



Implementación de algoritmos innovadores para minimizar los procesos iterativos, a la tecnología del concreto a través de las TIC

Cyprien Lubin¹, M. I. I. Cyntia García Ortega²,

Daniel Cruz Pablo³, Heder Ithamar⁴, M.C. Ivan Aroz Baltazar, la Guadalupe Viveros

Resumen— El presente artículo tiene por objeto mostrar la implementación a la tecnología del concreto de una serie de algoritmos que minimizan, mediante las TIC, los procesos iterativos de diseño de mezcla, por el método de mínimo contenido de vacíos desarrollado por el ACI (Instituto Americano del Concreto); aplicando la ingeniería de software para obtener los resultados del diseño de forma eficaz y eficiente. Generando dichos resultados sin o con la cantidad respectiva de desperdicio de acuerdo a la NMX-C-414-ONNCCE-2010. Esta Norma Mexicana establece las especificaciones y métodos de ensayo aplicables a los diversos tipos de cemento hidráulico de fabricación nacional o extranjera que se destinen a los consumidores en México.

Abstract— The goal of this article is to show the implementation to the concrete technology of some algorithms that minimize the process, using the TIC, the iterative process of concrete mix design, by the Minimum void content, developed by the ACI (American Concrete Institute): Applying the software

¹ Cyprien Lubin es Alumno del Instituto Tecnológico de Tehuacán, Tehuacán, Puebla, México.
heder.ithamar.hr@gmail.com (primer autor)

² La Maestra en Ingeniería Industrial Cyntia García Ortega es Profesora de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Tehuacán, Tehuacán, Puebla, México.
cyntia_garcia_ortega@hotmail.com (autor corresponsal)

³ Daniel Cruz Pablo es Alumno del Instituto Tecnológico de Tehuacán, Tehuacán, Puebla, México.
cruz_dani93@hotmail.com

⁴ la Viveros es Alumno del Instituto Tecnológico de Tehuacán, Tehuacán, Puebla, México.
cruz_dani93@hotmail.com



CONGRESO
INTERNACIONAL
DE INVESTIGACIÓN
E INNOVACIÓN
DOS MIL DIECISEIS

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México



technology to obtain the mix design efficiently. Generating the results without or with waste.

Palabras clave—Contenido mínimo de vacíos, Diseño de mezcla de concreto, Tecnologías de la información y de la comunicación.

Introducción

El Instituto Americano del Concreto (ACI) es una organización de Estados Unidos de América que publica normas y recomendaciones técnicas con referencia al concreto reforzado. En tecnología del concreto, una de las mejores metodologías para diseñar mezclas de concreto es el diseño por mínimo contenido de vacíos desarrollada por el ACI. Establece que el peso volumétrico compactado de la mezcla de grava y arena representa el peso de ambos agregados en la unidad de volumen de concreto, por consiguiente los espacios vacíos complementarios corresponden al espacio unitario disponible para ser ocupado por la pasta de cemento. Por lo que el método se llama mínimo contenido de vacíos es decir con el máximo contenido de agregados. Para aplicar este diseño se requieren los datos siguientes:

- Tamaño máximo de los agregados.
- Densidad de la arena, de la grava y del cemento
- Peso volumétrico del agregado fino (arena) fino y seco
- Peso volumétrico del agregado grueso (grava) fino y seco
- Peso volumétrico de la arena compactada con la grava
- La mejor relación de peso Grava-Arena
- La relación agua cemento, que se determina mediante la ley de Abrams

Cada uno de estos elementos se determina mediante pruebas de laboratorio.



Descripción de la implementación de los algoritmos

En la actualidad las tecnologías de la información y de la comunicación se han convertido, a una gran velocidad, en parte importante de nuestras vidas. Estas no son ninguna panacea ni fórmula mágica pero pueden aplicarse en cualquier área y mejorar la vida de todos los habitantes del planeta propagando los conocimientos y facilitando la comprensión.

De acuerdo a lo anterior y ya que las TIC son dinámicas es posible la implementación de estas herramientas al sector de la construcción. Logrando con ellas la transformación de los cálculos manuales para obtener la dosificación del concreto, mediante la aplicación de la ingeniería de software por medio de diversas técnicas que generan el proceso de desarrollo, el cual involucra numerosas y variadas tareas, que se pueden resumir como sigue:

- Captura, elicitation, especificación y análisis de requisitos.
- Diseño
- Codificación
- Pruebas
- Instalación y paso a producción
- Mantenimiento

Los algoritmos para obtener los resultados antes mencionados se describen en forma general en los 3 pasos siguientes:

1. Diseñar un algoritmo que permite dosificar la mezcla determinando la cantidad necesaria de cemento, arena, grava y agua para la fabricación de un metro cúbico de concreto, utilizando la metodología desarrollada por el instituto americano del concreto (ACI). Estas cantidades generan una tabla dinámica de datos.(Ver tabla 1)
2. Generar un algoritmo que permite obtener el volumen de las figuras geométricas tridimensionales más frecuentes de la construcción



- a. Pirámide.
 - b. Cilindro.
 - c. Pirámide truncada.
 - d. Esfera.
 - e. Cono.
 - f. Etc.
3. Teniendo los resultados de los pasos 1 y 2, se obtiene la cantidad respectiva de cemento, arena, grava y agua necesaria para la fabricación del concreto que se desee obtener.

En la sección siguiente se presenta el proceso de diseño del algoritmo para la elaboración de la tabla dinámica de datos que se muestra en la tabla 1.

Generación de la primera tabla dinámica

Basándose en la metodología del diseño de mezclas por mínimo contenido de vacíos, se desarrolla el siguiente algoritmo que permite mediante algunos pasos bien estructurados obtener las cantidades respectivas de cada elemento que contiene la mezcla para la fabricación de 1 m^3 de concreto sin desperdicio.

Se maneja una tabla dinámica para poder realizar mediante el algoritmo las iteraciones que se generan cuando se aplica este método tradicionalmente. Cada vez que las características del concreto o de los agregados se modifican, es necesario iterar para considerar los cambios. Por consecuencia, Este procedimiento iterativo es el que hace largo, tedioso y aburrido el uso tradicional de esta metodología para el diseño del concreto.

Para genera la primera tabla, en la cual no se considera el desperdicio de los materiales, se aplican los pasos siguientes.

1. Se declaran las variables que se usan en todo el proceso



$$\text{Peso volumétrico compactado} = W_{\text{Grava-Aena}}$$

$$\text{Densidad de la grava en } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \delta_{\text{Grava}}$$

$$\text{Densidad de la arena en } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \delta_{\text{Arena}}$$

$$\text{Densidad del cemento en } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \delta_{\text{Cemento}}$$

$$\text{Resistencia a la compresión} = f'_c$$

$$\text{Agregado máximo} = Agr_{\text{max}}$$

- Declaración de una condición para la elección de la mejor relación de peso que da los porcentajes de peso de la grava y de la arena cuando están compactadas.

En este trabajo se consideran 3 casos de relación de peso:

- La relación: 50-50 en la cual se compactan la misma cantidad en peso de grava y arena.
- La relación: 60-40 en la cual se compactan 60% de grava y 40% de arena.
- La relación: 40-60 en la cual se compactan 40% de grava y 60% de arena.

Al elegir una de estas opciones se define automáticamente el porcentaje del peso volumétrico compactado de la arena y la grava que ocupa esta última. La denotaremos $\%_{\text{Grava}}$

- Proporción de la arena

$$\%_{\text{arena}} = 100 - \%_{\text{Grava}}$$

- Peso unitario de la grava

$$W_{\text{Grava}} = \frac{\%_{\text{Grava}} * W_{\text{Grava-Aena}}}{100}$$

- Volumen absoluto de la grava



$$Vol_{Grava} = \frac{W_{Grava}}{\delta_{Grava}}$$

5. Peso unitario de la arena

$$W_{Arena} = \frac{\%Arena * W_{Grava-Aena}}{100}$$

6. Volumen absoluto de la arena

$$Vol_{Arena} = \frac{W_{Arena}}{\delta_{Arena}}$$

7. Volumen absoluto de la arena compactada con la grava

$$Vol_{Arena-Grava} = Vol_{Grava} + Vol_{Grava}$$

8. Volumen absoluto de la Pasta de cemento

$$Vol_{Pasta-de-cemento} = 1000 - Vol_{Arena-Grava}$$

9. Volumen de aire atrapado o intencionalmente incluido

$$Volumen\ de\ aire\ atrapado = Vol_{aire-atrapado}$$

Este se determina observando la tabla 2 que proporciona el valor del aire atrapado en función del tamaño máximo de agregado



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Tamaño máximo de agregado mm	Contenido unitario de aire			
	Aire natural incluido	Aire intencionalmente incluido		
		Exposición benigna	Exposición moderada	Exposición severa
10	30	45	60	75
13	25	40	55	70
20	20	35	50	60
25	15	30	45	60
38	10	25	45	55
51	5	20	40	50
76	3	15	35	45
152	2	10	30	40

Tabla 2: Contenidos de aire natural atrapado y aire incluido intencionalmente, según el tamaño máximo de agregados. Manual de Tecnología del Concreto de la Unam.

10. Volumen que corresponde exclusivamente al agua y al cemento

$$Vol_{Agua-Cemento} = Vol_{Pasta-de-cemento} - Vol_{Aire}$$

11. Relación agua cemento: Basándose en la gráfica de las resistencias a compresión predecibles en el concreto a 28 días de edad (Ver figura). Se generó el valor de la relación agua cemento en peso. (Ver gráfica 1)

$$Relación\ Agua - Cemento = R_{Agua-Cemento}$$

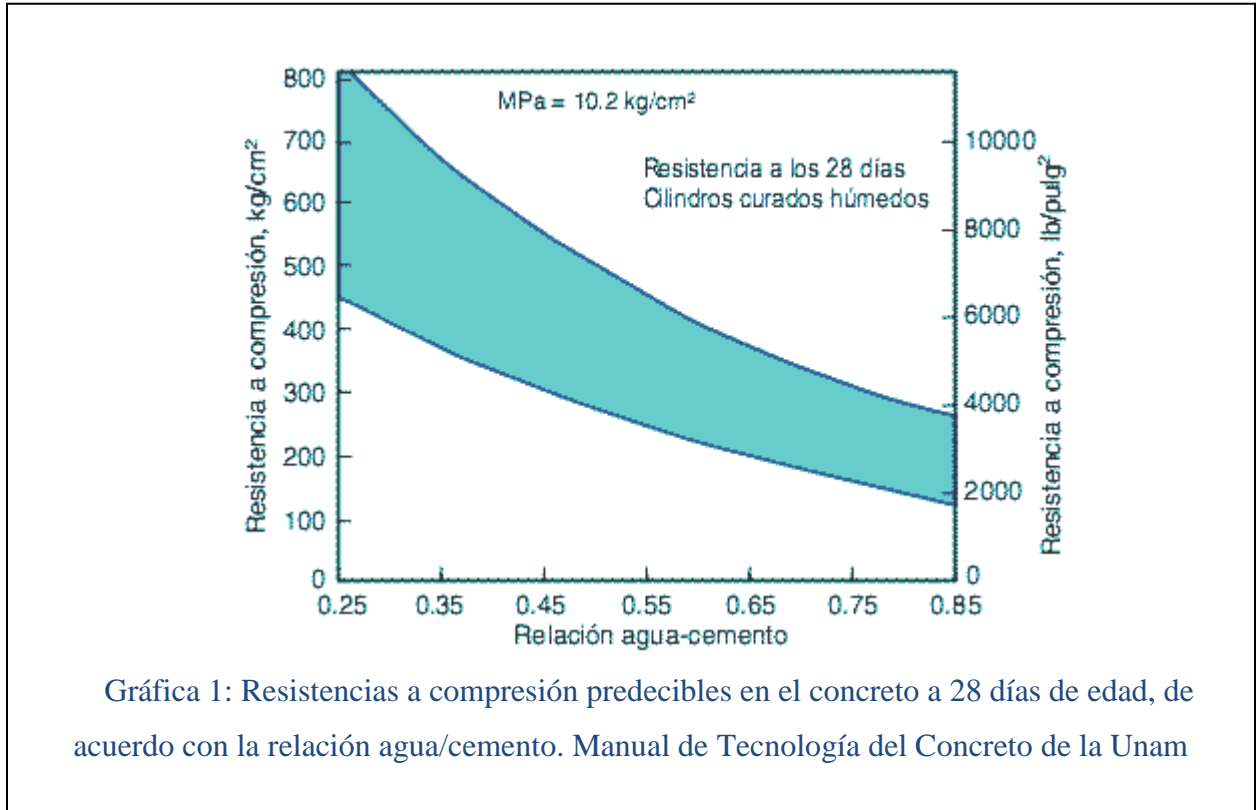
12. Volúmenes absolutos de agua y cemento en litros

$$Vol_{Cemento} = \frac{Vol_{Agua-Cemento}}{1 + R_{Agua-Cemento}}$$

$$Vol_{Agua} = Vol_{Agua-Cemento} - Vol_{Cemento}$$



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México



Gráfica 1: Resistencias a compresión predecibles en el concreto a 28 días de edad, de acuerdo con la relación agua/cemento. Manual de Tecnología del Concreto de la Unam

13. Peso de cemento en toneladas

$$W_{Cemento} = \frac{Vol_{Cemento} * \delta_{Cemento}}{1000}$$

14. Volumen de agua en m³

$$Vol_{Agua} = \frac{Vol_{Agua}}{1000}$$

Al llevar a cabo estos 14 pasos, se obtiene la tabla dinámica de datos



Elemento agregado	Cantidades por m^3
Cemento	W abs-cemento
Arena	W abs-arena m^3
Grava	W abs-grava m^3
Agua	Vol. abs-Agua m^3
Aire	Vol. abs-aire l

Tabla 1. Tabla dinámica que proporciona la dosificación de m^3 de concreto

Volumen de concreto calculado

Son 10 formas de figuras geométricas tridimensionales que se toman en cuenta. Cada una tiene características distintas. Para obtener el volumen de concreto que se desee fabricar, se declara una condición con 10 opciones que permite asignar a cada figura sus datos característicos y la fórmula para la obtención del volumen: $Vol_{concreto}$. (Ver figura 1)

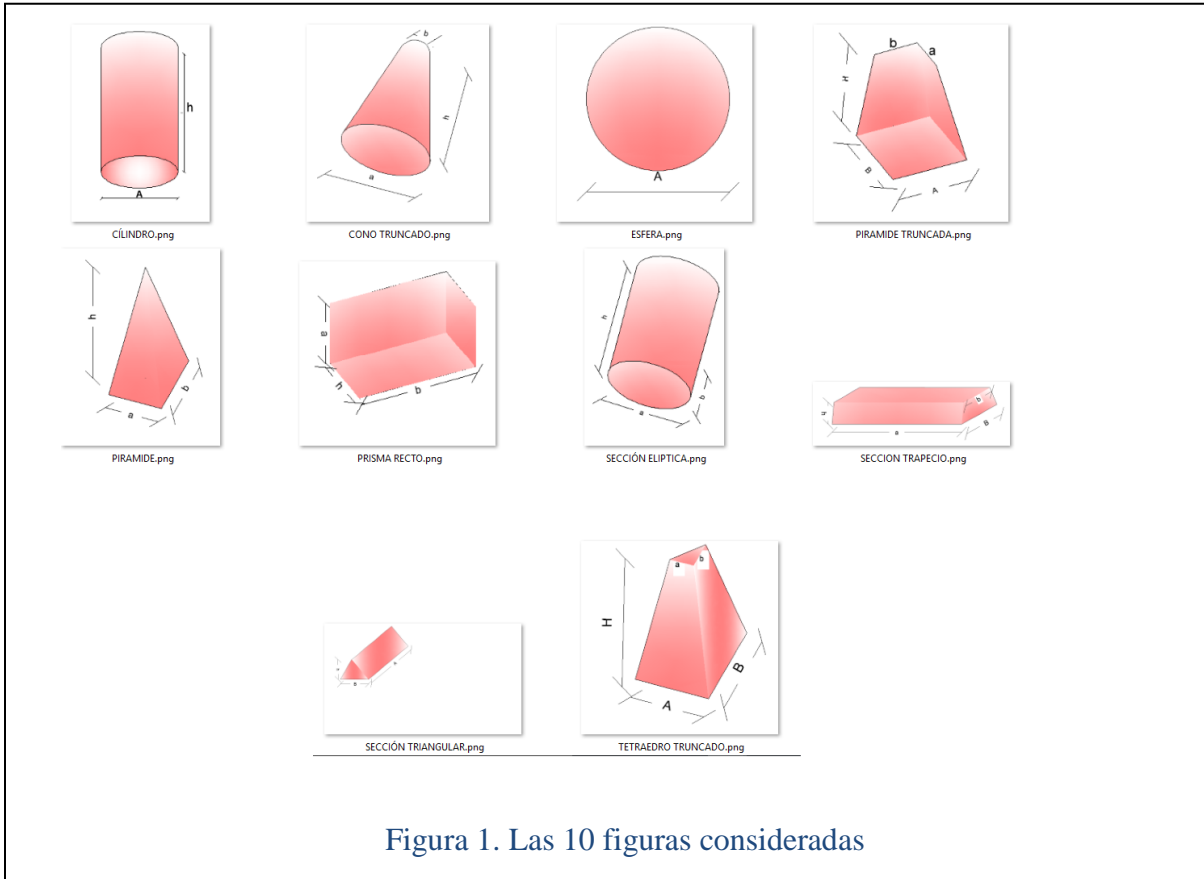


Figura 1. Las 10 figuras consideradas

Con desperdicio

En la tabla 1, se pueden observar la dosificación del concreto para $1 m^3$ de concreto. Estas cantidades no incluyen el desperdicio. Así que si se desea considerarlo hay que generar otra tabla dinámica agregando a cada elemento su cantidad respectiva de desperdicio. Según el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, las proporciones de desperdicio para los diferentes materiales son los siguientes:

- Cemento (3%)
- Arena (7%)
- Grava (7%)



- Agua (25%)

Resultados obtenidos

Para obtener las cantidades de materiales que se necesita para fabricar el concreto se implementa la tabla siguiente (Ver tabla 3) los valores unitarios se toman de la tabla 2 o la tabla 3 dependiendo si se desea realizar el cálculo con o sin desperdicio.

Elemento agregado	Cantidades por m^3
Cemento	$W_{Unitario-Cemento} * Vol_{concreto}$
Arena	$Vol_{Unitario-Arena} * Vol_{concreto}$
Grava	$Vol_{Unitario-Grava} * Vol_{concreto}$
Agua	$Vol_{Unitario-Agua} * Vol_{concreto}$
Aire	-----

Tabla 1. Tabla dinámica que proporciona las cantidades dosificadas de los materiales para la fabricación del concreto.

Conclusión

Al hacer una comparación entre los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología antes mencionada contra los métodos tradicionales de dosificación. Se puede observar que los resultados obtenidos se diferencian por décimas por lo que es más usar la aplicación reduce considerablemente el tiempo de cálculo. (Ver tablas 4 y 5)



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Elemento	Ancho	Largo	Alto	Diámetro	Resistencia	Metodo	Desperdicio
Losa 1	4	5	0,8		200	Volumen	con
Losa 2	6	7	0,7		150	Moctezuma	con
Losa 3	3	4	0,6		150	MCV	sin
Losa 4	6	8	0,7		200	MCV	con
Losa 5	5	6	0,9		200	tolteca	sin
Losa 6	9	12	0,3		150	Volumen	con
Losa 7	5	6	0,7		150	MCV	sin
Losa 8	5	7	0,9		200	tolteca	sin
Losa 9	4	9	0,4		200	Volumen	con
Losa 10	7	8	0,6		150	MCV	sin
Columna 1			6	0,8	250	Moctezuma	con
Columna 2			8	0,7	200	Apasco	con
Columna 3			4	0,6	200	Volumen	sin
Columna 4			7	0,7	250	Moctezuma	con
Columna 5			9	0,9	250	MCV	sin
Columna 6			7	1,4	200	MCV	con
Columna 7			8	0,7	250	Apasco	con
Columna 8			6	0,9	200	Volumen	sin
Columna 9			9	0,95	200	MCV	con
Columna 10			7	0,6	250	Moctezuma	sin

Tabla 4. Comparación de los resultados de pruebas realizadas manualmente en contra de los resultados obtenidos usando la aplicación móvil.

Estructura	Resultados obtenidos manualmente				Resultados obtenidos usando la aplicación móvil			
	Cemento	Arena	Grava	Agua	Cemento	Arena	Grava	Agua
Losa 1	5,9	8,5	10,4	4,21	5.888	8.496	10.288	4.032
Losa 2	9	19,7	23,3	8,4	9.085	19.724	23.31	8.379
Losa 3	1,83	2,106	2,899	1,408	1,83	2,106	2,899	1,408
Losa 4	9,596	10,517	14,477	7,875	4.532	14.744	13.53	3.064
Losa 5	9,45	14,364	18	5,4	9,45	14,364	17.955	5.386
Losa 6	12	17	21	8,5	10.562	17.366	21,06	8.521
Losa 7	5,338	6,143	8,456	4,108	2.596	9.215	8.466	1.998
Losa 8	11	17	21	6,2	11.025	16.758	20.948	6.284
Losa 9	5,3	7,5	9	3,63	5.299	7.646	9.259	3.629
Losa 10	8,54	9,829	13,53	6,573	8,54	9,829	13,53	6,573
Columna 1	3,0	1,2	1,7	2,5	3.016	1,243	1,717	2,453
Columna 2	1	2	2,5	1	1,11	1,753	2,629	1,024
Columna 3	0,5	0,56	0,7	0,34	0,404	0,559	0,676	0,214
Columna 4	1,23	1,5	2,2	0,768	1,11	1,533	2,191	0,768
Columna 5	1,455	1,675	3,305	1,12	1,455	1,675	3,305	1,12
Columna 6	2,821	3,373	4,643	2,635	2,821	3,373	4,643	2,635
Columna 7	1,3	2	2,61	1,224	1,268	1,753	2,504	1,024
Columna 8	1,234	2,01	2,301	0,842	1,363	1,885	2,283	0,721
Columna 9	1,299	1,553	2,138	1,213	1,299	1,553	2,138	1,213
Columna 10	0,792	1,05	1,52	0,452	0,792	1,053	1,504	0,451

Tabla 5. Comparación de los resultados de pruebas realizadas manualmente en contra de los resultados obtenidos usando la aplicación móvil.

Conclusiones:



CONGRESO
INTERNACIONAL
DE INVESTIGACIÓN
E INNOVACIÓN
DOS MIL DIECISEIS



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
Multidisciplinario
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Referencia

¹Manual de tecnología del concreto de la C.F.E. y I.I.Unam. (1994)

²Página web del ONNCCE <http://www.onncce.org.mx/pdf/NMX-C-414-ONNCCE-20045.pdf>

³Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05)

⁴Página web del IMCYC <http://www.imcyc.com/>