

Estimación de la humedad y resistencia a compresión final, de una mezcla de concreto fresco utilizando microondas.

Gerardo Calva Olmos

Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, AP 70-186, C.P.
04510, México D. F.
gerardo.calva@ccadet.unam.mx

Rafael Prieto Meléndez

Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, AP 70-186, C.P.
04510, México D. F.
rafael.prieto@ccadet.unam.mx

Alberto Herrera Becerra

Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, AP 70-186, C.P.
04510, México D. F.
alberto.herrera@ccadet.unam.mx

Alejandro Padrón Godínez

Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, AP 70-186, C.P.
04510, México D. F.
alejandro.padron@ccadet.unam.mx

Mario Pacchiano de la Garza

Universidad Anahuac del Sur, Av. De las Torres 131, Alvaro Obregon, Olivar de Los Padres, C.P. 01780,
México D.F.
mpg01@yahoo.com.mx

Resumen

En este trabajo se plantea que tanto la humedad, como la resistencia a compresión final de una mezcla de concreto, se pueden estimar desde el momento del vaciado, mediante la aplicación de señales de microondas sobre la mezcla, cuando ésta es depositada en el lugar de uso, sin tocar el concreto y sin tomar muestras del mismo. Esto se logra al medir la señal de microondas que se obtiene después de que esta es recuperada, al dejar la mezcla de concreto; la señal de microondas se compara con amplitudes de señales que previamente se aplicaron sobre mezclas de concreto en las que se conocía su relación agua/cemento (ejemplos: 0.4, 0.5) su humedad y su resistencia a compresión. La propuesta que aquí se presenta, en ningún momento elimina las pruebas de calidad ya establecidas para el concreto, por el contrario, las complementa.

Palabras clave: concreto, fraguado, microondas, resistencia a compresión.

1. Introducción

Cuando se menciona la inspección del concreto respecto a su humedad, inmediatamente mencionan los sistemas de ultrasonido, sin embargo cabe aclarar desde el principio que ese sistema, el de ultrasonido, se aplica en concreto ya fraguado, en cambio aquí se presentan los resultados de diferentes mediciones hechas sobre concreto fresco. Además, todo el equipo utilizado fue resultado del diseño y desarrollo dentro del laboratorio, no se usó equipo de marca.

Básicamente se propone correlacionar una señal de energía de microondas con dos características propias de una mezcla de concreto, la humedad que tiene al momento de ser depositada en el lugar de uso, y la resistencia a compresión que tendrá el concreto cuando haya cumplido su ciclo de fraguado.

Se parte primero de información previa, obtenida a partir de pruebas de resistencia a compresión sobre muestras de concreto fraguado (de las que se conoce su relación agua/cemento) bajo un protocolo específico de laboratorio [1].

Por otra parte, para conocer la humedad contenida en la mezcla de concreto, se procedió a utilizar el método de pesado-secado-pesado, para saber la cantidad de humedad que tiene una muestra de concreto.

Teniendo la señal recuperada se le valora y correlaciona con la humedad obtenida previamente, además, se le asocia con la resistencia a compresión, también obtenida previamente mediante la relación agua/cemento que ya se sabía.

Esto se hace con muestras conocidas para generar una base de datos confiable, para que posteriormente al aplicar la energía de microondas a mezclas de concreto, se pueda estimar tanto su humedad como su resistencia a compresión final, con la señal de microondas recuperada, después de haber interactuado con el concreto fresco.

Se hace la correlación entre los tres conjuntos de datos de la mezcla.

- Se consideran muestras de las que se puedan obtener su humedad mediante el conocido y confiable proceso de *pesado-secado-pesado*
- Datos obtenidos mediante la aplicación de señales de microondas; se obtiene un nivel de voltaje.
- Datos provenientes de las muestras probadas en laboratorio (proceso tradicional)

De este modo se genera una base de datos, de la que posteriormente se tomarán datos de humedad y resistencia a compresión; con sólo asociar el nivel de voltaje obtenido de la mezcla de concreto fresco de la que no se tenga ningún dato previo. Ver Figura 1.

Los datos se posicionan alrededor de la humedad de la mezcla (h%) debido a que es este proceso de obtención de humedad, el que da la pauta a seguir ya que es un método confiable de medición, y aquí sirve también para la comprobación.

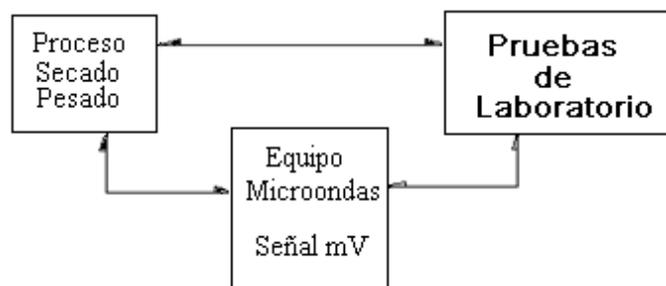


Fig. 1. Diagrama de bloques que muestra la relación que se busca entre las tres bases de datos.

Si se deja el haz de microondas y se continúa pesando-secando-pesando la muestra obtenida del concreto, se puede generar datos suficientes para obtener una curva de voltaje contra tiempo, así como una curva humedad contra tiempo.

La limitante en la generación de datos iniciales (para obtener la correlación) es precisamente el estar secando y pesando la muestra cada cierto tiempo. (Para este caso se hizo cada quince minutos).

Todo lo que se pueda suponer de una mezcla de concreto fresco, referente a su humedad y su resistencia a compresión, se verán confirmados o no, después de llevar a cabo las pruebas tradicionales de laboratorio sobre muestras tomadas de ese concreto.

2. Instrumentación con base en las microondas

2.1. Generación de la señal

La señal utilizada en las pruebas, es una señal de microondas generada en la frecuencia fija de 9.66GHz; esta frecuencia se encuentra en la banda X del espectro [2]. Su potencia máxima no excede los 50 mW, y es considerada no letal [3].

2.2. Desarrollo de la Instrumentación de Microondas

Para poder cumplir con la meta señalada de analizar sin destruir ni mutilar una mezcla de concreto fresco, se diseñó y desarrolló la instrumentación requerida para aplicar la energía, detectarla y evaluar la amplitud que es recolectada. Las bandas que tradicionalmente se utilizan son las de la banda **L**, e inclusive las de la banda **S**. Sin embargo, con base en experiencias previas en las que se había tratado con microondas a una porción de material húmedo (arena mayormente en su composición), se sugirió experimentar con frecuencias en la banda **X**.

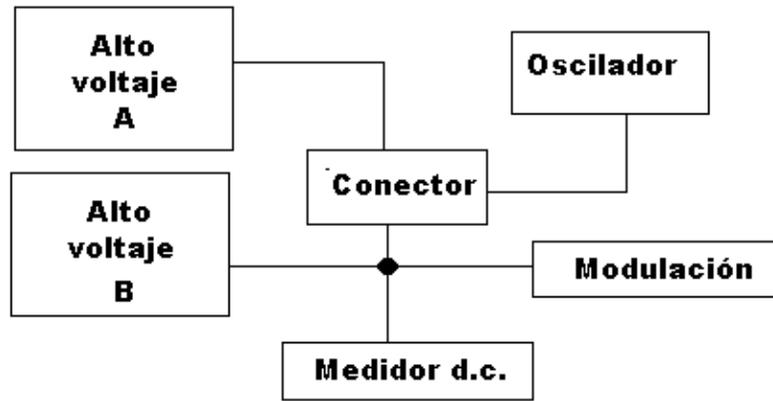


Fig. 2. Diagrama de bloques del generador de señales de microondas.

En la figura 2, se aprecian los diferentes bloques que integran la parte generadora del sistema de microondas. Cada uno de los bloques (menos el conector) implica al menos un diseño electrónico, y por supuesto la elaboración del mismo. Con este sistema se controla la generación de las microondas utilizadas en las pruebas.

El método seguido para su aplicación consiste en arrojar la energía de microondas sobre la mezcla fresca recién vertida, y luego recuperar lo más que sea posible de la señal, y se da su valor en fracciones de volt. Para lograrlo se utilizan antenas piramidales [4] en ángulo sobre el mismo plano (para aprovechar el ángulo de reflexión que tiene la señal), y de esta forma lograr recuperar una buena parte de la señal (ver fig. 3).

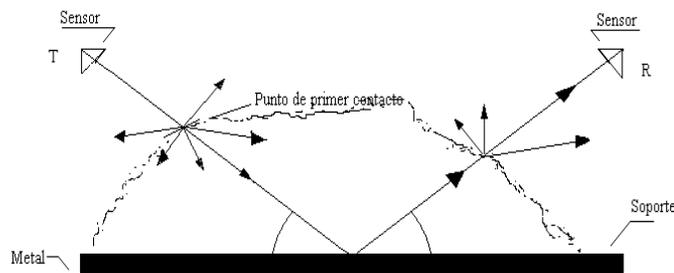


Figura 3. Dibujo representando la aplicación de energía de microondas en una mezcla de concreto, con posibles rutas que seguiría la señal.

La señal de microondas al impactar la mezcla podrá seguir varias rutas dependiendo de en donde golpea la señal.

- Una ruta, es la que alcanza a penetrar la mezcla, llegar al fondo, y regresar en ángulo hacia afuera.
- Otra más encuentra un punto donde tiene una reflexión antes del fondo e igual regresará en ángulo hacia la superficie.
- se aprecia una ruta que cumple con entrar a la mezcla rebotar en el fondo y seguir hasta el receptor en el lado opuesto del emisor. Pero es sólo una ruta que puede seguir la energía.

Las rutas seguidas no están exentas de una posible absorción de la energía por parte de la mezcla. Lo que nos conduce a tener presente la existencia de un coeficiente de absorción.

Dependiendo de que tanta energía sea absorbida, la señal capturada será mayor o menor dentro de un margen conocido. Dicho margen se puede fijar haciendo que la energía se aplique sobre la placa metálica sin mezcla de concreto, para la parte máxima del margen, y la parte mínima cuando la mezcla esté totalmente fraguada. Cuando cumple al menos 28 días de fraguado.

Como ya se mencionó se tiene una Transmitancia dada por:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

Dependiendo de que tanta energía sea recogida en la parte opuesta del material, se sabe cual es la transmitancia del material mismo.

Lo que conlleva a obtener un coeficiente de absorción:

$$A = -\log_{10}(T) \quad (2)$$

Respecto a la energía aplicada a la mezcla se tendrá:

$$E_T = E_P + E_{SP} + E_A + E_D \quad (3)$$

E_T —Energía total

E_P —Energía penetra

E_{SP} —Energía superficial

E_A —Energía absorbida

E_D —Energía Disipada

2.3. Selección del método a utilizar / Aplicación de la señal de microondas

Se tienen dos opciones para aplicarse la señal.

La primera opción consiste en enviar la energía de microondas através, del material.

La energía viaja por todo el material lo atraviesa, y se recupera en el extremo contrario, todo ello en una línea recta [5].

Este método supone que el total de la energía ha atravesado el material antes de llegar al sensor receptor, descontando la energía que haya sido absorbida por el material mismo, lo que proporciona un grado de atenuación o de absorbencia característico de esa muestra.

La desventaja de esta aplicación es cuando no se tiene acceso a la parte opuesta del sitio donde es depositado el material.

La segunda opción propone arrojar la energía de microondas con un cierto grado de inclinación de la antena transmisora sobre la mezcla; su contraparte, la antena receptora o sensor, se sitúa con el mismo ángulo de inclinación en el lado opuesto pero ambos en el mismo plano.

La gran ventaja de este segundo método radica en el hecho de poder situar ambas antenas en el mismo lado de aplicación del concreto. Aunque aquí, la energía aplicada deberá transitar dos veces por la mezcla para salir y llegar hasta la antena receptora; por lo que la intensidad de la señal se verá muy disminuida, a menos que parte de la energía que se refleja en alguna parte intermedia o superficial de la mezcla, coincida en ángulo con la antena y se refuerce la señal.

En clara ventaja se sitúa el segundo método por su sencillez en la aplicación. Este segundo método se presenta en el dibujo de la figura siguiente (ver fig.3).

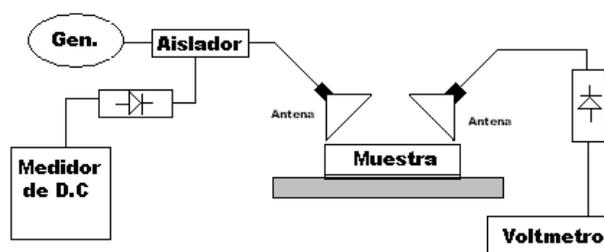


Fig. 3. Diagrama de bloques de un sistema de microondas que utiliza la captura de la señal reflejada en la muestra de interés.

El reflejo de una buena parte de la señal de microondas se asegura al depositar la muestra en un soporte (porta muestra) metálico (ver fig 3.), con ello toda la energía que atraviesa la muestra y choca contra el soporte es reflejada hacia el acoplador del detector. Es casi seguro que el total de la energía reflejada, no será recibida en el acoplador, sin embargo, lo detectado es suficiente para fijar un nivel de humedad en la muestra.

2.4. Influencia de la temperatura del medio ambiente en la mezcla

La temperatura de la mezcla de concreto está bajo la influencia de la temperatura ambiente del lugar en el que se encuentra; a lo anterior hay que agregar los incrementos de la temperatura propia de la mezcla, ya que esta es una mezcla exotérmica [6].

Se debe tener presente que la temperatura del concreto se incrementará cuando se inicie la mezcla; la temperatura ambiente influirá durante el proceso de fraguado acelerándolo cuando se incrementa, y retrasando el fraguado, cuando la temperatura disminuya.

Lo anterior da una correspondencia entre aumento de temperatura y aumento en la pérdida de humedad; razón por la cual en la práctica, se tienen que modificar las raciones en el dosificador de la planta (los cuales están basados sólo en la experiencia), en los meses considerados como calurosos. Con ésta acción se pretende compensar la pérdida de humedad excesiva, debida al incremento en la temperatura ambiente [7, 8].

Los fabricantes de concreto pre-mezclado, aumentan las cantidades de cemento y de agua al momento de la preparación (dosificadoras) de los transportes, esta acción la realizan como se sabe en meses considerados como calurosos, para procurar conservar una cierta relación agua / cemento. Se presenta aumento de temperatura y pérdida de humedad.

El incremento en las cantidades, es una posible solución a la excesiva deshidratación de la mezcla, aunque esta acción no garantiza un resultado como el esperado (porque se hace al tanteo), y encarece la mezcla de concreto. Eleva el costo total de la construcción.

Alta temperatura	Mayor Pérdida de humedad.
Baja Temperatura	Menor Pérdida de humedad.

Por lo anterior es posible considerar y proponer, que mientras se compense la deshidratación de la mezcla en un modo controlado, se estará procurando un fraguado acorde a lo esperado y por ende, una mejor respuesta del concreto, que redundará en un beneficio para la construcción; logrando un mejor lugar, más seguro para los compañeros constructores mientras dure la obra y al finalizar, para quienes ocupen la edificación.

Aunque se recomienda la compensación (cuando no hay otra opción), esta no debe afectar la combinación original agua/cemento de la mezcla; la compensación es benéfica, cuando primero se deja avanzar el proceso de fraguado durante unas horas, antes de llevar a cabo la mencionada compensación [9].

3. Metodología de la preparación de muestras

Se inician las pruebas en laboratorio, se preparan las mezclas según propuestas tradicionales de proporciones [10].

Las pruebas aquí realizadas comprenden en todo momento sólo cuatro elementos integrantes de la mezcla. A saber:

Agua, cemento, arena y grava.

En la siguiente tabla (ver tabla 1), se observan dos de las posibles relaciones agua/cemento que se recomiendan para la preparación del concreto.

Mezcla	Tipo	Agua	Cemento	Arena	Grava	W/c
<u>Concreto</u>	<u>I</u>	<u>6.78</u>	<u>16.95</u>	<u>5.42</u>	<u>50.85</u>	<u>0.4</u>
Concreto	II	11.29	16.13	24.19	48.39	0.7

Tabla 1. Ejemplos de la relación agua/ cemento en una mezcla de concreto.

Lista de Materiales utilizados

Cemento: se utilizó cemento de un bulto de 50kgs. Tipo II Compuesto.

Agregados duros. Grava. Se utilizaron porciones de grava que en promedio tenían las medidas de 41.5 mm. Se eliminaron basuras que a simple vista se apreciaban.

Agregados suaves. Arena. La arena se tamizó para eliminar las basuras que pudiera tener, además de eliminar las partes que no pertenecen al material y que se identificaban a simple vista.

Agua. Se utilizó agua embotellada para estas pruebas, con la intención de eliminar posibles contaminantes que incluyera el agua de la toma. Debido a que el agua embotellada se analiza para determinar su contenido en sales y minerales es que se dispuso el uso de este tipo de agua.

Se intenta garantizar que el agua no tenga influencias adicionales que puedan alterar las mediciones y el tiempo de fraguado.

Del total de la mezcla obtenida, se separa una pequeña porción para ser evaluada por un método confiable de comprobación de contenido de humedad (método de pesado-secado-pesado). El resto de la mezcla se somete al haz de microondas por un periodo de al menos seis horas.

Condiciones prevalecientes durante las pruebas:

Temperatura ambiente: 23.7 c (± 0.8)

Con una humedad relativa de: 39.1% (± 4)

4. Método de comprobación y de comparación

Para asociar un nivel de voltaje a un nivel de humedad, se debe recurrir a un método que permita conocer el nivel de humedad de la mezcla, que haya sido sujeta a la energía de microondas.

Método de pesado-secado-pesado

Este método de pesado-secado-pesado, es el más confiable para conocer que cantidad de masa de agua corresponde al peso total de la muestra de material.

$$h = \frac{mH_2O}{(m_d + mH_2O)} \quad (4)$$

En particular el protocolo seguido para esta prueba fue:

- a) Preparar la mezcla según una relación agua/cemento conocida.
- b) Del total de la mezcla separar una pequeña muestra (menor a los 10gr.) antes de poner el resto de la mezcla bajo el haz de microondas.
- c) Secar la muestra de mezcla, e ir verificando su peso conforme se vaya secando (cada 15 minutos)

Inicialmente se hicieron pruebas, que comprendían un periodo mayor a 24 horas, tanto para la aplicación del haz de microondas como para el método de comprobación. Sin embargo para la segunda época de pruebas, se decidió dejar el periodo en sólo seis horas.

En la figura siguiente (ver fig. 4) se aprecian las curvas generadas por el método de comprobación para cuatro posibles relaciones de W/c, en la figura todavía se corrieron

las pruebas en periodos de más de 24 horas. Teniendo este periodo se puede ver mejor el comportamiento de las mezclas pero es una actividad muy desgastante, que se justifica sólo cuando se inicia la generación de una base de datos.

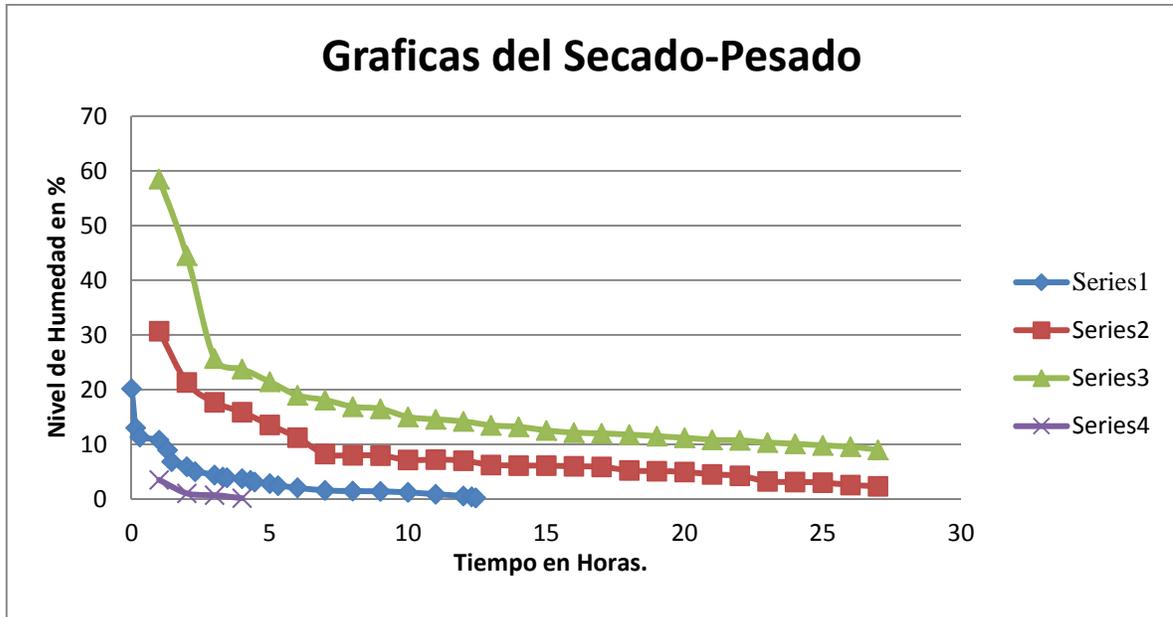


Fig. 4. Graficas que ilustran el comportamiento del proceso de fraguado del concreto fresco durante un periodo de más de 24 horas. Para cuatro posibles relaciones w/c.

En la figura 4, se aprecian las curvas de deshidratación del concreto para cuatro diferentes relaciones agua cemento. Serie 1. Relación W/c 0.4; serie 2. Relación W/C 0.7; Serie 3. Relación W/c 1.5; Serie 4 Relación W/c 0.1

Para la serie 4. Se utilizó muy poca agua para la mezcla y realmente se dejó de analizar dicha mezcla debido a que su fraguado era muy rápido, y por supuesto que su trabajabilidad era escasa. Se puede concluir por adelantado que para esta relación, la arena contenida en la mezcla absorbe la mayoría de la humedad, dejando muy poca de esta para que el concreto se hidrate como es debido y pueda ser trabajado.

Diagramas de dispersión

En la correlación que se muestra, ver tabla 2, se utilizaron los datos generados durante el proceso de pesado-secado-pesado, así como los datos obtenidos mediante la aplicación de señales de microondas sobre la mezcla. Se consideró un periodo de seis horas, para cada mezcla. Sólo se tomaron en cuenta tres muestras del total de cada una de las series. Cada serie constó de al menos 400 mezclas.

serie	Correlacion 1	Correlacion 2	Correlacion 3
A	0.94199958	0.95504146	0.97868523
B	0.88967181	0.87588488	0.88477909
C	0.92182071	0.94711593	0.98698808

Tabla 2. Correlación de datos generados por el equipo de microondas, y las mediciones obtenidas mediante el método de pesado-secado-pesado.

Una forma, de presentar la distribución bidimensional es representando los pares de valores en el plano cartesiano; como en las gráficas que a continuación se presentan y que reciben el nombre de *Nube de Puntos* o *Diagrama de Dispersión*. La siguiente figura (ver fig. 5), es una gráfica de voltaje contra humedad, para una relación w/c de: 0.4

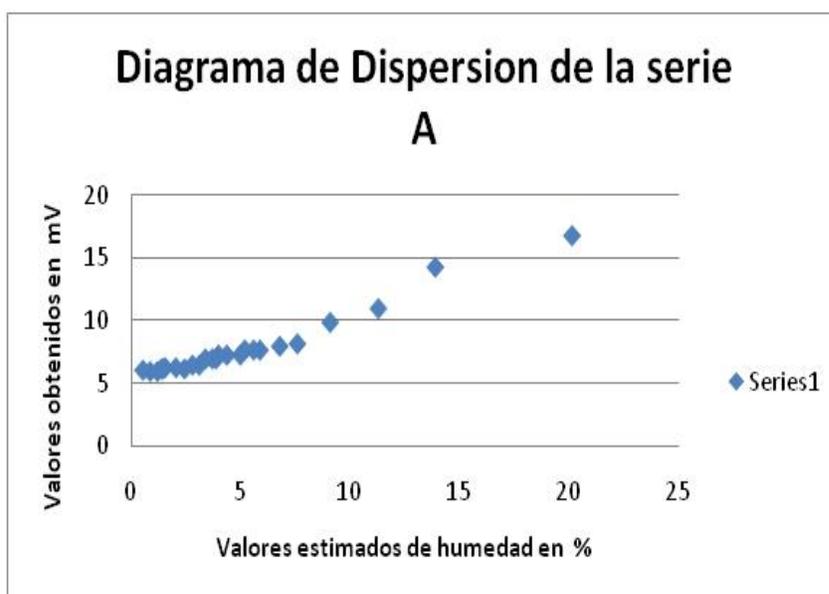


Fig. 5. Gráfica que muestra la dispersión de puntos de las pruebas realizadas. Son valores obtenidos con la instrumentación en microondas contra los niveles de humedad.

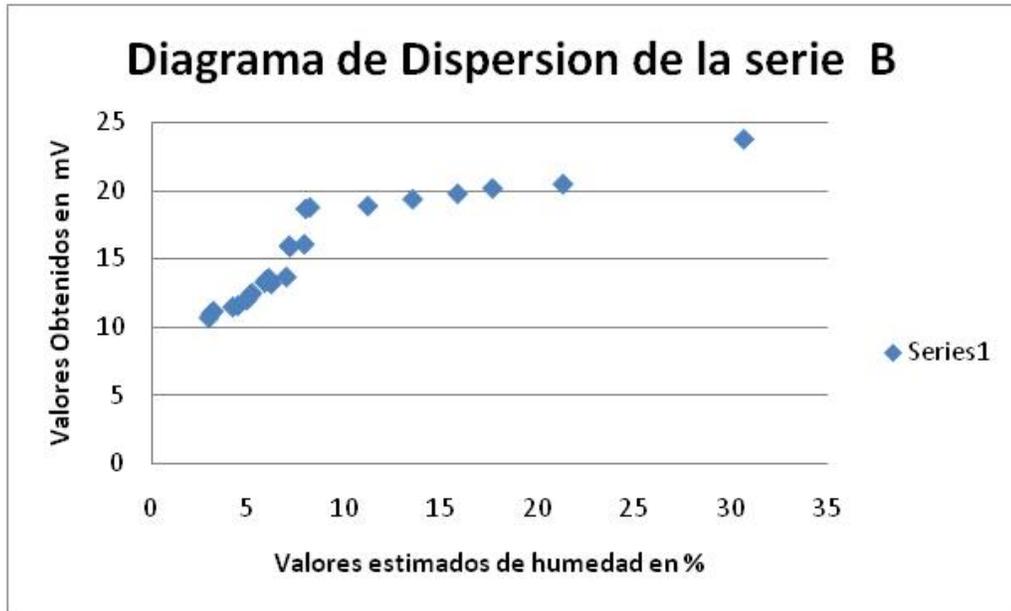


Fig. 6. Gráfica que ilustra la distribución de valores obtenidos para una relación W/c de 0.7.

En la figura anterior (ver fig. 6), es posible apreciar el comportamiento que presenta la mezcla, cuando su relación agua/cemento aumenta; aún así, sigue teniendo una correlación aceptable. Los datos obtenidos son de humedad contra valores en voltaje.

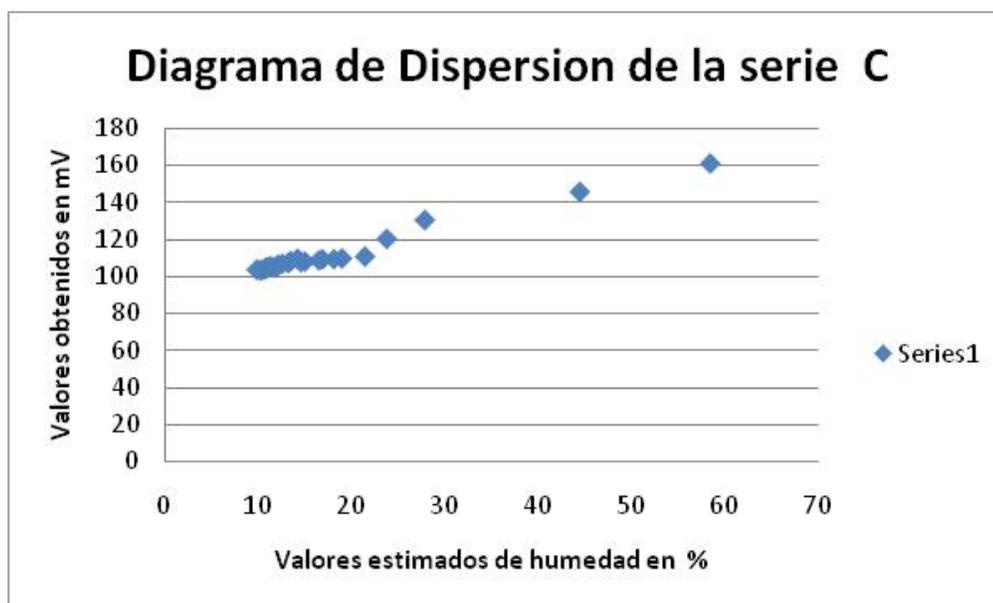


Fig. 7. Gráfica que representa la dispersión de puntos generados en las pruebas de humedad y de microondas.

De igual modo se aprecia la distribución de puntos obtenidos para una relación agua/cemento de 0.7, en la figura 7.

Es posible argumentar que la mayoría de los puntos en las gráficas antes presentadas (figuras 5, 6 y 7) se agrupan en las cercanías de una recta, por lo que es factible presentar a la correlación de cada gráfica, como a una correlación Lineal.

La cercanía de los puntos en cada gráfica a una recta imaginaria, hace suponer una correlación lineal, fuerte; como además la recta sería creciente, la correlación es positiva o directa. Debido a todo lo anterior, al aumentar una variable, la otra variable también aumenta; es decir ambas variables, se corresponden.

5. Rompimiento a compresión en muestras

Hasta este punto es posible asociar un nivel de voltaje con un nivel de humedad para una mezcla de concreto fresco, de la cual se sabía previamente cual era su relación agua/cemento. Lo interesante ahora está en como relacionar, ese nivel de voltaje con la resistencia a compresión que obtenga el concreto al final de su fraguado.

Si primero se logra una relación de resistencia a compresión de una mezcla de concreto fresco, con un nivel de voltaje; posteriormente se podrá estimar la resistencia a compresión de una mezcla de concreto fresco, con solo obtener su nivel de voltaje, sin que se recurra a ningún tipo de muestreo.

Para lograr lo anterior se requiere un método de comprobación seguro, que proporcione el nivel de resistencia a compresión sobre muestras de concreto tomadas directamente de la mezcla depositada en el lugar de uso, y para ello no hay más que un laboratorio de prueba especializado.

Se debe seguir el protocolo establecido por el laboratorio de pruebas a concreto, para tener una muestra totalmente fraguada, sobre la cual realizar la prueba a rompimiento.

La prueba a rompimiento y el cumplimiento de los protocolos de fraguado fijados por el laboratorio, fueron seguidos en el trabajo realizado por colegas de la Universidad de Merida Yucatán México [5]; en este trabajo se presentan los resultados obtenidos de rompimiento a compresión sobre muestras de concreto con relaciones conocidas de agua / cemento de:

0.4; 0.5; 0.6; 0.7.

Si se asocia dicha información (de rompimiento), con la información (datos generados en las pruebas previas de aplicación de energía) de microondas, se podrá obtener una correlación entre la resistencia a compresión, la relación agua/cemento, y el nivel de voltaje que se obtuvo al aplicar la señal de microondas sobre el concreto fresco cuando este fue vaciado.

De esta forma, con base en la correlación, al aplicar la señal de microondas sobre una muestra de concreto fresco cualquiera, se podrá estimar cual será su resistencia a compresión final. Esto con solo obtener el nivel de voltaje resultante de la aplicación.

6. Correlación de resultados entre características del concreto y su nivel de voltaje

Habiéndose obtenido los niveles de voltaje con la instrumentación en microondas, los niveles de humedad con el metodo de pesado-secado-pesado, sólo faltaria la resistencia a compresion del concreto.

Al momento de estar realizando las pruebas con microondas y el método de pesado-secado-pesado para este proyecto, se localizó un trabajo enfocado a determinar la resistencia a compresion de concreto mediante pruebas tradicionales de rompimiento de muestras en laboratorio especializado [11].

En la siguiente tabla 3, se presentan algunos datos extraidos de [11].

0.4	0.5	0.6	0.7
334	295	255	237

Tabla 3. Resistencia media (Kg/cm²) para cada relacion W/c.

Como se aprecia fácilmente en la tabla (ver tabla 3), cuanto mayor es la relación agua cemento, menor resulta la resistencia a compresión final del concreto.

Mediante el nivel de voltaje se estima la humedad que contiene la mezcla, de ahí se hace una correlación con la relación agua cemento, para finalmente estimar cual será la resistencia a compresión que tendrá la mezcla de concreto fresco que se analiza.

En la siguiente tabla (ver tabla 4) se presenta una de las relaciones utilizadas en las pruebas en concreto fresco, y sus respectivas mediciones realizadas cuando el concreto está completamente fraguado.

uW/mV	h%	W/c	R.C. (kg/cm ²)
18.0	20	0.4	283
17.5	18	0.4	310
16.9	15	0.4	323
16.6	13	0.4	334
16.3	12	0.4	369
16.2	12	0.4	372

Tabla 4. Correlación entre las variables de una mezcla de concreto y los niveles de voltaje de la señal de microondas aplicada.

En la tabla (ver tabla 4), se aprecia un resumen de los datos generados para una mezcla de concreto. Es fácil observar que mientras las cantidades de humedad sean altas su resistencia a compresión final, será menor. Para estas pruebas se consideró una relación entre agregados duros y suaves que comprende el intervalo de: 1.5 – 2. De aquí que parte de la variación que se nota (para una misma w/c) en las lecturas, se puede atribuir al comportamiento que tienen estos elementos en la resistencia a compresión final que tiene la mezcla. Lo mismo se puede apreciar con las demás relaciones de agua / cemento, utilizadas en las pruebas.

En la tabla siguiente (Ver tabla 5), se presentan los datos recabados para una relación w/c de 0.7, en ella también se aprecian los niveles de resistencia a compresión.

uW/mV	h%	W/c	R. C. (Kg/cm ²)
24.6	30	0.7	221
23.5	28	0.7	234
23.0	27	0.7	237
23.0	27	0.7	238
22.0	27	0.7	246

Tabla 5. Correlación de valores entre el voltaje y las características de la mezcla.

A manera de complemento se presenta la tabla 6, con los valores obtenidos en las pruebas realizadas con la denominada serie 4. Esta serie se dejó desde un principio

debido a sus características muy particulares. En la tabla siguiente (ver tabla 6), se agrupan algunos datos obtenidos para dicha serie.

uW/mV	h%	W/c	R. C.(Kg/cm2)
9.6	3.5	≈0.1	No disponible
8.3	1.02	< 0.1	No disponible
7.2	0.69	< 0.1	No disponible
6.5	0.15	< 0.1	No disponible

Tabla 6. Datos de la serie 4.

En esta serie 4, se notó una muy baja trabajabilidad debido principalmente a la escasa humedad; la mezcla no presentaba la adhesión que caracteriza al concreto fresco; su fraguado fué demasiado rápido y su consistencia final era quebradizo.

7. Conclusiones

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la propuesta de relacionar los niveles de voltaje al aplicarle una señal de microondas a una mezcla de concreto fresco recién dispuesto en su sitio de uso y su resistencia a compresión, la humedad y su relación agua/cemento. La instrumentación desarrollada permitió realizar las mediciones necesarias. En cuanto a la señal de microondas, se hizo con equipos diseñados y fabricados específicamente para esta aplicación; son prototipos de laboratorio. Por supuesto que el siguiente paso es continuar con las pruebas para afinar las mediciones realizadas, para darle mayor certeza a cada lectura que se haya obtenido y que se vaya obteniendo. Además de modificar o ajustar el funcionamiento de los prototipos a las necesidades propias del usuario, y entonces generar un equipo con toda la instrumentación para que sea utilizado de manera totalmente transparente para el usuario, y que éste pueda tener un mejor control sobre el producto que entrega. Disponiendo de suficientes datos para la elaboración de una estadística acerca de las mezclas preparadas y entregadas.

8. Referencias

- [1] Microwave Based Detection, Quantification and non-Destructive Evaluation of Materials and Compounds. Cairo Egypt. 2007.
- [2] Schoenbeck Robert. Electronic Communications. 1992. Maxwell Macmillan International Editions.
- [3] Instrumentación electrónica para análisis no destructivo. Memorias de congreso de instrumentación. Baja California, México. 2012
- [4] Smith Martin. Introduction to Antennas. 1998. Springer-Verlag. NY.
- [5] Measurement and Monitoring of Microwave Reflection and Transmission Properties of Cement-Based Specimens. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. Budapest, Hungary. 2001.
- [6] Construcción y Tecnología en Concreto. Imcyc. 2011.
- [7] J. Ortiz, C. Aguado, Z. de León, A. Farrera, F.A., "Influencia de la temperatura ambiental en las propiedades del concreto hidráulico". Revista académica de la FI-UADY. 2007.
- [8] Curado del Concreto. Información Técnica. Sika, Construcción. 2001.
- [9] Dosificación y diseño de mezclas de concreto. Facultad de Ingeniería, arquitectura y urbanismo. Escuela profesional de Ingeniería Civil. Perú. 2009.
- [10] Cemex. Manual del Constructor. 2000.
- [11] R. Solis. E. Moreno. C. Arcudia, "Study of the concrete's compressive strength due to the combined effect of the water-cement ratio, the coarse-fine aggregate ratio and the source of the aggregates". Revista técnica de la Universidad de Zulia. Vol. 31. No. 3. 2008. 213-224 pp.

9. Autores

Dr. Gerardo Calva Olmos. Recibió el título de Ingeniero Mecánico Electricista. Área de Electrónica. En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. El grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica. Instrumentación, en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM). Se desempeñó como diseñador en la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en el gobierno Federal. Posteriormente ingresó en el departamento de Ingeniería del Centro de Instrumentos de la UNAM, donde participó en diversos proyectos en el laboratorio de electrónica, así como en el departamento de Prototipos e Ingeniería de Producto del mismo centro. Actualmente colabora en el laboratorio de Modelado y Simulación de Procesos, donde desarrolla principalmente proyectos relacionados con la evaluación electromagnética no destructiva.

M. en I. Rafael Prieto Meléndez. Recibió el título de Ingeniero Mecánico-Electricista en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, en 1993, y el grado de Maestro en Ingeniería, en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, en 1999. Actualmente labora en el Grupo de Modelado y Simulación de Procesos del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la Universidad Nacional Autónoma de México. Es profesor de asignatura definitivo en la División de Ciencias Básicas y profesor de asignatura en la División de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde imparte clase desde 1995.

M. en I.B.B. Alberto Herrera Becerra. Químico egresado de la Facultad de Química de la UNAM, con una tesis presentada en 1985. Es Maestro en Investigación Biomédica Básica por la UACPyP del CCH de la UNAM con una tesis presentada en 1989. Es candidato a Doctor en Ciencias Químicas por la UAM-Iztapalapa. Presentó su examen predoctoral 2014.

M. en I. Alejandro Padrón Godínez. Grado de Maestro en Ingeniería en Seguridad y Tecnologías de la Información, ESIME-Culhuacán del IPN, 2011-2013. Examen 2/Diciembre/2013. Tesis: "Implantación del algoritmo de cifrado AES con CFB en FPGA para protección de datos". Director: Dr. José Velázquez López. Especialización en Seguridad Informática y Tecnologías de la Información, ESIME-Culhuacán del IPN, 2008-2009. Examen 4/Mayo/2011. Tesis: "Información Cifrada en medios portadores". Directora: Dra. Gina Gallegos García. Diplomado en el CEM Polanco/DGSCA-UNAM con el nombre de "Diplomado Seguridad Informática", mayo a diciembre de 2007. Diplomado en el CEM Polanco/DGSCA-UNAM con el nombre de "Tecnologías de la Información", noviembre-2006 a marzo-2007. Diplomado en CEM Polanco/DGSCA-UNAM con el nombre de "Diplomado Integral en Telecomunicaciones", febrero a octubre de 2006. Grado de Maestro en Ingeniería Eléctrica, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. 1992-1994, Mención Honorífica. Tesis: "Diseño de circuitos electrónicos para generar Funciones de Activación empleadas en Redes Neuronales Artificiales". Director: M. en C. José Luis Pérez Silva. Título de licenciatura: Físico,

Facultad de Ciencias de la UNAM. 1985-1990. Tesis: "Laboratorio controlado por Computadora". Director: M. en C. José Luis Pérez Silva.

M. en I. Mario Pacchiano de la Garza. Recibió el título de Ingeniero Mecánico Electricista. Área de Potencia por la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Obtuvo su título de maestro, en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente es candidato a doctor por el posgrado en ingeniería de la universidad anáhuac del sur. Ha desempeñado diversos cargos en el gobierno federal así como en la industria privada. Actualmente se desempeña como CEO de la empresa OGGi corporation.