceac.

Harth, S. &. (2008). *Microcontroladores pic prácticas de programación.* Barcelona: Marcombo.

Indian Institute of Technology Kharagpur. (16 de 07 de 2013). *National Program on Technology Enhanced Learning NPTEL*. Recuperado el 24 de 03 de 2015, de https://www.youtube.com/redirect?q=http%3A%2F%2Fnptel.iitm.ac.in%2F&redir_token=bWQfVK0NrEhZ0ZL7R0Pja_rg-LF8MTQyNzI5ODM1MEAxNDI3MjExOTUw

Jiménez, F. V. (2013). *Análisis de flujo electroosmótico de un fluido en un microcanal de paredes onduladas.* Mexico D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Kirby, B. J. (2012). *Cornell University, College of Engineering,Kirby Research Group*. Recuperado el 19 de 02 de 2015, de http://www.kirbyresearch.com/index.cfm/wrap/textbook/microfluidicsnanofluidics.html

Miller, J. B. (1991). *Patente nº US 501 5351A.* Estados Unidos.

Ministerio de Minas y Energía. (2013). *RETIE.* Bogotá.

Moreno Velasco, I. (03 de 2004). *http://www.unet.edu.ve/.* Recuperado el 12 de 02 de 2015, de http://www.unet.edu.ve/~ielectro/5-Aislamiento.pdf

NIOSH. (noviembre de 2012). *Centro para el control y la prevención de las enfermedades*. Obtenido de CDC: http://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2013-102_sp/sintomas.html

Olson, E. B. (2005). *Patente nº ES 2 244 190 T3.* España.

Oppitz, H. (1986). *Patente nº US 4.600.486.* Estados Unidos.

Ospina Duarte, P. (2015). *Asesora química proyecto.* Bogotá D.C.

Restrepo Mosquera, L. E. (2014). *Mejoramiento de suelos finos a partir de la electroosmosis.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Rodríguez Barrera, M. A. (2011). *Introduccioón a las medidas eléctricas.* Bogotá D.C.: Fondo de publicaciones Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Schlegel, F. (28 de 10 de 2013). *Modeling electroosmotic flow and tehe Electrical Double Layer.* Recuperado el 26 de 03 de 2015, de http://www.comsol.com/blogs/modeling-electroosmotic-flow-electrical-double-layer/

UNAM. (s.f.). Recuperado el 24 de 02 de 2015, de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Unidad4Doblecapaelectrica_21932.pdf

Universitat de Barcelona. (08 de 2013). *Materials*. Recuperado el 29 de Octubre de 2015, de http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/grafito

Utklev, k. (1994). *Patente nº US 5368709A.* Estados Unidos.

Utklev, K. (2000). *Patente nº US 612 6802A.* Estados Unidos.

Anexos.

I

Fichas Internacionales de Seguridad Química

SULFATO DE COBRE (II) (Pentahidratado)

ICSC: 1416

MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES ESPAÑA

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Sal de cobre (II) pentahidratado del ácido sulfúrico

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$

Masa molecular: 249.7

Nº CAS 7758-99-8
Nº RTECS GL8900000
Nº ICSC 1416
Nº CE 029-004-00-0

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION			
EXPOSICION		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO!	
• **INHALACION**	Tos. Dolor de garganta.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
• **PIEL**	Enrojecimiento. Dolor.	Guantes protectores.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
• **OJOS**	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa.	Pantalla facial, o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
• **INGESTION**	Dolor abdominal. Sensación de quemazón. Diarrea. Náuseas. Shock o colapso. Vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	NO provocar el vómito. Dar a beber agua abundante. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente; si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal adicional: respirador de filtro P2 contra partículas nocivas).	Bien cerrado.	NU (transporte): No clasificado. CE: símbolo Xn símbolo N R: 22-36/38-50/53 S: 2-22-60-61



VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2003

Fichas Internacionales de Seguridad Química

SULFATO DE COBRE (II) (Pentahidratado)

ICSC: 1416

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FISICO; ASPECTO
Sólido azul en diversas formas.

PELIGROS QUIMICOS
La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo humos tóxicos y corrosivos, incluyendo óxidos de azufre. La disolución en agua es un ácido débil. Ataca a muchos metales en presencia de agua.

LIMITES DE EXPOSICION
TLV (como cobre): 1 mg/m^3 (como TWA) (ACGIH 2003).
MAK (como cobre): 0.1 (I) mg/m^3;
Categoría de limitación de pico: II(2);
Riesgo para el embarazo: grupo D (DFG 2004)

VIAS DE EXPOSICION
La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.

RIESGO DE INHALACION
La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire al dispersar, especialmente en estado de polvo.

EFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION
La sustancia irrita severamente los ojos y la piel. El aerosol irrita el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. Si se ingiere, la sustancia puede causar efectos en sangre, hígado y riñón, dando lugar a anemia hemolítica, disfunción renal y hepática.

EFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA
Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida del aerosol. La sustancia puede afectar al hígado, cuando se ingiere.

PROPIEDADES FISICAS

Punto de fusión (se descompone): 110°C
Densidad: 2.3 g/cm^3
Solubilidad en agua, g/100 ml a 0°C: 31.7

DATOS AMBIENTALES

La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos. En la cadena alimentaria referida a los seres humanos tiene lugar bioacumulación, por ejemplo en peces. Se aconseja firmemente impedir que el producto químico se incorpore al ambiente.

NOTAS

Se indica el punto de fusión aparente originado por pérdida del agua de cristalización.

INFORMACION ADICIONAL

Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm

Última revisión IPCS: 2001
Traducción al español y actualización de valores límite y etiquetado: 2003

ICSC: 1416 **SULFATO DE COBRE (II) (Pentahidratado)**

© CE, IPCS, 2003

NOTA LEGAL IMPORTANTE: Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

Documento 1 Ficha internacional de seguridad química para el sulfato de cobre pentahidratado tipo II

Recuperado el 8 de octubre de 2015 de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/1401a1510/nspn1416.pdf

II.

Tablas de cálculo Ánodo de grafito.

INCERTIDUMBRE EN TENSIÓN ANODO DE GRAFITO				
V F[V]	**% lectura**	**Recuentos**	**Resolución[V]**	**±ΔV [V]**
107,6	0,09	2	0,1	0,29684
105,3	0,09	2	0,1	0,29477
105,3	0,09	2	0,1	0,29477
104,7	0,09	2	0,1	0,29423
107,8	0,09	2	0,1	0,29702
107,2	0,09	2	0,1	0,29648
105,6	0,09	2	0,1	0,29504
108,1	0,09	2	0,1	0,29729

INCERTIDUMBRE EN INTENSIDAD ÁNODO DE GRAFITO				
I F [mA]	**%lectura**	**Recuentos**	**Resolución[mA]**	**±ΔA[mA]**
18,91	1,00	1	0,01	0,02891
18,57	1,00	1	0,01	0,02857
19,02	1,00	1	0,01	0,02902
18,24	1,00	1	0,01	0,02824
19,17	1,00	1	0,01	0,02917
18,97	1,00	1	0,01	0,02897
19,52	1,00	1	0,01	0,02952
19,25	1,00	1	0,01	0,02925

POTENCIA Y ENERGIA EN ÁNODO DE GRAFITO								
V F[V]	**ΔV[V]**	**I F [mA]**	**ΔA[mA]**	**P[KW]**	**ΔP[KW]**	**E[KWh]**	**ΔE[KWh]**	**t[h]**
107,6	0,2968	18,91	0,01189	0,00203	0,00689	0,165425	0,1654	24
105,3	0,2948	18,57	0,01186	0,00196	0,00672	0,161338	0,1613	24
105,3	0,2948	19,02	0,01190	0,00200	0,00686	0,164635	0,1646	24
104,7	0,2942	18,24	0,01182	0,00191	0,00660	0,158513	0,1585	24
107,8	0,2970	19,17	0,01192	0,00207	0,00698	0,167485	0,1675	24
107,2	0,2965	18,97	0,01190	0,00203	0,00690	0,165590	0,1656	24
105,6	0,2950	19,52	0,01195	0,00206	0,00702	0,168511	0,1685	24
108,1	0,2973	19,25	0,01193	0,00208	0,00701	0,168286	0,1683	24
				0,01615		1,319784		192

III.

Tablas de cálculo ánodo de acero inoxidable

INCERTIDUMBRE EN TENSIÓN ANODO DE ACERO				
V F[V]	**% lectura**	**Recuentos**	**Resolución[V]**	**±△V [V]**
102,9	0,09	2	0,1	0,29261
105,4	0,09	2	0,1	0,29486
107,5	0,09	2	0,1	0,29675
105,7	0,09	2	0,1	0,29513
106,1	0,09	2	0,1	0,29549
106,2	0,09	2	0,1	0,29558
107,6	0,09	2	0,1	0,29684
106,8	0,09	2	0,1	0,29612

INCERTIDUMBRE EN INTENSIDAD EN ANODO DE ACERO				
I F [mA]	**%lectura**	**Recuentos**	**Resolución[mA]**	**±△A[mA]**
18,72	1,00%	1	0,01	0,011872
17,95	1,00%	1	0,01	0,011795
18,53	1,00%	1	0,01	0,011853
18,24	1,00%	1	0,01	0,011824
17,88	1,00%	1	0,01	0,011788
18,95	1,00%	1	0,01	0,011895
18,93	1,00%	1	0,01	0,011893
18,41	1,00%	1	0,01	0,011841

POTENCIA Y ENERGÍA ÁNODO DE ACERO								
V F[V]	±△V[V]	I F [mA]	±△A[mA]	P[KW]	±△P[KW]	E[KWh]	±△E[KWh]	t[h]
102,9	0,29261	18,72	0,011872	1,926	0,0052	46,23091	0,21	24
105,4	0,29486	17,95	0,011795	1,892	0,0049	45,40632	0,19	24
107,5	0,29675	18,53	0,011853	1,992	0,005	47,80740	0,2	24
105,7	0,29513	18,24	0,011824	1,928	0,005	46,27123	0,2	24
106,1	0,29549	17,88	0,011788	1,897	0,0051	45,52963	0,2	24
106,2	0,29558	18,95	0,011895	2,012	0,0051	48,29976	0,2	24
107,6	0,29684	18,93	0,011893	2,037	0,0053	48,88483	0,21	24
106,8	0,29612	18,41	0,011841	1,966	0,0052	47,18851	0,21	24
				1,956		46,95233		192

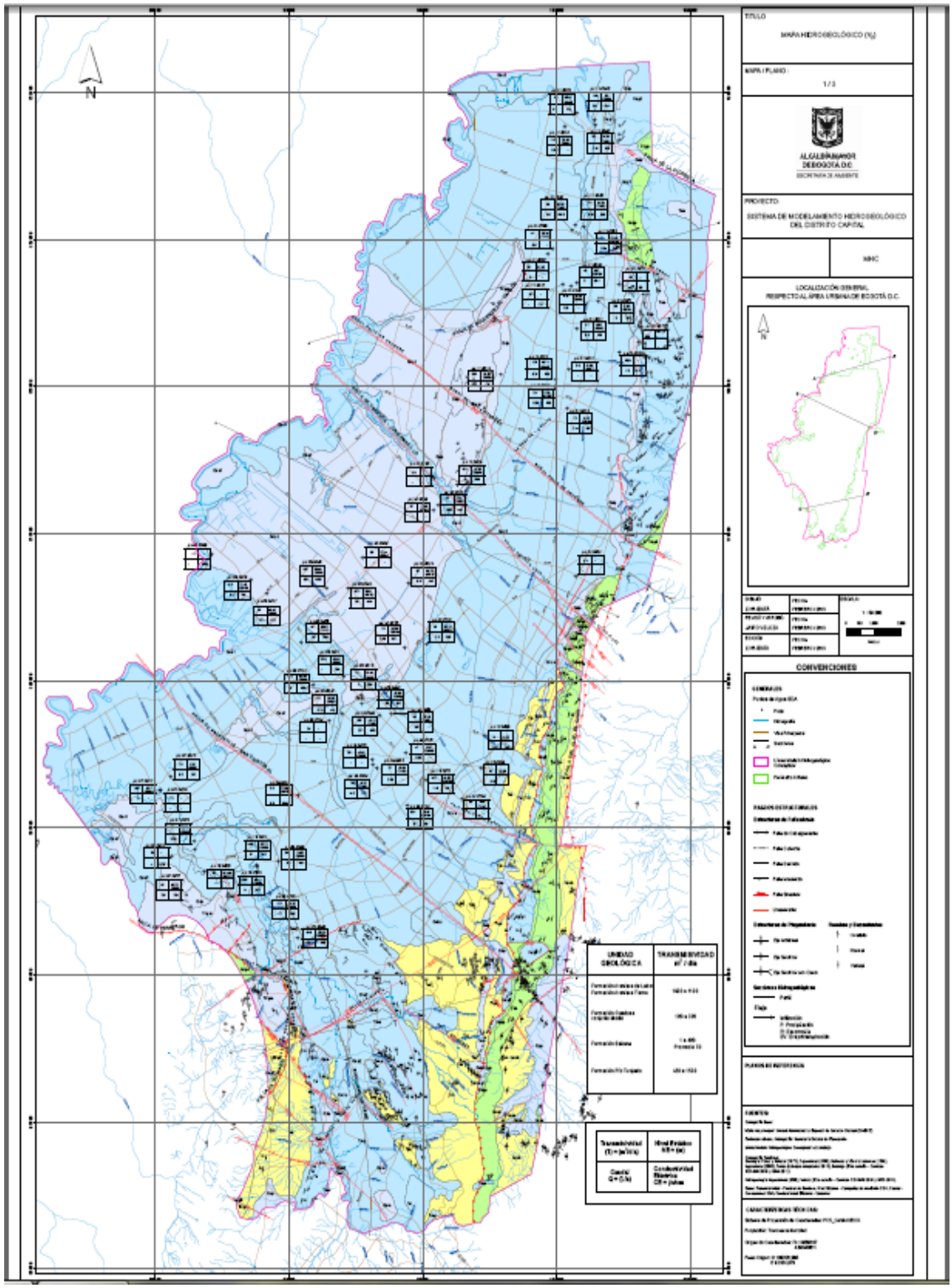


Imagen 17 Mapa hidrogeológico de Bogotá D.C. (Alcaldia de Bogotá D.C. Secretaria Distrital de Ambiente, 2013)

DATOS DE POZOS EN BOGOTÁ, D.C.

NÚMERO DE POZO	TRANSMISIVIDAD T = (m²/día)	NIVEL ESTÁTICO NE=(m)	CAUDAL Q= (L/s)	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA CE= (µs/cm)
01-0001	65			60
01-0011	4,1	4,83 (2010)	0,6	110
01-0012	9,6	6,58 (2004)		
01-0023	10,64		1,8	16,5
01-0069	33	2,03 (2010)	2	10
01-0072	130			
01-0075	13	5,42 (2010)	2,44	187
06-0005	3,5	29,01 (2010)	3,5	152
06-0008	489	21,37 (2009)	12	622
06-0009	543	32,72 (2010)	10	258
07-0007	58	15,36 (2008)	2,6	234
07-0008	52	29,95 (2003)	2,32	
07-0011	78		4	96,32
07-0017	106	15,1 (2004)	2	
07-0020	39	1,32 (2008)	0,5	377
07-016	172			
08-0020	8,2	23,82 (2010)	0,3	281,9
08-0020	8,2	23,82 (2010)	0,3	281,9
08-0023	373	56,75 (2010)	25	1104
08-0032	31			
09-0006	117			1622
09-0013	17	26,95 82010)	1	331
09-0017	57	19,43 (2010)	4,3	686
09-0019	6,8	17,42 (2010)	0,7	787
09-0021	22,6	23,51 (2007)		361
09-0040	150	38,54 (2010)	6,9	15,03
09-0041	185	35,8 (2010)	30	1161
09-0046	11	40,36 (2010)	20	0,6
09-0047	58	39,76 (2005)	5,49	414
09-0059	46	29,05 (2009)	1,5	923
10-0003	25	17,44 (2004)		
10-0015	20	23,96 (2010)	2,13	327
10-0024	10	19,72 (2010)	0,47	445
10-0027	22	12,4 (2010)	1,08	446
10-0028	17	12,68 (2004)		

11-0011	1,37	10,74 (2004)		
11-0012	2,4	7,35 (2010)	0,82	130
11-0014	269	23,78 82008)	12	127
11-0026	189	15,78 (2010)	3	200
11-0027	8,7			138
11-0028	42	13,7 82010)	2	86,1
11-0030	70	24,09 (2010)	2,11	168
11-0033	164	22 (2009)	2,9	164,1
11-0051	21	20,13 (2010)	0,94	349
11-0058	62	20,41 (2010)	6,3	174
11-0080	15	51,04 (2010)	3,76	180
11-0095	4,1	20,78 (2006)	0,5	
11-0097	10	21,75 82005)	2	
11-0148	11,6	13,83 (2010)	0,3	
11-0180	114			
11-052	19	25,78 (2010)	2,6	176,8
13-0005	9	11,52 (2009)	0,44	319
13-0006	18	15,65 (2009)		
13-0010	67	25,29 (2007)	2,2	279
14-0004	29	38,5 (2004)		
16-0002	166	47,58 (2010)	14,5	157
16-0003	27	57,21 (2007)	3,33	
16-0004	36	48,67 (2010)	11,5	397
16-0014	33	46,12 (2010)	8	126
16-0019	4,7	17,5 (2003)	0,65	
16-0029	36	47,51 (2006)		
16-0034	109	43,45 (2010)	25	573
16-0036	76	39,43 82010)	3,8	
19-0005	1432	28,14 (2004)	14	226
19-0009	32	104,15 82006)		
19-0021	1438	27,72 (2009)	17	230
22-0010	142	35,78 (2004)	0,52	

Tabla 21 Relación de pozos subterráneos en el área de la ciudad de Bogotá D.C. según mapa