



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**FUNCIÓN MATEMÁTICA PARA DETERMINAR LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN EL  
DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO BASALTO COMO AGREGADOS**

**Armando Alfredo Escribá Flores**

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, marzo de 2018



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel López Juárez
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**FUNCIÓN MATEMÁTICA PARA DETERMINAR LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO BASALTO COMO AGREGADOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 16 de agosto de 2016.



**Armando Alfredo Escribá Flores**



Guatemala, 23 de enero de 2018

Ingeniero  
José Gabriel Ordoñez Morales  
Área de Materiales y Construcciones Civiles  
COORDINADOR

Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **FUNCIÓN MATEMÁTICA PARA DETERMINAR LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO BASALTO COMO AGREGADO**, elaborado con el estudiante universitario Armando Alfredo Escribá Flores, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Escribá Flores, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

*"Id y enseñad a todos"*

Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Col. 5947  
ASESORA

**Dilma Y. Mejicanos Jol**  
Ingeniera Civil  
Col. 5947



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



Guatemala,  
05 de marzo de 2018

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **FUNCIÓN MATEMÁTICA PARA DETERMINAR LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO BASALTO COMO AGREGADOS** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Armando Alfredo Escribá Flores quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑADA TODOS

Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES

**USAC**

/mrrm.



*Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua*



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Armando Alfredo Escribá Flores **FUNCIÓN MATEMÁTICA PARA DETERMINAR LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO BASALTO COMO AGREGADOS** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, marzo 2018

/mrm.

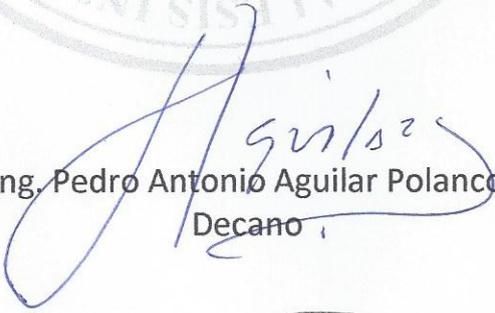
*Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua*





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **FUNCIÓN MATEMÁTICA PARA DETERMINAR LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO BASALTO COMO AGREGADOS**, presentado por el estudiante universitario: **Armando Alfredo Escribá Flores**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, marzo de 2018



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por estar conmigo en cada instante de mi vida.
<b>Mis padres</b>	Alfredo Escribá Morales y Noemi Flores Ortiz.
<b>Mis abuelos</b>	María Ortiz Escobar y Remigio Flores Pérez (q.e.p.d.).
<b>Mis hermanos</b>	Lesly y Luis Escribá Flores.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por ayudarme a lo largo de toda la vida, darme sabiduría y entendimiento.
<b>Padre</b>	Ayudarme a lo largo de toda mi vida y carrera universitaria, además de ser un ejemplo de profesional.
<b>Madre</b>	Darme todo el amor del mundo y estar conmigo a lo largo de mi vida.
<b>Mi primo</b>	Juan Carlos Ruano, por apoyarme de muchas formas a lo largo de toda mi formación profesional.
<b>Mi amigo</b>	Pablo Francisco Vidaurre Álvarez, por brindarme su amistad y acompañarme a lo largo de este camino de formación profesional.
<b>Mis amigos</b>	Fabio Sagastume, Víctor Sagastume, Oscar Herrera, Mindy Ortiz, José Samuel Cojolón y Alan Pérez.
<b>Toda persona</b>	Que de una u otra manera haya sido importante en la culminación de mi carrera.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XV
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Investigación realizada en Alemania 1970 .....	1
1.1.1. Generalidades .....	3
1.2. Investigación realizada en Colombia 2015 .....	5
2. ANÁLISIS NUMÉRICO.....	9
2.1. Introducción.....	9
2.2. Definición de errores .....	10
2.2.1. Clasificación de errores .....	10
2.2.2. Cuantificación de errores.....	11
2.3. Método mínimos cuadrados .....	12
2.4. Ejemplo demostrativo para función lineal .....	16
2.5. Ejemplo demostrativo para función exponencial negativa .....	19
3. CARACTERÍSTICAS Y GENERALIDADES DEL BASALTO.....	25
3.1. Generalidades .....	25
3.1.1. Ciclo de las rocas .....	25
3.1.2. Formación de rocas ígneas .....	28

	3.1.2.1.	Caracterización de rocas ígneas.....	29
	3.1.3.	Composición química del basalto.....	30
3.2.		Usos del basalto en Guatemala .....	32
	3.2.1.	Construcciones en general.....	32
3.3.		Características físicas del basalto.....	33
4.		COMPORTAMIENTO DE LA FUNCIÓN $AC = 1,1497e - f'c * 0,0025$ CON DATOS OBTENIDOS DEL ACI.....	35
4.1.		Análisis matemático de la función .....	35
	4.1.1.	Dominio y rango de la función.....	35
	4.1.2.	Intercepto .....	37
4.2.		Razón de cambio de la función .....	38
4.3.		Comportamiento de la función .....	38
4.4.		Dominio de la función.....	39
5.		DISEÑO EXPERIMENTAL.....	41
5.1.		Análisis completos para agregados .....	41
	5.1.1.	Agregado grueso.....	42
	5.1.2.	Agregado fino.....	45
5.2.		Diseño teórico con variables en relación agua/cemento según función.....	48
5.3.		Control del desempeño del concreto fresco según código ACI.....	50
5.4.		Control del desempeño del concreto endurecido según ACI. ..	51
6.		ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
6.1.		Variables utilizadas .....	53
6.2.		Exactitud de la función .....	54

CONCLUSIONES .....	57
RECOMENDACIONES .....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXOS.....	63



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Relación $\beta_{n28}/N_{28}$ versus relación A/C.....	2
2.	Diagrama relación A/C versus resistencia a compresión .....	4
3.	Relación A/C versus resistencia a compresión a los 28 días .....	7
4.	Modelo matemático y puntos teóricos .....	19
5.	Gráfica de puntos con línea de tendencia .....	24
6.	Ciclo básico de las rocas y otras posibles vías de formación.....	26
7.	Composiciones graníticas frente a basálticas .....	29
8.	Comparación visual de andesita y basalto .....	32
9.	Gráfica de función $AC = 1,1497e - f'c * 0,0025$ .....	36
10.	Dominio de la función en relación a los valores obtenidos del ACI .....	40
11.	Granulometría del agregado grueso .....	44
12.	Agregado grueso utilizado.....	45
13.	Granulometría del agregado fino.....	48
14.	Comparación visual de datos obtenidos del ACI 211.1 y función matemática de la resistencia a compresión y relación agua/cemento .....	55

### TABLAS

I.	Posición versus tiempo .....	16
II.	Cálculos iniciales para encontrar modelo.....	17
III.	Comparación entre datos teóricos y los obtenidos de la función .....	18

IV.	Resistencia a compresión a los 28 días contra relación agua/cemento .....	20
V.	Datos necesarios para encontrar el modelo lineal y los coeficientes ....	21
VI.	Comparación entre datos teóricos y los obtenidos de la función .....	23
VII.	Composición promedio de cinco rocas volcánicas .....	31
VIII.	Características físicas del agregado grueso .....	42
IX.	Porcentaje que pasa tamices en el agregado grueso .....	44
X.	Características físicas del agregado fino .....	46
XI.	Porcentaje de pérdida en estabilidad volumétrica.....	46
XII.	Porcentaje que pasa tamices en el agregado fino .....	46
XIII.	Cantidades utilizadas en los 5 diseños de mezcla y comparación de relación agua/cemento.....	49
XIV.	Resultados en ensayos de concreto fresco de las 5 resistencias a compresión .....	50
XV.	Características físicas y resistencia a compresión de cada cilindro de concreto .....	51
XVI.	Comparación de valores obtenidos por medio de la función matemática y el Código ACI 211.1.....	54

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
kg	Kilogramo
m	Metro
cm	Centímetro
$\beta_n$	Resistencia normal de concreto a compresión
Nn	Resistencia normal del cemento a compresión
Z	Resistencia del cemento
E	Error absoluto
e	Error relativo
$\frac{\partial y}{\partial x}$	Derivada parcial de "y" respecto "x"
$\Sigma$	Sumatoria



## GLOSARIO

<b>Aglomerantes</b>	Son todos aquellos materiales, generalmente pétreos blandos, que mezclados con agua se hacen plásticos, formando pasta y que al secarse alcanzan resistencia mecánica, siendo los aglomerantes típicos, la arcilla, el yeso, la cal y el cemento.
<b>Basalto</b>	Roca más abundante en la superficie terrestre de origen ígnea.
<b>Concreto</b>	Mezcla dosificada de cemento, arena, grava y agua.
<b>Curado</b>	Proceso de hidratación del concreto con fin de proteger el fraguado.
<b>Fraguado</b>	Efecto de endurecimiento de un material.
<b>Función matemática</b>	Relación de conjuntos donde cada uno tiene un valor correspondiente a su variable, y se refleja en las demás.
<b>Mortero</b>	Mezcla de cemento, agua y arena.

**Relación agua/cemento** Parámetros de los más importantes, en el diseño de mezcla de concreto e influye directamente en la resistencia del mismo.

**Resistencia** la capacidad de un sólido para soportar presiones y fuerzas aplicadas sin quebrarse, deformarse o sufrir deterioros.

**Vacuolas** cavernas dentro de las rocas, producidas por gases en su formación.

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se consideró establecer una función matemática capaz de determinar la relación agua/cemento, en función de la resistencia de concreto a compresión. Para argumentar dicho análisis se estableció un estudio de antecedentes, donde varias investigaciones demuestran la utilidad y la forma de llevar a cabo el análisis de los resultados.

La particularidad de la investigación radica en demostrar que utilizando basalto como agregados pétreos es posible obtener resultados positivos en el diseño de mezclas de concreto con diferentes resistencias, utilizando el Código ACI 211.1 y la función matemática que determina la relación agua/cemento con la resistencia a compresión, con el fin de poder tener más fiabilidad en el diseño de mezclas de concreto. Para realizar y modelar la función matemática, fue necesario conocer cómo es el comportamiento de la resistencia a compresión en función de la variación de la relación agua/cemento.

Al intentar modelar el fenómeno por causas físicas se encuentran varias dificultades, las cuales dependen de fenómenos naturales. Para este caso, diversas investigaciones han realizado estudios relacionados con la curva de resistencia a compresión y relación agua/cemento, lo cual fue vital para la investigación, ya que los modelos de las curvas semejan una curva exponencial negativa.



## OBJETIVOS

### General

Demostrar que la función definida está bajo los límites permisibles aceptables para su dominio solución.

### Específicos

1. Determinar el dominio solución, para que sea funcional en los diseños de mezclas de concreto, utilizando el Código ACI 211.1.
2. Determinar el dominio funcional, de resistencia a compresión utilizando la ecuación matemática.
3. Determinar los valores máximos de relación agua/cemento que brinda la función matemática y determinar si estos valores son funcionales.
4. Comprobar que la función es adecuada para el diseño de mezclas de concreto, utilizando cualquier tipo de agregado; alcanzando y superando resistencias propuestas por el código ACI.
5. Verificar el resultado matemático de la función por medio de la resistencia del concreto.

6. Determinar si los valores tanto de resistencia a compresión como relación agua/cemento son similares a los datos obtenidos por el código ACI 211.1.
  
7. Determinar si la ecuación matemática brinda un alto grado de confianza en el diseño de mezclas y si es posible obtener valores similares con distintos materiales pétreos.

## INTRODUCCIÓN

La relación agua/cemento es un concepto muy importante en el diseño de mezclas de concreto. Únicamente existen 5 valores que se pueden utilizar según el Código ACI 211.1, pero por medio de un análisis matemático es posible determinar una función que modele el comportamiento de la relación agua/cemento en términos de la resistencia, y analizar cómo se comportan dichas resistencias utilizando basalto como agregados en diseños prácticos de mezclas de concreto.

El análisis consiste en gran medida en el diseño experimental, ya que la validez del argumento matemático se pondrá a prueba por medios experimentales considerando la incerteza de las lecturas de los resultados. Con la implementación de la función, será posible determinar un dominio solución. De esta forma se podrán tener valores máximos y mínimos de resistencia a compresión, y se obtendrá cualquier valor de resistencia que se quiera dentro de ese dominio, para su diseño.



# 1. ANTECEDENTES

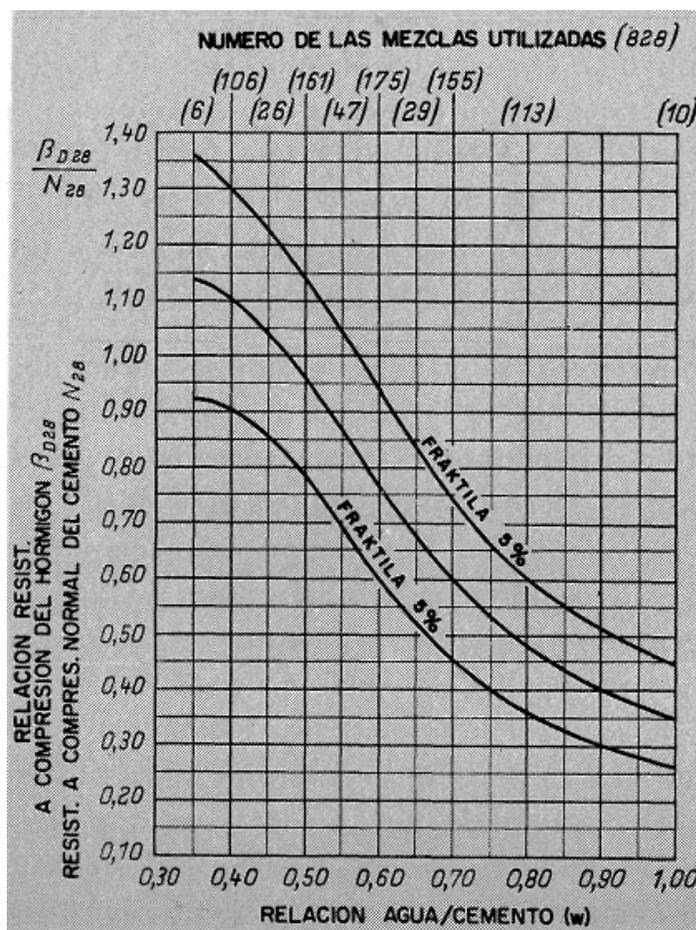
## 1.1. Investigación realizada en Alemania 1970

Kurt Walz, realizó la investigación *Relación entre el factor agua/cemento, la resistencia normalizada del cemento (norma DIN 1164, junio 1970) y la resistencia del hormigón a la compresión. Materiales de construcción, volumen 21, número 143, 45-55*. Las conclusiones relacionadas con la confección de curvas de la relación agua/cemento y resistencia del hormigón a compresión fueron las siguientes:

- Los diagramas utilizados hasta ahora, basados en la relación entre proporción agua/cemento  $w$  ( $w$  hace referencia en Alemania a la relación agua/cemento), resistencia normalizada a la compresión del cemento  $N_{28}$  y la resistencia (normalizada) a la compresión de un cubo normalizado de hormigón  $\beta_{n28}$  han demostrado ser útiles para proyectar mezclas de hormigón al que a los 28 días se le exige una determinada resistencia a la compresión en forma de cubo normalizado  $\beta_{n28}$  para calcular la resistencia prevista a la compresión si son conocidos  $w$  y  $N_{28}$ .
- Se ha establecido una nueva relación en forma de diagrama (figura 1) mediante el ensayo de unas 830 mezclas de hormigón hechas en el laboratorio. Para las mezclas se emplearon numerosos cementos, cuya resistencia normalizada  $N_{28}$  se ha determinado con arreglo a la nueva Norma DIN 1164. La composición de los hormigones fue muy variada y cubrió toda la gama de mezclas que se presentan en la práctica en cuanto a contenido de cemento, relación agua/cemento, consistencia y

curvas granulométricas del árido con 30 mm de tamaño máximo. La resistencia a la compresión  $\beta_{D28}$  sirve para cubos como los que se han de confeccionar, conservar y ensayar, en la prueba de calidad según Norma DIN1048.

Figura 1. Relación  $\beta_{D28}/N_{28}$  versus relación A/C



Fuente: WALZ, Kurt. *Materiales de construcción*.

p.143.

Se estableció, derivado del anterior, un segundo diagrama (figura 2) en el que se incluyen 4 curvas de referencia, válidas para una resistencia

normalizada media de los 4 tipos resistentes de los cementos Z 250, Z 350, Z 450 y Z 550 fijados en la nueva norma. Lo mismo que los diagramas antiguos, los nuevos diagramas se obtuvieron empíricamente; reproducen en curvas la relación media  $W/N_{28}/\beta_{n28}$ -. La dispersión alrededor de ellas es consecuencia de una serie de influencias debidas a las peculiaridades de la relación a las características de las diversas mezclas y al propio ensayo.

Con la proporción agua/cemento obtenida por la relación media de los diagramas, con un contenido de agua calculado en el hormigón fresco puede determinarse el correspondiente contenido de cemento y, por cálculo del espacio que ocupa el material, establecerse la proporción de áridos. Este sencillo cálculo, poco costoso, puede realizarse sin diagramas complementarios y permite tener también en cuenta en cada caso otros factores influyentes secundarios, así como profundizar en el conocimiento de las relaciones que han de observarse en general al proyectar mezclas de hormigón.

La mezcla proyectada se pone como base para la prueba de calidad exigida en la Norma DIN 1 045.

La investigación presentada anteriormente brinda información valiosa respecto a procedimientos técnicos para la confección de los diagramas, donde se muestra la relación existente entre: la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días y la relación agua/cemento.

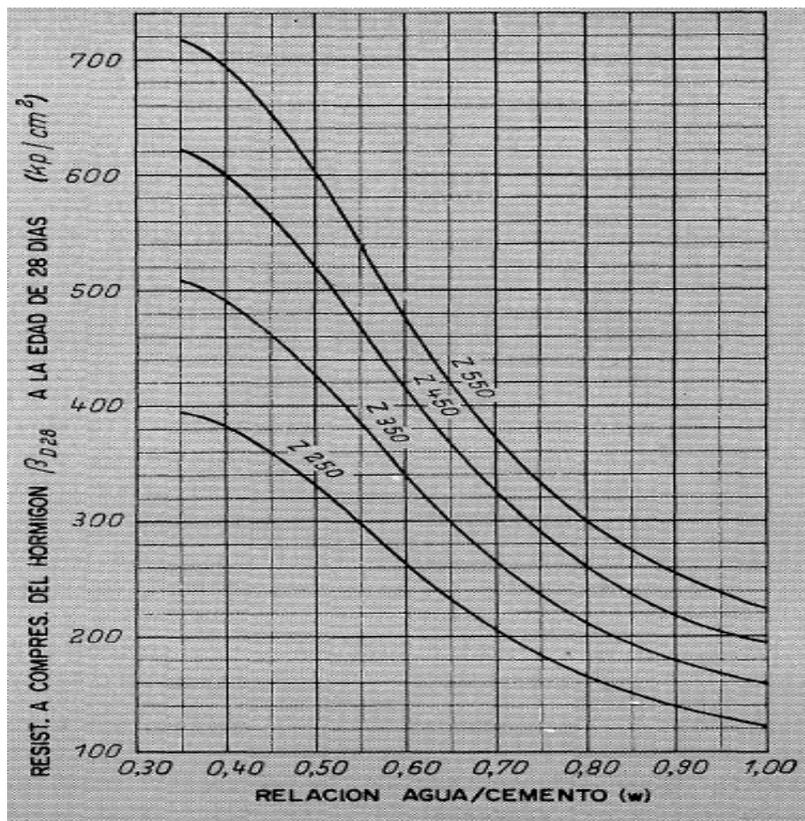
### **1.1.1. Generalidades**

Entre los procedimientos descritos en la investigación resalta el uso de distintos tipos de resistencias de cementos, se utilizaron cementos disponibles en esa época en Alemania. Los alemanes distinguen los cementos por medio

de una letra Z mayúscula junto con la resistencia del cemento en  $kg/cm^2$ ; se utiliza la letra Z, ya que en alemán cemento se escribe “Zement” para este caso se utilizaron los siguientes cementos, Z250, Z350, Z450 y Z550.

El muestreo se realizó para distintas relaciones agua/cemento. Para la realización de los diagramas se utilizaron 828 mezclas, utilizando distintos tipos de cemento. De esta manera pudieron realizar una curva suavizada para interpolar los valores, tanto de relación agua/cemento como de resistencia a compresión a los 28 días.

Figura 2. **Diagrama relación A/C versus resistencia a compresión**



Fuente: WALZ, Kurt. *Materiales de construcción*.

p.143.

El procedimiento para determinar la resistencia a compresión de los especímenes (cubos de 20 cm de arista según norma) se detalla en la norma técnica alemana DIN 1045.

## **1.2. Investigación realizada en Colombia 2015**

Ávila Miguel, Pinzón Sandra y Serna Luis, realizaron investigación: Análisis de curvas para el diseño de mezclas de concreto con material triturado del río Magdalena en el sector de Girardot, Cundinamarca. In Crescendo. Institucional. 2015; 6(2): 136-144. La investigación llegó a las conclusiones referentes a la relación agua/cemento y la resistencia del hormigón a la compresión utilizando un tipo de agregado en particular:

Según las diferentes gráficas obtenidas en esta investigación, se puede observar la variación que se tiene en la relación agua/cemento, en las proyecciones a los siete, 14 y 28 días, lo cual es de gran importancia al momento de obtener las resistencias solicitadas por las especificaciones y normas establecidas con las proporciones justas, lo cual puede ahorrar tiempo y costos innecesarios.

Es preciso dar la importancia real a estos diseños, ya que es evidente que al momento de realizar las mezclas en concreto en sitio de obra no se tiene ninguna clase de control, por lo cual las relaciones varían y se obtienen concretos con características no apropiadas, baja de calidad o a costos elevados.

La importancia de investigaciones como esta para la región, es en procura de mejorar la calidad de sus construcciones al utilizar metodologías de diseño cada vez menos variables, puesto que aunque se apliquen métodos foráneos, sus

parámetros pueden ser modificados para adaptarlos a las condiciones propias de la zona.

En las curvas presentadas en las figuras 2 y 3, puede encontrarse un elemento de gran importancia, especialmente, para el control de calidad que se le realiza al concreto a lo largo de su etapa de fraguado, la cual, normalmente, se sigue hasta los 28 días. Con estas curvas elaboradas con suficiente confiabilidad estadística, podría conocerse la resistencia a los 28 días del concreto desde temprana edad y corregir posibles fallas con mayor anticipación.

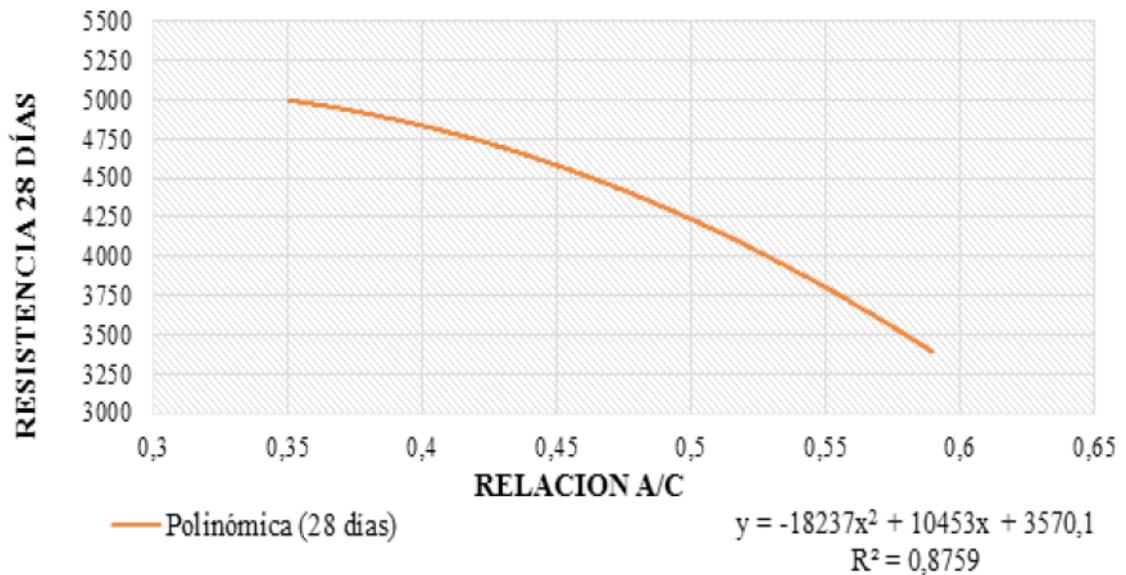
Los agregados en la mezcla de concreto son de gran importancia y determinantes en su comportamiento, ya que tanto el agregado fino como el grueso conforman un porcentaje bastante alto del volumen de mezcla, por consiguiente la características mecánicas del concreto, en gran medida, dependen de las características físicas y mecánicas de los agregados.

En el campo, con frecuencia, no se utilizan los agregados con desempeño óptimo, con frecuencia, se utilizan agregados que se encuentran cerca del sitio de trabajo, aunque su composición sea irregular, esto sucede con los agregados finos adquiridos de ríos cercanos. Aunque, eventualmente, la granulometría cumpla los estándares de calidad, las características físico-químicas afectan de manera negativa la mezcla de concreto y, por consiguiente, la resistencia con la cual se diseñó podría no alcanzarse.

La anterior investigación presenta la conformación de una gráfica relación-agua cemento a los 28 días (figura 2). En ella, se expone su comportamiento por medio de una función matemática obtenida por esos mismos medios. Esta gráfica modela la conducta de la resistencia a la compresión, utilizando un tipo de arena extraído del río Magdalena en el sector de Girardot, Cundinamarca.

Los resultados de esta investigación son de suma utilidad, ya que es posible determinar la relación agua/cemento de una mezcla de concreto utilizando la función obtenida por medio matemático. Estos resultados corresponden únicamente para diseños de mezcla de esa región donde los agregados son extraídos de un río específico.

Figura 3. **Relación A/C versus resistencia a compresión a los 28 días**



Fuente: ÁVILA, Miguel; PINZÓN, Sandra; SERNA, Luis.

*In Crescendo. Institucional.* p.144.



## 2. ANÁLISIS NUMÉRICO

### 2.1. Introducción

El análisis matemático es una herramienta de gran importancia en distintas disciplinas científicas, los métodos proporcionan una herramienta poderosa para resolver problemas matemáticos complicados, por medio de procesos simples. A estos procedimientos de cálculo se les denomina iteraciones que, básicamente, son operaciones lógicas y repetitivas que se pueden realizar en cantidades indeterminadas.

El alcance de los métodos dependerá en gran medida de la cantidad de iteraciones que se realicen. La importancia de los métodos numéricos radica en la simplicidad para resolver problemas donde se involucren problemas complicados matemáticamente o se pretenda crear una función a partir de una serie o tabla de datos.

“El auge del análisis numérico ocurre en forma paralela al desarrollo de la tecnología de la computación. Las computadoras están facultadas para realizar una multitud prácticamente infinita de operaciones algebraicas en intervalos de tiempo muy pequeños; esto las convierte en la herramienta ideal para la aplicación de los métodos numéricos. De hecho, el análisis numérico resulta ser la manera natural de resolver modelos matemáticos (de naturaleza algebraica o trascendente, tanto para la matemática continua como para la discreta) a través de la computadora.”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> CORTÉS Jesús; GONZALES Miguel; PINILLA Víctor. *Análisis numérico y tratamiento de errores*. p. 5

## **2.2. Definición de errores**

Muchas veces, en la ingeniería, se utilizan modelos matemáticos representativos de fenómenos físicos. Estos no están de alguna manera conectados con el fenómeno físico, ya que en la actualidad es imposible deducir una ecuación por métodos analíticos basados en leyes físicas. De ahí que cobra importancia el análisis numérico para la formulación de los fenómenos. Este procedimiento consiste en tomar datos y por operaciones numéricas plasmar una ecuación que modele con exactitud el comportamiento de los datos.

Partiendo de lo anterior es importante considerar la exactitud que pueden tener los métodos numéricos, tanto en la solución de ecuaciones complicadas como en la formulación de modelos matemáticos. En consecuencia, existen variaciones entre los resultados obtenidos por medios experimentales (medidos) y los resultados obtenidos analíticamente (por métodos numéricos); a estas variaciones cuantitativas se les conoce, coloquialmente, como errores.

### **2.2.1. Clasificación de errores**

La clasificación de errores es el establecimiento de una comparación entre los resultados obtenidos por distintos procedimientos y los supuestos valores teóricos.

Errores de modelo o inherentes: se refiere a los errores que se encuentran implícitamente en la naturaleza del medio, son imposibles de erradicar pero se pueden minimizar por distintos métodos. Existen 2 tipos de errores inherentes, los cuales siempre están presentes en cualquier experimento, los errores producidos por la irregularidad de la materia y son aquellas imperfecciones

físicas que nunca podrán ser medidas a este tipo de error inherente, se le conoce como incertidumbres y es provocado por los instrumentos de medición y por la percepción del operador.

El otro error inherente es denominado “error de método” se definen como “la representación y manipulación de cantidades numéricas utilizadas en los cálculos necesarios en el desarrollo del modelo matemático”<sup>2</sup>. Es de destacar que los dispositivos de cálculo (tales como calculadoras y computadoras) utilizan y manipulan cantidades en forma imprecisa.

Existen dos grandes tipos de errores del método: el truncamiento se provoca cuando a un instrumento de cómputo se le imposibilita manipular una cantidad infinita de términos o cifras. Los términos o cifras omitidas (que son infinitas en número) introducen un error en los resultados calculados. El redondeo se produce por el mismo motivo que el truncamiento pero, a diferencia de éste, las cifras omitidas sí son consideradas en la cifra resultante.

### **2.2.2. Cuantificación de errores**

La cuantificación de errores es la comparación entre los valores obtenidos teóricamente y los valores obtenidos por métodos numéricos. Se pueden cuantificar errores en los resultados de análisis numérico donde se evalúe cómo disminuye el error después de n iteraciones.

Error absoluto: está dado en la comparación de un error real y un error experimental. Está definido por la siguiente ecuación:

---

<sup>2</sup> CORTÉS Jesús; GONZALES Miguel; PINILLA Víctor. *Análisis numérico y tratamiento de errores*. p. 20

$$E = |V_{real} - V_{Aprox}|, \text{ (ecc. 1.1)}$$

Recibe el nombre de valor error absoluto, ya que contiene las mismas dimensiones de la variable en estudio.

Error relativo: “El error relativo corresponde a la expresión en porcentaje de un error absoluto; en consecuencia, este error es adimensional”.<sup>3</sup>

$$e = \frac{|V_{real} - V_{Aprox}|}{V_{real}}, \text{ (ecc. 1.2)}$$

La diferencia entre la preferencia en el uso de los dos tipos de error consiste en la presencia de las dimensiones físicas. Debido a las unidades de medición utilizadas, el manejo y la percepción del error absoluto suele ser engañoso o difícil de comprender rápidamente. Sin embargo, el manejo de porcentajes (o valores relativos) resulta más natural y sencillo de comprender. Sin embargo, el uso de estos dos tipos de errores está sujeto siempre al objetivo de las actividades desarrolladas.

### **2.3. Método mínimos cuadrados**

Es una poderosa herramienta utilizada en matemática para encontrar una ecuación que modele el comportamiento de una serie de datos. El método es

---

<sup>3</sup> CORTÉS Jesús; GONZALES Miguel; PINILLA, Víctor. *Análisis numérico y tratamiento de errores*. p. 23

frecuentemente utilizado para describir el comportamiento de ecuaciones lineales o polinómicas con algunas variantes en sus procedimientos.

El método se basa en su demostración a través de una serie de procedimientos que involucran conceptos de cálculo un poco avanzados, pero el procedimiento demostrativo se detallará lo más simple posible.

El método de mínimos cuadrados para una ecuación lineal como: “El método de mínimos cuadrados es utilizado para resolver problemas en los cuales se requiere determinar la mejor línea de aproximación cuando el error involucrado es la suma de los cuadrados de la diferencia entre los valores de “y” en la línea de aproximación, y los valores de “y” dados”<sup>4</sup>. Por tanto, hay que encontrar las constantes “a<sub>0</sub>” y “a<sub>1</sub>” que reduzcan al mínimo el error de mínimos cuadrados”. Es posible observar este error en la siguiente expresión:

$$E_1(a_0, a_1) = \sum_{i=1}^m [y_i - (a_i x_i + a_0)]^2, \text{ (ecc. 2.1)}$$

Donde:

E<sub>1</sub>= error mínimo

y<sub>i</sub>= valor de la variable dependiente supuesto, valor teórico

a<sub>i</sub>, a<sub>0</sub> = constantes en una ecuación lineal.

x<sub>i</sub>= valor de la variable independiente.

Aunque el método de mínimos cuadrados es el mejor método para realizar aproximaciones a ecuaciones lineales, ya que tiene importantes consideraciones teóricas que lo favorecen. Generalmente, confiere importancia

---

<sup>4</sup> BURDEN Richard; FAIRES, J. Douglas. *Análisis numérico*. p. 150

significativa a un pequeño elemento, en demérito de los datos que muestran un gran error.

El fundamento matemático que demuestra el uso del método se expondrá a continuación:

El problema general radica en que se deberá ajustar una recta que mejor se ajuste a los datos y que contenga un mínimo error en la diferencia entre los datos teóricos y los datos propuestos por la función.

$$E_1(a_0, a_1) = \sum_{i=1}^m [y_i - (a_i x_i + a_0)]^2$$

Para la existencia de un mínimo en una función se debe considerar que la primera derivada de una función sea cero (tomar en cuenta que la función  $E_1$  está definida por 2 variables, las cuales son  $a_0$  y  $a_1$ ); por consiguiente:

$$\frac{\partial E_1}{\partial a_0} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial E_1}{\partial a_1} = 0$$

De esta forma se obtiene:

$$0 = \frac{\partial}{\partial a_0} \sum_{i=1}^m [y_i - (a_i x_i + a_0)]^2 = 2 * \sum_{i=1}^m (y_i - a_i x_i - a_0)(-1)$$

Y

$$0 = \frac{\partial}{\partial a_1} \sum_{i=1}^m [y_i - (a_i x_i + a_o)]^2 = 2 * \sum_{i=1}^m (y_i - a_i x_i - a_o)(-x_i)$$

Estas ecuaciones se simplifican en su forma canónica:

$$a_o * m + a_i \sum_{i=1}^m x_i = \sum_{i=1}^m y_i$$

Y

$$a_o * m + a_i \sum_{i=1}^m x_i^2 = \sum_{i=1}^m x_i y_i$$

Por consiguiente, la solución para este sistema de ecuaciones es:

$$a_o = \frac{\sum_{i=1}^m x_i^2 * \sum_{i=1}^m y_i - \sum_{i=1}^m y_i x_i * \sum_{i=1}^m x_i}{m(\sum_{i=1}^m x_i^2) - (\sum_{i=1}^m x_i)^2}, \text{ (ecc. 2.2)}$$

Y

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^m x_i * y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m y_i}{m(\sum_{i=1}^m x_i^2) - (\sum_{i=1}^m x_i)^2}, \text{ (ecc. 2.3)}$$

A partir de estas 2 ecuaciones es posible determinar las constantes de una ecuación lineal, teniendo un modelo lineal del comportamiento de los datos; la ecuación estará de la forma:

$$y = a_1 x + a_o, \text{ (ecc. 2.4)}$$

## 2.4. Ejemplo demostrativo para función lineal

Para obtener un modelo matemático lineal, se debe contar con datos que describan algún comportamiento y arreglar por facilidad una tabla como se expondrá a continuación y sustituir los valores para los coeficientes “ $a_0$ ” y “ $a_1$ ”.

Se tienen datos relacionados con la ubicación de una persona en un tiempo determinado y se presume que los datos recabados son de un modelo lineal. Encontrar la ecuación lineal que modela el comportamiento de la persona y describir el error que cada medición, tanto el error absoluto como el error relativo.

Tabla I. **Posición versus tiempo**

t (min)	posición (m)
2	5
4	7
6	10
8	13
10	16
12	19
14	24
16	26
18	30
20	33

Fuente: elaboración propia.

Para encontrar el modelo matemático de este arreglo de datos, es necesario conocer ciertos valores aritméticos que se solicitan en las ecuaciones 2.2 y 2.3. De la misma manera se definen las variables:  $X$ = tiempo;  $Y$ = posición.

Tabla II. **Cálculos iniciales para encontrar modelo**

No	X	Y	X*Y	X <sup>2</sup>
1	2	5	10	4
2	4	7	28	16
3	6	10	60	36
4	8	13	104	64
5	10	16	160	100
6	12	19	228	144
7	14	24	336	196
8	16	26	416	256
9	18	30	540	324
10	20	33	660	400
ΣTotal	110	183	2542	1540

Fuente: elaboración propia.

Con los datos obtenidos a partir de la tabla II es posible determinar los valores de los coeficientes  $a_0$  y  $a_1$  por medio de las ecuaciones 2.2 y 2.3 respectivamente.

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^m x_i^2 * \sum_{i=1}^m y_i - \sum_{i=1}^m y_i x_i * \sum_{i=1}^m x_i}{m(\sum_{i=1}^m x_i^2) - (\sum_{i=1}^m x_i)^2}$$

Entonces

$$a_0 = \frac{(1540 * 183) - (2542 * 110)}{10(1540) - (110)^2} = 0,66667$$

y

$$a_1 = \frac{m \sum_{i=1}^m x_i * y_i - \sum_{i=1}^m x_i * \sum_{i=1}^m y_i}{m(\sum_{i=1}^m x_i^2) - (\sum_{i=1}^m x_i)^2}$$

Entonces

$$a_1 = \frac{10(2542) - (110 * 183)}{10(1540) - (110)^2} = 1,60$$

De esta manera, al tener el valor de los coeficientes, es posible modelar el comportamiento del fenómeno. Con la función lineal de la forma de la ecuación 2.4

$$y = 1,603x + 0,66667$$

De esta forma, al conocer la función es posible establecer, que tan cerca están los datos modelados por la función de los datos teóricos.

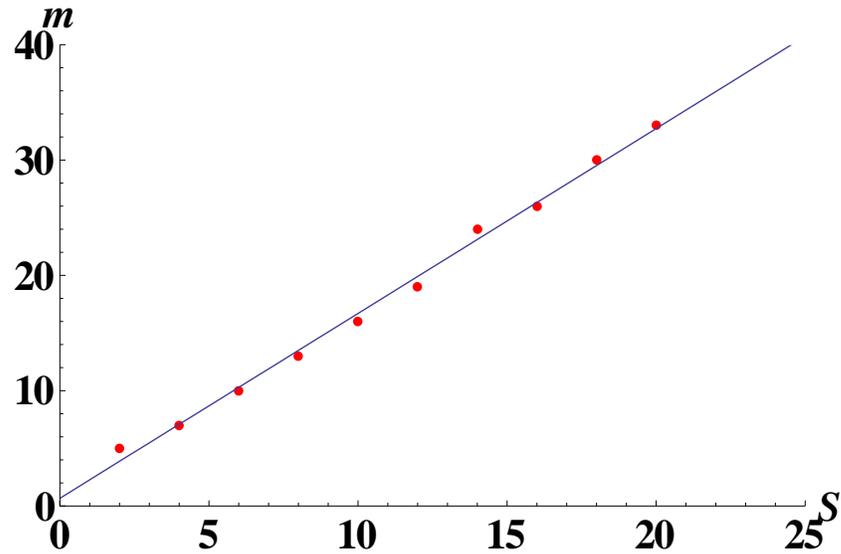
La siguiente tabla describe estos errores o comparaciones por medio del error absoluto y el error teórico.

Tabla III. **Comparación entre datos teóricos y los obtenidos de la función**

No	X	Y	$Y=1,603x+0,6667$	E (m)	e%
1	2	5	3,87	1,13	22,55
2	4	7	7,08	0,08	1,13
3	6	10	10,28	0,28	2,85
4	8	13	13,49	0,49	3,78
5	10	16	16,70	0,70	4,36
6	12	19	19,90	0,90	4,75
7	14	24	23,11	0,89	3,71
8	16	26	26,32	0,32	1,21
9	18	30	29,52	0,48	1,60
10	20	33	32,73	0,27	0,83

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Modelo matemático y puntos teóricos**



Fuente: elaboración propia.

Por medio de la gráfica es posible analizar que el modelo matemático se corresponde con los datos teóricos.

## 2.5. Ejemplo demostrativo para función exponencial negativa

Para encontrar el modelo exponencial de una función por medio de datos teóricos, lo único que se necesita es conocer la serie de datos. El procedimiento de cálculo es el mismo que para un modelo lineal, con la diferencia de que, antes de iniciar el proceso, se trasladan los valores teóricos al logaritmo de “n” base donde, luego, se realiza el mismo proceso y se encuentran las constantes “a0” y “a1” y se elevan a la potencia de la base del logaritmo, para obtener el modelo exponencial.

Se cuenta con datos relacionados con la resistencia a compresión del concreto a los 28 días, contra la relación agua/cemento y se presume que los datos

recabados son de un modelo exponencial negativo. Encontrar la ecuación exponencial negativa que modela la relación agua/cemento en función de la resistencia a compresión y describir el error que cada medición muestra, tanto el error absoluto como el error relativo.

Tabla IV. **Resistencia a compresión a los 28 días contra relación agua/cemento**

No	X = Resistencia a compresión a los 28 días ( $kg/cm^2$ )	Y= Relación Agua/cemento
1	420	0.41
2	350	0.48
3	280	0.57
4	210	0.68
5	140	0.82

Fuente: tabla extraída de ACI 211.1 capítulo 6 sección 6.3.4.

Para encontrar el modelo matemático de este arreglo de datos es necesario conocer ciertos valores que se solicitan en las ecuaciones 2.2 y 2.3, los cuales son aritméticos. De la misma manera, se definen las variables: X= resistencia a compresión a los 28 días; Y= relación agua/ cemento. Antes de iniciar el procedimiento de cálculo es preciso transformar los valores de la variable Y al logaritmo natural, para modelar una función lineal.

Tabla V. **Datos necesarios para encontrar el modelo lineal y los coeficientes**

No	X	Y	LN(Y)	X*LN(Y)	x2
1	420	0,41	-0,8915	-374,4712	176 400
2	350	0,48	-0,7339	-256,8892	122 500
3	280	0,57	-0,5621	-157,3933	78 400
4	210	0,68	-0,3856	-80,98912	44 100
5	140	0,82	-0,1984	-27,78313	19 600
Total	1 400	2,96	-2,7717	-897,526	441 000

Fuente: elaboración propia.

Con los datos obtenidos a partir de la tabla II es posible determinar los valores de los coeficientes  $a_0$  y  $a_1$ , por medio de las ecuaciones 2.2 y 2.3 respectivamente, con algunas modificaciones en su forma, ya que se plasma la ecuación lineal.

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^m x_i^2 * \sum_{i=1}^m \ln y_i - \sum_{i=1}^m \ln y_i x_i * \sum_{i=1}^m x_i}{m(\sum_{i=1}^m x_i^2) - (\sum_{i=1}^m x_i)^2}, \text{ (ecc. 2.2.A)}$$

Y

$$a_1 = \frac{m \sum_{i=1}^m x_i * \ln y_i - \sum_{i=1}^m x_i * \sum_{i=1}^m \ln y_i}{m(\sum_{i=1}^m x_i^2) - (\sum_{i=1}^m x_i)^2}, \text{ (ecc. 2.3.B)}$$

De esta manera, se sustituyen los valores obtenidos en la tabla V y se obtienen los valores de los coeficientes.

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^m x_i^2 * \sum_{i=1}^m \ln y_i - \sum_{i=1}^m \ln y_i x_i * \sum_{i=1}^m x_i}{m(\sum_{i=1}^m x_i^2) - (\sum_{i=1}^m x_i)^2}$$

Entonces:

$$a_0 = \frac{(441000 * 2,7717) - (-897,52 * 1400)}{5(441000) - (1400)^2} = 0,1497$$

Y

$$a_1 = \frac{m \sum_{i=1}^m x_i * \ln y_i - \sum_{i=1}^m x_i * \sum_{i=1}^m \ln y_i}{m(\sum_{i=1}^m x_i^2) - (\sum_{i=1}^m x_i)^2}$$

Entonces

$$a_1 = \frac{5(-897,526) - (1400 * 2,7717)}{5(441000) - (1400)^2} = -0,0025$$

De esta manera, al tener el valor de los coeficientes, es posible modelar el comportamiento del fenómeno. Con la función lineal de la forma de la ecuación 2.4

$$y = -0,0025x + 0,1395$$

De esta forma, al conocer la función es posible establecer qué tan cerca están los datos modelados por la función de los datos teóricos. Pero la ecuación de interés corresponde a una ecuación exponencial negativa, por consiguiente, se resuelve la ecuación para un modelo lineal.

$$\ln a_1 = -0,0025x = a_1 = e^{-0,0025x}$$

$$\ln a_0 = e^{0,1395} = a_0 = 1,1497$$

Entonces la ecuación se forma de la siguiente manera:

$$y = 1,1497e^{-0,0025x}$$

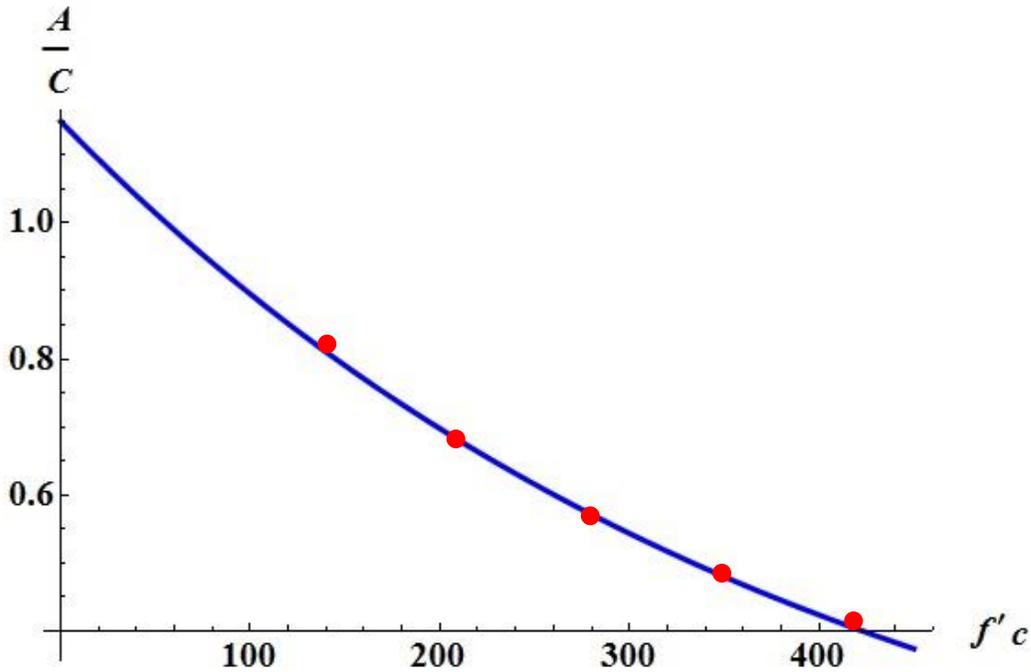
La siguiente tabla describe estos errores o comparaciones por medio del error absoluto y el teórico.

Tabla VI. **Comparación entre datos teóricos y los obtenidos de la función**

No	X	Y	$y=1,1497e^{-0,0025x}$	E	e %
1	420	0,41	0,402	0,00767657	1,87233411
2	350	0,48	0,479	0,00073374	0,15286166
3	280	0,57	0,571	0,00092412	0,16212698
4	210	0,68	0,680	0,0001112	0,0163533
5	140	0,82	0,810	0,0098201	1,19757357

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Gráfica de puntos con línea de tendencia**



Fuente: elaboración propia.

Por medio de la gráfica es posible analizar que el modelo matemático se corresponde con los datos teóricos. El modelo matemático se plasma de la siguiente manera, correspondiente a una función exponencial negativa. Conociendo de esta manera el comportamiento teórico de la función matemática es preciso argumentar que la misma se encuentra en términos de la resistencia a compresión del concreto. A partir de este análisis, es posible alcanzar datos de la relación agua/cemento y realizar diseños de mezcla.

### **3. CARACTERÍSTICAS Y GENERALIDADES DEL BASALTO**

#### **3.1. Generalidades**

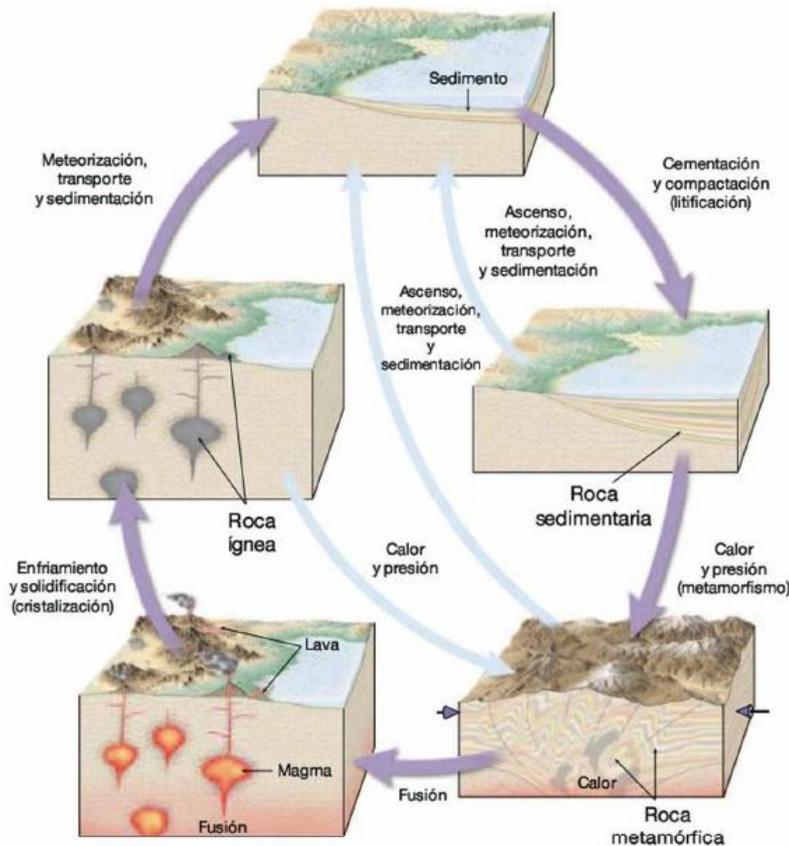
Entre las generalidades que se deben conocer de esta roca está cómo ocurre su formación dentro del ciclo de las rocas y a que rama de formación pertenece.

##### **3.1.1. Ciclo de las rocas**

El planeta tierra es un complejo sistema conformado por diversas partes interactuantes. El ciclo de las rocas está dentro de este y existen varios caminos para su formación. La figura 6 detalla este proceso en el ciclo básico y otras vías de formación que pueden tener las rocas.

De esta forma, se sabrá de manera detallada y práctica acerca de la formación de las rocas, para apreciar las vías que pueden tomar las rocas al no avanzar por las vías frecuentes o esperadas.

Figura 6. **Ciclo básico de las rocas y otras posibles vías de formación**



Fuente: EDWARD, Tarbuck; FREDERICK, Lutgens.

*Ciencias de la tierra una introducción a la geología.* p.104

El ciclo básico de formación de rocas se localiza en la parte inferior de la figura 6. “El magma es la roca fundida que se forma a una gran profundidad por debajo de la superficie de la Tierra”<sup>5</sup>. Con el tiempo, el magma se enfría y se solidifica. Este proceso, denominado cristalización, puede ocurrir debajo de la superficie terrestre o, después de una erupción volcánica, en la superficie. En cualquiera de las dos situaciones, las rocas resultantes se denominan rocas ígneas.

<sup>5</sup> EDWARD J. Tarbuck; FREDERICK K. Lutgens. *Ciencias de la tierra una introducción, a la geología.* p. 104

Si las rocas ígneas afloran en la superficie, experimentarán meteorización, en la cual la acción de la atmósfera desintegra y descompone lentamente las rocas. Los materiales resultantes pueden ser desplazados, pendiente abajo por la gravedad, antes de ser captados y transportados por algún agente erosivo como las aguas superficiales, los glaciares, el viento o las olas. Por fin, estas partículas y sustancias disueltas, denominadas sedimentos, son depositadas. Aunque la mayoría de los sedimentos acaba llegando al océano, otras zonas de acumulación son las llanuras de inundación de los ríos, los desiertos, pantanos y las dunas.

A continuación, los sedimentos experimentan litificación, un término que significa conversión en roca. El sedimento suele litificarse dando lugar a una roca sedimentaria cuando es compactado por el peso de las capas supra yacentes o cuando es cementado conforme el agua subterránea de infiltración llena los poros con materia mineral.

Si la roca sedimentaria resultante se entierra profundamente dentro de la tierra e interviene en la dinámica de formación de montañas, o si es instruida por una masa de magma, estará sometida a grandes presiones o a un calor intenso, o a ambas cosas. La roca sedimentaria reaccionará ante el ambiente cambiante y se convertirá en un tercer tipo de roca, una roca metamórfica. Cuando la roca metamórfica es sometida a cambios de presión adicionales o a temperaturas aún mayores, se fundirá; creando un magma que acabará cristalizado en rocas ígneas.

Los procesos impulsados por el calor desde el interior de la Tierra son responsables de la creación de las rocas ígneas y metamórficas. La meteorización y la erosión, procesos externos alimentados por una combinación

de energía procedente del Sol y la gravedad, producen el sedimento a partir del cual se forman las rocas sedimentarias.

Con la comprensión de dónde y cómo se forman las distintas formas de rocas en el sistema, se puede particularizar el ciclo en la roca en estudio. El basalto es una roca ígnea extrusiva, pero no significa que toda la lava se transformará en basalto, ya que la formación de las rocas ígneas es un proceso complejo, que incluye diversos factores para los distintos tipos de rocas.

### **3.1.2. Formación de rocas ígneas**

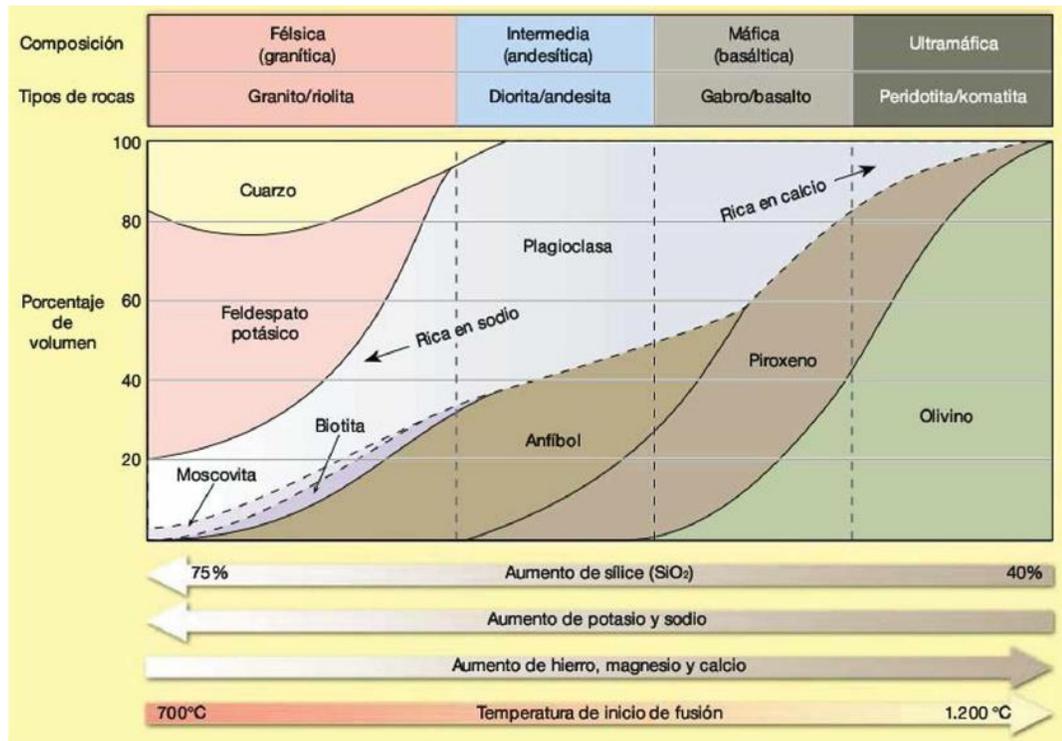
Se forman a partir de los magmas que salen a la superficie y sufren cristalización por cambio de temperatura, de la profundidad de la tierra en la superficie, además son las más abundantes en la corteza terrestre.

El proceso de solidificación de los magmas en la superficie terrestre principia cuando, por ser menos densa que las rocas del interior de la tierra, asciende a la superficie, transformándose en distintas rocas según su composición química y tiempo que tarde en cristalizarse por enfriamiento. Por ejemplo, los distintos tipos de magmas contienen diversidad de componentes químicos, para lo cual, un volcán, no necesariamente expulsa lava que se transformará en un solo tipo de roca, sino más bien se transformará en distintos tipos de rocas dependiendo de la composición química que contenga y del tiempo que tarde en cristalizarse. Se puede afirmar que el proceso de cristalización en lava no es uniforme y de una misma colada se forman distintos tipos de roca.

### 3.1.2.1. Caracterización de rocas ígneas

Las rocas ígneas se caracterizan por 3 parámetros: su textura, contenido mineralógico y químico. Además de conocer estos factores, es posible determinar cómo se formaron a partir de un análisis mineralógico el cual informa de la manera como se cristalizó la roca. Es decir, si fue en un proceso rápido o lento. Además, con los análisis químicos se determina cómo fue la lava que formó ese tipo de roca. y clasificarlo por su textura y el porcentaje de minerales que contiene. La figura 7 muestra qué cantidad de minerales tienen los distintos tipos de rocas ígneas.

Figura 7. Composiciones graníticas frente a basálticas



Fuente: EDWARD, Tarbuck; FREDERICK, Lutgens.  
*Ciencias de la tierra una introducción a la geología.* p.84

### 3.1.3. Composición química del basalto

Las rocas ígneas extruidas al formarse a partir de lava, tienen características relativamente similares en términos químicos y mineralógicos, pero estas variaciones son útiles para determinar y clasificar los distintos tipos de rocas ígneas, de esta forma se enfatiza en los componentes que más se presentan en las rocas ígneas para, luego, particularizar el basalto.

El oxígeno es el elemento más abundante en las rocas ígneas o volcánicas. Su composición química se determina por análisis que pueden expresarse en términos de un número de óxidos. El más importante de estos óxidos es el  $\text{SiO}_2$  (óxido de silicio o sílice); el porcentaje de este es regularmente alto y va desde un 35 a un 75 por ciento en una roca volcánica típica. A partir de esta gran variación de sílice en las rocas ígneas, nacen 4 grupos o clasificaciones; por ejemplo el grupo ácido ( $\text{SiO}_2$  más de 66 por ciento), intermedio ( $\text{SiO}_2$  de 52 a 66 por ciento), básico ( $\text{SiO}_2$  45 a 52 por ciento); ultra básico (contenido menor a 45 por ciento).

El sílice es el óxido más abundante, luego, está el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Los rangos en porcentaje van de 12 a 18 por ciento en rocas volcánicas, no obstante, este valor en raras ocasiones supera el 20 por ciento en lavas muy alcalinas, regularmente, en rocas intermedias de sílice. Valores bajos de este compuesto pueden encontrarse en rocas ígneas de lavas ultra-básicas, que van desde 8 a 9 por ciento. Óxidos de hierro magnesio y lima constituyen frecuentemente un total del 20 o 30 por ciento de compuestos en lavas básicas.

En la siguiente tabla se muestran distintos tipos de rocas ígneas, entre ellas, el basalto y se observa el porcentaje habitual de compuestos químicos en cada una de ellas.

Tabla VII. **Composición promedio de cinco rocas volcánicas**

Componente	Riolita	Traquita	Andesita	Fonolita	Basalto
SiO <sub>2</sub>	72,77	60,68	59,59	57,45	49,06
TiO <sub>2</sub>	0,29	0,38	0,77	0,41	1,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,33	17,74	17,31	20,60	15,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,40	2,64	3,33	2,35	5,38
FeO	1,02	2,62	3,13	1,03	6,37
MnO	0,07	0,06	0,18	0,13	0,31
MgO	0,38	1,12	2,75	0,30	6,17
CaO	1,22	3,09	5,80	1,50	8,95
Na <sub>2</sub> O	3,34	4,43	3,58	8,84	3,11
K <sub>2</sub> O	4,58	5,74	2,04	5,23	1,52
H <sub>2</sub> O	1,50	1,26	1,26	2,04	1,62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,24	0,26	0,12	0,45
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fuente: DALY, Robert. *Igneous Rocks and depths of the Earth*,  
p.9-28

Desde el punto de vista químico, es posible saber el tipo de roca ígnea. Esto es difícil a simple vista. Dado que las rocas presentan una morfología muy parecida, es posible argumentar que la extracción de un solo tipo de roca en una cantera es poco probable. Un ejemplo claro de la similitud de las rocas se encuentra en su morfología superficial, ya que las rocas son parecidas aunque su composición química sea distinta y pertenezcan a ramas distintas de una misma familia. Además, una misma colada de lava es posible y habitual la formación de distintos tipos de rocas. Una buena comparación podría ser una roca intermedia como la andesita y una roca básica como el basalto, pertenecen a ramas distintas pero superficialmente son muy parecidas. En la figura 8 únicamente se enfatiza en el parecido físico de las rocas.

Figura 8. **Comparación visual de andesita y basalto**



Fuente: Departamento de Edafología y Química Agrícola.  
<http://edafologia.ugr.es/index.htm>. Consulta: noviembre 2016.

### **3.2. Usos del basalto en Guatemala**

En Guatemala, la gran mayoría de construcciones están hechas de concreto armado o bien de mampostería. A raíz de necesidad de utilizar estos dos métodos constructivos, es importante contar con evidencia del comportamiento y desempeño que se obtenga al utilizar distintos materiales pétreos en el mortero de pega o en el concreto reforzado. Existen diversas fuentes de materiales pétreos, por lo tanto, su análisis individual es de suma importancia. Para efectos de esta investigación, únicamente se considera el basalto en concreto.

#### **3.2.1. Construcciones en general**

El basalto se utiliza en Guatemala en distintas ramas de la construcción. Se aprovecha como agregados y cumple con ciertos requerimientos físicos y mecánicos. Cumple con las especificaciones técnicas en la elaboración de concreto armado o pavimentos asfáltico. En gran medida la extracción de este

material es abundante, ya que se cuenta con un gran número de volcanes en todo el territorio nacional. Este material se extrae de canteras a cielo abierto. La roca puede transformarse en agregado grueso de diversos tamaños o en agregado fino para utilizarlo en la elaboración de concreto o mortero.

### **3.3. Características físicas del basalto**

Antes de describir las características físicas del basalto, es importante tomar en cuenta que las rocas aunque sean del mismo tipo, tienen en varias ocasiones peculiaridades que las diferencian, ya sea por la distinción del color o por el número de vacuolas en la roca.

“las rocas de basalto son de origen volcánico de grano fino y de color verde oscuro hasta negro, compuesto fundamentalmente por piroxeno y plagioclasa rica en calcio con cantidades menores de olivino y anfíbol. Cuando es porfídico, el basalto contiene comúnmente fenocristales de olivino de aspecto vítro embebidos en una pasta oscura.”<sup>6</sup>

El basalto es la roca ígnea extrusiva más común. Muchas islas volcánicas, como las islas Hawái e Islandia, están compuestas, fundamentalmente, de basalto. Además, las capas superiores de la corteza oceánica son de basalto. En Estados Unidos, grandes áreas de la parte central de Oregón y Washington fueron zonas de extensas erupciones basálticas en algunas localizaciones, esas coladas basálticas se han acumulado hasta alcanzar grosores que aproximan a los 3 kilómetros.

---

<sup>6</sup> EDWARD J. Tarbuck; FREDERICK K. Lutgens. *Ciencias de la tierra una introducción, a la geología*. p. 120



## **4. COMPORTAMIENTO DE LA FUNCIÓN $\frac{A}{C} = 1,1497e^{-f'c*0,0025}$ CON DATOS OBTENIDOS DEL ACI**

### **4.1. Análisis matemático de la función**

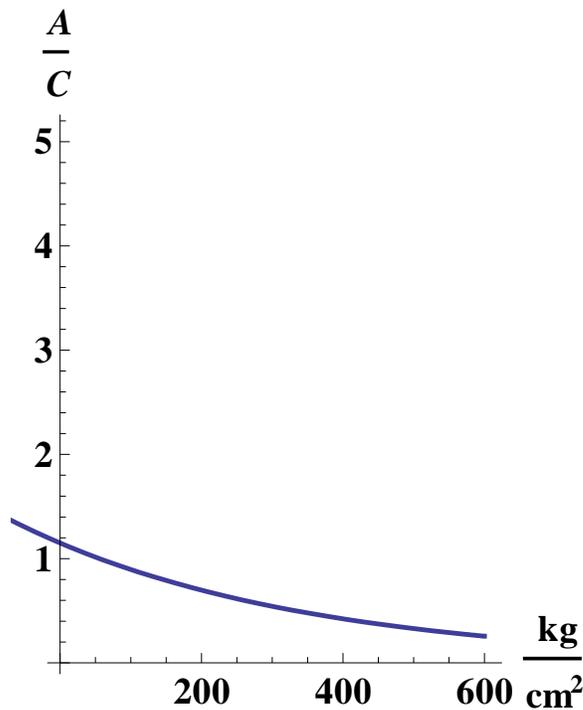
El análisis matemático de una función describe cómo es su comportamiento y brinda información importante donde es posible establecer leyes físicas. En la función expuesta en este apartado, únicamente se establecen las relaciones matemáticas de los puntos sin realizar una demostración física de los fenómenos.

#### **4.1.1. Dominio y rango de la función**

Para determinar el dominio y el rango de la función es preciso determinar algunas de sus propiedades matemáticas. Por ser una función de tipo exponencial negativa, cuenta con un típico comportamiento creciente o decreciente, según sea el punto de vista con una razón de cambio de tipo exponencial. El dominio de la función corresponde a todos los valores incluidos en la función, y el rango de la función corresponde a la imagen que brinda todos los valores del dominio.

Para determinar el dominio y rango de la función con una técnica que brinda información rápida, se debe observar la gráfica de la función en un dominio determinado y aplicar límites en puntos de interés.

Figura 9. Gráfica de función  $\frac{A}{C} = 1,1497e^{-f'c*0,0025}$



Fuente: elaboración propia, empleando  
Wolfram Mathematica 8.

El análisis de la función para encontrar el dominio correspondería en aplicar límites para el infinito positivo y negativo y ver qué valor arroja la función.

$$\lim_{f'c \rightarrow \infty} 1,1497 * e^{-f'c*0,0025} = 1,1497 * e^{-\infty*0,0025} = 0$$

Por consiguiente, este análisis indica que la función tiene un dominio en todos los reales positivos, partiendo del cero para el rango hasta el infinito. De la misma manera se establecerá un análisis para ver de qué manera se comporta la función en el infinito negativo.

$$\lim_{f'c \rightarrow -\infty} 1,1497 * e^{-f'c * 0,0025} = 1,1497 * e^{(-)(-\infty) * 0,0025} = \infty$$

Al efectuar el análisis del lado izquierdo del cero considerando el infinito negativo se puede considerar que los valores de la función llegan hasta el infinito. Por consiguiente es posible argumentar que el dominio de la función va desde el menos infinito hasta el infinito  $(-\infty, \infty)$  y que el rango de la función va desde cero; el cual es un valor no contenido en la función, ya que al aplicar el límite de la misma para cero, da como resultado el infinito. Es posible argumentar que el rango de la función es desde cero sin incluir hasta el infinito,  $(0, \infty)$ .

#### 4.1.2. Intercepto

Para encontrar el intercepto en el eje “X” y “Y” de la función se debe valuar la función cuando vale “0”, para los valores de la función independiente y lo mismo para la variable independiente.

$$f(f'c) = 1,1497 * e^{(-f'c) * 0,0025}$$

$$f(0) = 1,1497 * e^{(0) * 0,0025}$$

$$f(0) = 1,1497 * e^{(0) * 0,0025}$$

$$f(0) = 1,1497$$

La función únicamente tiene este intercepto  $(0 \quad 1,1497)$ , ya que al valuar el límite de la función en infinito el resultado da cero, nunca toca el eje X.

#### 4.2. Razón de cambio de la función

Para encontrar la razón de cambio de la función se debe encontrar la primera derivada, ya que esta, por definición, corresponde a la tasa con la que cambia la variable Y de la de X.

Las reglas definidas para derivar una función exponencial corresponden al siguiente teorema:

$$f(x) = e^x$$
$$f'(x) = e^x * x'$$

Por consiguiente la derivada de la función queda de la forma:

$$f(f'c) = 1,1497 * e^{(-f'c)*0,0025}$$
$$f'(f'c) = 1,1497 * e^{(-f'c)*0,0025} * -0,0025$$
$$f'(f'c) = 1,1497 * e^{(-f'c)*0,0025} * -0,0025$$
$$f'(f'c) = -0,00287425e^{-0,0025f'c}$$

A raíz de este análisis es posible argumentar que la pendiente de la función cambia a un ritmo exponencial.

#### 4.3. Comportamiento de la función

las mezclas de concreto se comportan en función de variables, como el tipo de cemento, origen y características físico-químicas de los agregados pétreos, además de la calidad del agua que se pretende utilizar. De cualquier manera, la utilización de distintos agregados presentará distintos valores de resistencia aunque se diseñe para la misma. Debido a que se deben tomar en

cuenta muchos factores, por medios experimentales se pueden determinar los valores constantes y los variables.

Sin importar el tipo de agregado o tipo de cemento el comportamiento de la relación agua/cemento siempre obedecerá a una función exponencial negativa; aunque si se cambian las variables en el diseño, los únicos cambios se presentarán en forma de variaciones en los coeficientes de la función exponencial negativa. De esta manera, claramente, se puede exponer que los valores de distintos tipos de agregados obedecerán a distintos coeficientes en la función exponencial negativa de la forma:

$$\frac{A}{C} = a_1 e^{-f' c * b_1}$$

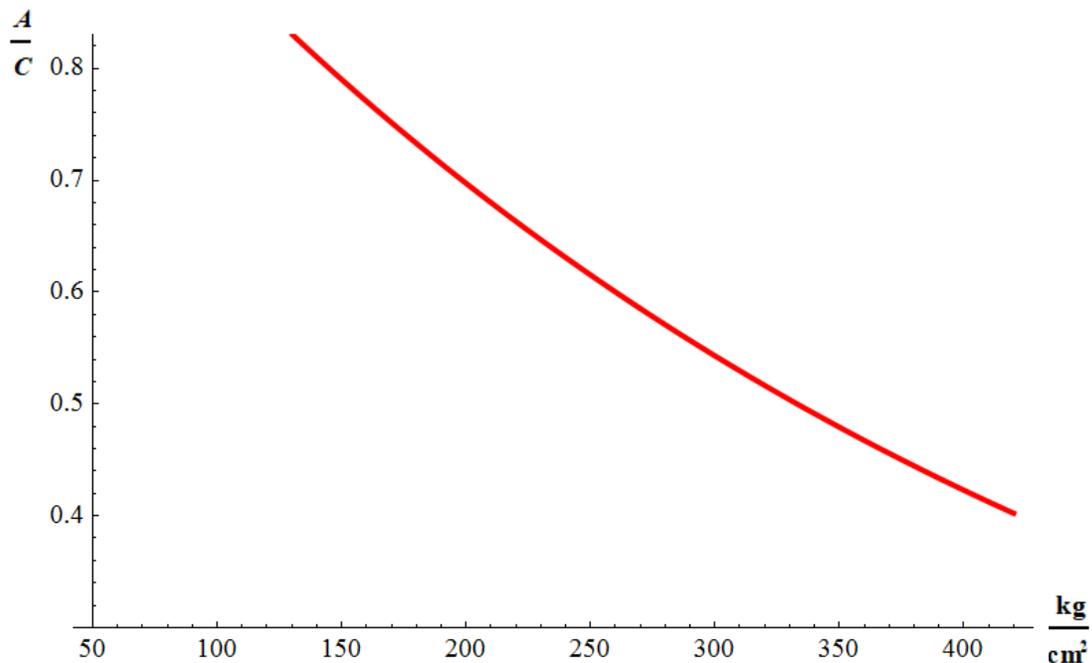
Donde las variables  $a_1$  y  $b_1$  están en función del tipo de agregado que se pretenda utilizar.

#### **4.4. Dominio de la función**

Para el diseño de distintas mezclas de concreto es preciso determinar cuál debería ser el dominio real de la misma, ya que la función matemática supone todos los valores reales en el eje de las X como dominio y todos los valores positivos en las Y como rango. Esto es totalmente falso al realizar el experimento, sería imposible tener una altísima resistencia a compresión con una muy pequeña relación/agua cemento, ya que el cemento debe hidratarse por completo en estado fresco. Sería imposible realizar lo anterior con una cantidad muy limitada de agua, esto sin incluir los agregados que se tiene que unir con la pasta de cemento con agua.

Para fines de esta investigación, el dominio de la función estará determinado únicamente para los 5 valores que considera el Código ACI 211.1, el cual incluye 5 valores de resistencia a compresión con sus respectivas relaciones agua/cemento. En la siguiente figura se muestra la gráfica de la relación agua/cemento en función de la resistencia a compresión.

Figura 10. **Dominio de la función en relación a los valores obtenidos del ACI**



Fuente: elaboración propia por medio del programa Mathematica 8.

De esta manera, es posible determinar un marco solución para los valores obtenidos en los distintos diseños de mezclas. La investigación consiste en comparar la función obtenida de los datos del ACI 211.1 con los obtenidos de la función matemática y superponerla para ver sus posibles variaciones.

## **5. DISEÑO EXPERIMENTAL**

A raíz de que se conoce con más certeza el comportamiento del concreto utilizando basalto como agregados, es posible establecer una función matemática utilizando los parámetros de resistencia a compresión y relación agua/cemento, encontrados en el Código ACI 211.1 para diseño de mezclas en concretos sin aire incluido. Dichos puntos fueron obtenidos a lo largo de numerosas investigaciones estandarizando los agregados pétreos.

Ya que el Código ACI 211.1 no indica explícitamente qué tipo de agregado se utiliza para obtener dichas resistencias a compresión, se plasmó por medio de una regresión lineal, el establecimiento de una relación entre la resistencia a compresión y la relación agua/cemento, donde se tomó, como base para el experimento el basalto, como agregados pétreos y demostrar en qué medida se ajustan los datos al modelo matemático obtenido a través del Código ACI 211.1.

Por medio de esta investigación es posible tener un grado más amplio de confianza al trabajar con basalto como agregados pétreos y poder establecer un modelo óptimo donde no exista un sobrediseño o en caso contrario se subdiseñe la mezcla de concreto.

### **5.1. Análisis completos para agregados**

Los agregados se obtuvieron de dos plantas distintas; la arena se obtuvo de una planta en Palín, Escuintla y la grava, de una planta en Bárcenas del

municipio de Villa Nueva en el departamento de Guatemala. Se decidió establecer esta metodología, ya que se considera que las características físicas o químicas del basalto no cambian tanto.

### 5.1.1. Agregado grueso

Este fue extraído de una planta de materiales pétreos en la localidad de Bárcenas en el municipio de Villa Nueva en el departamento de Guatemala.

Tabla VIII. **Características físicas del agregado grueso**

Peso específico	2,68
Peso unitario suelto ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )	1390,00
Peso unitario compactado ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )	1310,00
Porcentaje de absorción (%)	2,50
Pasa tamiz No. 200 (%)	0,90
Porcentaje de vacíos suelto (%)	51,00
Porcentaje de vacíos compactado (%)	48,00
Pasa tamiz No. 6.35 (%)	16,00
Partículas Planas (%)	59,00
Partículas Alargadas (%)	41,00
Módulo de finura	6,28

Fuente: elaboración propia.

Para el diseño de mezclas de concreto es importante establecer ciertos parámetros estándares de comparación y de control de calidad. Para este caso, se utilizan las normas técnicas Coguanor NTG 41007 h-1 (ASTM C-33) donde estandariza ciertas propiedades físicas de los materiales para uso en concreto. Siendo estos los siguientes:

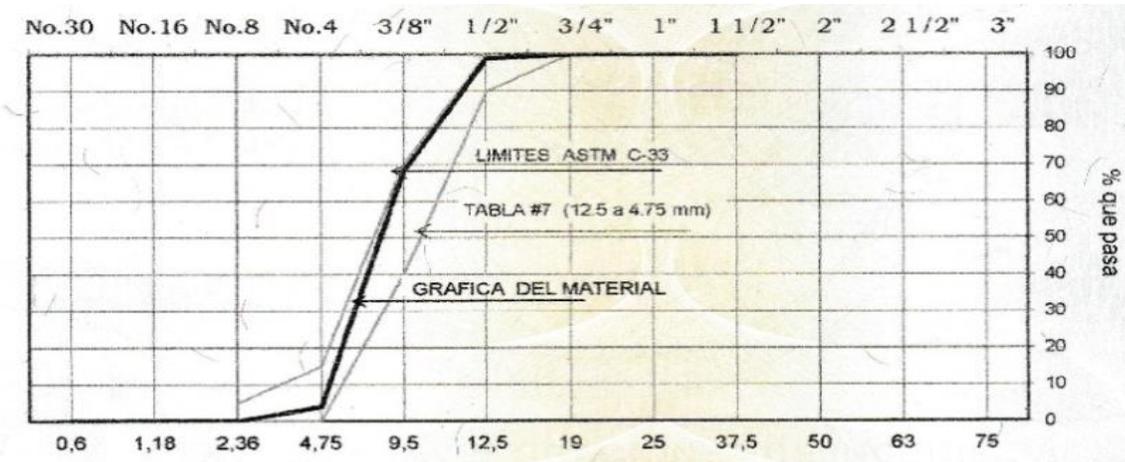
El porcentaje que deberá pasar por el tamiz No. 200 no deberá ser mayor que 1%. En los estudios realizados se da a conocer que el porcentaje que pasa por este tamiz es solo 0.90%, lo cual establece que si cumple con este parámetro.

El porcentaje de absorción deberá variar de 0,20% a 4,00%. Para este caso, el porcentaje de absorción es 2,50%; lo cual se traduce en que el material absorbe agua dentro de los márgenes establecidos.

El peso volumétrico compactado del agregado grueso deberá encontrarse dentro de  $1200 \text{ kg/m}^3$  a  $1750 \text{ kg/m}^3$ , pero en contraposición para el análisis de resultados muestra que el agregado es pesado en comparación con estos parámetros, ya que alcanzó un valor de  $1950 \text{ kg/m}^3$ , lo cual superó el parámetro.

Curva granulométrica, se observa en la figura 11 que la granulometría cumple con la Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33).

Figura 11. **Granulometría del agregado grueso**



Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Porcentaje que pasa tamices en el agregado grueso**

Tamiz No.	1/2	3/8	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
% pasa	99	68	4	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

En la tabla IX se observa claramente que el porcentaje en mayor abundancia en el agregado grueso corresponde al tamiz de 3/8\".

Figura 12. **Agregado grueso utilizado**



Fuente: elaboración propia, realizado en Centro de Investigaciones de Ingeniería.

### 5.1.2. **Agregado fino**

El agregado fino cumple un papel muy importante en la mezcla de concreto, igual que todos los demás componentes, ya que sus propiedades influyen directamente en el desempeño de la mezcla de concreto. Este fue extraído de una planta de materiales pétreos en la localidad de Palín, Escuintla.

Tabla X. **Características físicas del agregado fino**

Peso específico	2,68
Peso unitario suelto ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	1720,00
Peso unitario compactado ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	1820,00
Porcentaje de absorción (%)	1,00
Pasa tamiz No. 200 (%)	0,60
Porcentaje de vacíos suelto (%)	36,00
Porcentaje de vacíos compactado (%)	32,00
Pasa tamiz No. 6.35 (%)	99,62
Módulo de finura	2,69

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Porcentaje de pérdida en estabilidad volumétrica**

No. De tamiz	Porcentaje de perdida %
No. 4	5,10
No. 8	4,40
No. 16	3,40
No. 30	3,80
No. 50	10,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Porcentaje que pasa tamices en el agregado fino**

No. De tamiz	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	Fondo
% pasa	99,40	89,00	65,50	42,00	24,50	10,60	0

Fuente: elaboración propia.

La Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33), para agregado fino especifica como parámetro de calidad que el porcentaje de finos (tamiz No. 200) en arena manufacturada no deberá exceder 7%. Para la muestra en análisis, el porcentaje de finos fue 0,62% para lo cual cumple con el requerimiento de control de calidad.

Según la Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33), para el módulo de finura; el parámetro engloba un intervalo de calidad, el cual establece que el módulo de finura deberá estar dentro de 2,30 hasta 3,10. Para el caso de esta arena el resultado obtenido es 2,69, por lo que cumple con esta especificación.

El peso específico normal entre agregados debería variar entre 2,40 y 2,90, para este caso fue 2,68, un valor muy parecido al del agregado grueso. Si los valores de pesos específicos de los 2 agregados están próximos existe menos segregación; por lo tanto es beneficioso para la mezcla de concreto.

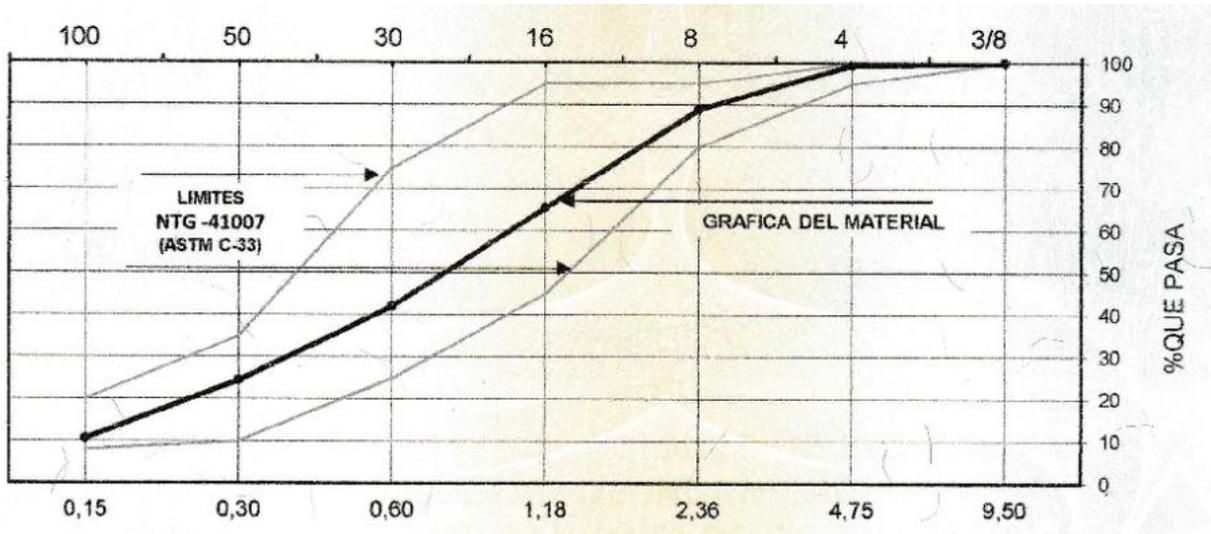
El peso unitario compactado recomendado para realizar concreto de peso normal varía entre  $1200 \text{ kg/m}^3$  y  $1750 \text{ kg/m}^3$  pero este criterio no clasifica de alguna manera la calidad del agregado. Para el caso de la arena se encuentra en  $1810 \text{ kg/m}^3$ .

El porcentaje de vacíos determinado en el agregado fue de 32%, lo cual indica que es una cantidad pequeña, por consiguiente, la pasta cementante a utilizar para unir las partículas será menor y se puede aprovechar mejor.

Para un 1,02% de absorción se considera que el material absorbe poca agua y es óptimo para realizar la mezcla de concreto, ya que el contenido de agua que no absorbe se utiliza mejor en la pasta cementante.

Curva granulométrica. Se observa en la figura 13 que la granulometría cumple con la Norma NTG 41007 h-1 (ASTM C-33).

Figura 13. **Granulometría del agregado fino**



Fuente: elaboración propia.

## 5.2. **Diseño teórico con variables en relación agua/cemento según función**

Para el diseño de mezcla de concreto se utilizó el Código ACI 211.1, pero exceptuando el paso número cuatro donde se obtienen los valores de la relación agua/cemento, ya que se consideraron los valores de la tabla 6.3.4 (a) del Código ACI 211.1 para realizar una regresión lineal y obtener una ecuación para determinar la relación agua/cemento en función de la resistencia a compresión en concreto sin aire incluido.

Para el análisis de la función se tomaron los puntos conocidos de la tabla 6.3.4 (a) del ACI 211.1 y se dispuso crear el diseño de mezcla para los 5 puntos de análisis en relación a que este cumpla con los requerimientos, tanto

resistencia, trabajabilidad y desempeño, en estado fresco y endurecido; donde se siguen los pasos del Código ACI 211.1

La tabla XIII muestra los valores en peso de las cantidades de materiales utilizados en la creación de las 5 mezclas y una comparación del error relativo de la relación agua/cemento obtenida de la ecuación y de la brindada por el Código ACI 211.1

**Tabla XIII. Cantidades utilizadas en los 5 diseños de mezcla y comparación de relación agua/cemento**

Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>	Agua (L)	Cemento (Kg)	Piedrín (Kg)	Arena (Kg)	Relación A/C del ACI	Relación A/C de función	e %
140	2,79	3,44	7,55	14,11	0,82	0,810	1,22
210	2,79	4,10	7,55	13,45	0,68	0,680	0,00
280	2,79	4,88	7,55	12,67	0,57	0,571	0,18
350	2,79	5,82	7,55	11,73	0,48	0,479	0,21
420	2,79	6,94	7,55	10,62	0,41	0,402	1,95

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XIII se muestran los valores de relación agua/cemento obtenidos por medio del Código ACI 211.1 y los mismos valores obtenidos por la función matemática, para este caso, se realizó una comparación de estos 2 valores plasmados en el error relativo donde claramente se observa, que estos no varían significativamente, por lo tanto únicamente los valores de control estarán percibidos en los valores de resistencia a compresión.

### 5.3. Control del desempeño del concreto fresco según Código ACI

Para el control y desempeño del concreto fresco se tomaron los criterios del Código ACI 211.1 donde cita las normas ASTM para realizar los procedimientos. La tabla XIV muestra el desempeño y propiedades físicas del concreto en estado fresco para todas las resistencias.

Tabla XIV. **Resultados en ensayos de concreto fresco de las 5 resistencias a compresión**

Resistencia Teórica $Kg/cm^2$	Temperatura (C) ASTM C-1064	Asentamiento (cm) ASTM C-143	Peso de cilindros en kg	% de aire ASTM C-231	Peso unitario $Kg/m^3$ ASTM C-231
140	22,40	5,0	19,10	2,6	2350,00
210	22,40	5,4	18,99	2,5	2330,00
280	22,90	4,4	19,21	2,5	2360,00
350	22,90	7,5	19,22	2,2	2360,00
420	23,90	10,0	19,06	2,4	2340,00

Fuente: elaboración propia.

Partiendo de estos resultados es posible argumentar que todos se encuentran dentro de los parámetros normales, existen variaciones pero no son valores muy elevados. Los valores anteriores corresponden al diseño realizado por medio de la ecuación matemática. El peso específico del concreto es el único valor que sobresalió de los marcos normales, ya que excede el peso de un concreto de peso normal, por lo que se verá afectada su trabajabilidad.

#### 5.4. Control del desempeño del concreto endurecido según ACI

Para conocer el desempeño del concreto endurecido, someter a compresión los cilindros de concreto y verificar que cumplan como mínimo resistencia de diseño acorde con la Norma NTG-41017h1.

La tabla XV muestra las características de los 10 cilindros de concreto luego de 28 días de curado, la resistencia a compresión que presentó cada espécimen y un promedio entre las resistencias de esos valores. Para la identificación de cada cilindro se consideró una etiqueta numeral desde 1-5 para las 5 resistencias establecidas en el ACI. Se realizaron 2 cilindros por cada resistencia.

Tabla XV. **Características físicas y resistencia a compresión de cada cilindro de concreto**

Identificación	Diámetro promedio (cm)	Altura Promedio (cm)	Carga (kg)	esfuerzo ( $kg/cm^2$ )	Esfuerzo Promedio ( $kg/cm^2$ )
1.1	15,115	30,06	70000	176,40	170,10
1.2	15,140	29,99	65000	163,80	
2.1	15,105	30,21	93500	235,90	237,65
2.2	15,095	30,25	95000	239,40	
3.1	15,110	30,23	118000	297,50	298,55
3.2	15,170	30,03	120000	299,60	
4.1	15,105	30,03	157500	396,90	403,55
4.2	15,425	30,22	163000	410,20	
5.1	15,130	33,31	170000	427,70	444,65
5.2	15,085	30,19	182500	461,60	

Fuente: elaboración propia.

Los valores correspondientes a la resistencia de los cilindros de concreto elaborados con la ecuación matemática, corresponden a un buen diseño de

mezcla, ya que todas las muestras están sobre el valor de diseño, excediéndolo en los 5 puntos de resistencia que establece el ACI 211,1.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. Variables utilizadas

Para la realización de mezclas de concreto siempre existe una gran cantidad de variables que pueden intervenir en el desempeño, tanto del concreto fresco como endurecido. A continuación, se presenta una lista de las variables más considerables en el desempeño del concreto endurecido.

Tipo de agregados

Características físicas

Características químicas

Características mecánicas

Cemento tipo I PM

Calidad del agua

Para efectos de investigación se consideró que las únicas variables podrían ser el tipo de agregado, ya que el cemento es de alta calidad, dados los distintos procesos que implica su fabricación. Además, se utilizó la misma marca y el mismo tipo para las 5 mezclas. La calidad del agua se consideró constante, ya que es la que se dispone para surtir el laboratorio. Lo contrario sucede con los agregados, ya que si se utiliza un tipo distinto de estos, los valores en la resistencia tendrán que variar y solo una investigación de este mismo tipo podrá determinar si los valores son aceptables.

Otra variable es la relación agua/cemento que se obtuvo por medio de la función matemática, ya que esta brinda valores dentro de todo el dominio útil de la función.

## 6.2. Exactitud de la función

Para comparar qué tan cerca se encuentran los valores dados por la función matemática, es necesario tener el marco comparativo de los resultados que propone el Código ACI 211.1 y los obtenidos por medio de la función matemática utilizando basalto como agregados pétreos.

Tabla XVI. **Comparación de valores obtenidos por medio de la función matemática y el Código ACI 211.1**

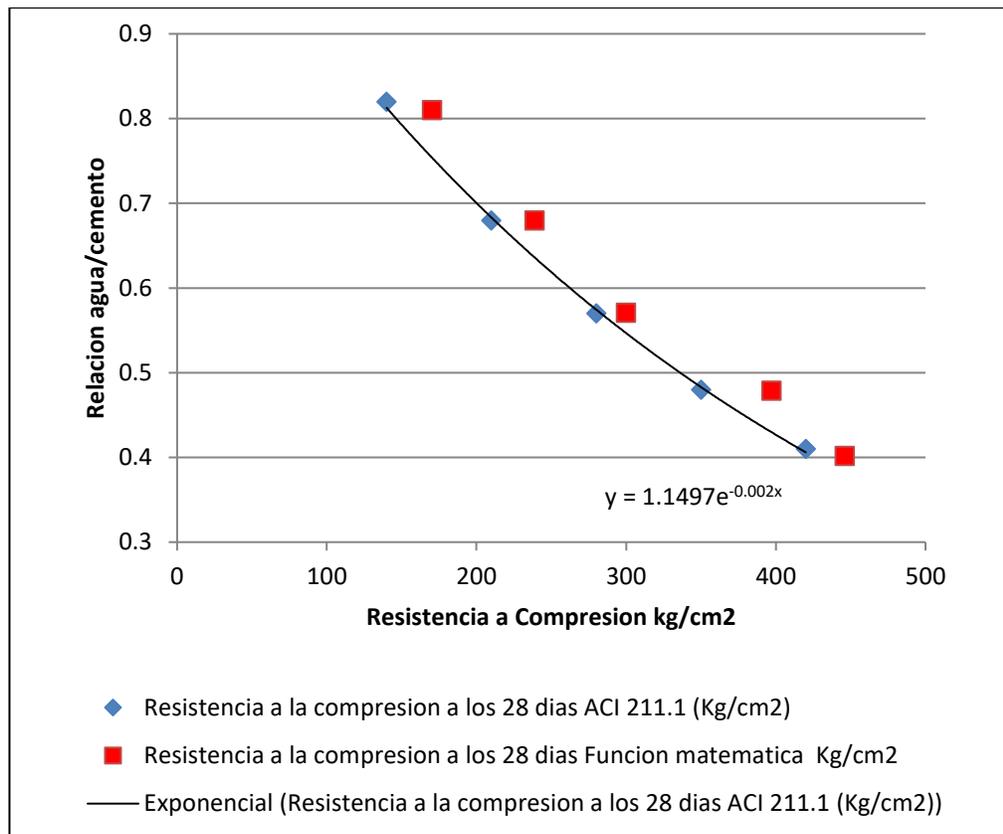
Resistencia a la compresión a los 28 días ACI 211.1 ( $kg/cm^2$ )	Resistencia a la compresión a los 28 días función matemática ( $kg/cm^2$ )	Variación	
		Absoluta ( $kg/cm^2$ )	Relativa %
420	444,65	24,62	5,87
350	403,55	53,55	15,30
280	298,55	18,55	6,63
210	237,65	27,65	13,17
140	170,10	30,10	21,50

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVI se observa que el porcentaje de variación de los valores obtenidos por medio de la función matemática no es muy elevado. También se nota que todas las variaciones absolutas corresponden a valores positivos, lo cual indica que los valores obtenidos por medio de la función son más altos que los diseñados.

En la figura 14 se muestran los valores correspondientes a los datos del ACI 211.1 de la relación agua/cemento y la resistencia a compresión a los 28 días, conjuntamente con los valores obtenidos por medio de la función matemática utilizando basalto como agregados.

Figura 14. **Comparación visual de datos obtenidos del ACI 211.1 y función matemática de la resistencia a compresión y relación agua/cemento**



Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. Con base en el diseño experimental se considera que el dominio solución para la función  $\frac{A}{c} = 1,1497e^{-f'c*0,0025}$  utilizando basalto como agregados, es modelado de una manera muy apropiada, los diseños de mezcla con esta especificación cumplen los requerimientos del Código ACI 211.1.
2. El dominio solución corresponde a los límites establecidos por el Código ACI 211.1, donde el valor más bajo es de  $140 \text{ kg/cm}^2$  y el valor más alto corresponde a  $420 \text{ kg/cm}^2$ , utilizando la ecuación y por medio del diseño experimental fue posible demostrar que esas resistencias se ven aumentadas en casi un 6% y 20% respectivamente. También fue posible establecer que, para diseñar una resistencia arriba de  $420 \text{ kg/cm}^2$ , es complicado por la hidratación del cemento.
3. Para la determinación de los valores máximos y mínimos de las relaciones agua/cemento, se demostró que es posible diseñar con los puntos del Código ACI 211.1 obteniendo un poco de sobre diseño, por lo tanto, se considera que los valores de relación agua/cemento corresponden a la imagen de los valores de resistencia  $140 \text{ kg/cm}^2$  y  $420 \text{ kg/cm}^2$ , siendo estos 0,810 y 0,402.

4. Utilizando la función matemática  $\frac{A}{C} = 1,1497e^{-f'c*0,0025}$  es posible diseñar correctamente mezclas de concreto capaces de alcanzar y superar las resistencias que establece el Código ACI 211.1.
5. La función matemática cumple con los requerimientos de resistencia a compresión, ya que los valores obtenidos son muy cercanos y están por sobre los valores de diseño.
6. Los valores obtenidos por medio de la función determinan valores de relación agua/cemento muy parecidos a los puntos en consideración a los del Código ACI 211.1, además, los valores de resistencia a compresión son cercanos a los mismos.
7. Es posible argumentar que la función matemática brinda un alto grado de confianza, ya que todos los valores bajo los cuales fue evaluada cumplió y supero los valores de diseño, además es preciso establecer que la función cumple para cualquier material pétreo que este dentro de las especificaciones técnicas de las normas de control de calidad.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas de caracterización a los materiales pétreos y que cumplan con los requerimientos que establece la Norma ASTM C-33, ya que este análisis garantizará el buen comportamiento de las mezclas de concreto, calculadas por medio de la ecuación matemática de esta manera los mismos cumplirán las especificación del Código ACI 211.1.
2. Para el cálculo de concretos de alta resistencia se debe tener cuidado al hidratarlos en su estado fresco, ya que todas las partes deben tener la cantidad correcta de agua, para iniciar la reacción química. En este tipo de concreto, el control debe ser alto, ya que es complicado por la poca cantidad de agua en el diseño, una correcta homogenización, de preferencia se debe utilizar, en todos los casos, mezcladora de concreto.
3. Utilizar de preferencia, los extremos de resistencia y relación agua/cemento enmarcados en el Código ACI 211.1, ya que en concretos más débiles que los enmarcados en el Código ACI 211.1 no tendrían una función estructural y para concretos de alta resistencia sería complicado la correcta hidratación.
4. Para el correcto uso de la ecuación matemática se recomienda utilizar un factor de seguridad poco elevado, ya que dentro del proceso constructivo es posible tener un control adecuado en todo momento, además de realizar el análisis completo de los agregados pétreos y

trabajar con ellos siempre y cuando estén dentro de las especificaciones de norma.

5. Aplicar buenas prácticas de campo en la realización de mezclas de concreto, conjuntamente con una buena supervisión, ya que el fundamento teórico que brinda la función matemática debe de estar concatenado con el fundamento práctico en el diseño de mezclas de concreto. Con estos dos conceptos es posible obtener resultados positivos en el diseño de mezclas de concreto.
6. Para el correcto funcionamiento de la función matemática en el diseño de mezclas de concreto se deben utilizar los puntos que estén dentro de los extremos de resistencia a compresión y relación agua/cemento que enmarca el Código ACI 211.1.
7. Aplicar un pequeño factor de seguridad en el diseño de mezclas de concreto, ya que la función es muy fiable siempre y cuando los agregados pétreos estén dentro de las especificaciones de norma de control de calidad.

## BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute. *Proporcionamiento de mezclas concreto normal, pesado y masivo*. EE.UU: comité ACI 211.1, 2004. p.360.
2. ÁVILA Miguel, PINZÓN Sandra, SERNA Luis. *Análisis de curvas para el diseño de mezclas de concreto con material triturado del río Magdalena en el sector de Girardot, Cundinamarca*. Colombia: In Crescendo. Institucional, 2015. p.144.
3. BURDEN Richard, FAIRES Douglas. *Análisis numérico. 9a ed.* EE.UU: Cengage learning, 2005. p.565.
4. CHAPRA Steven, CANALE Raymond. *Métodos numéricos para ingenieros*. México: McGraw-Hill, 1995. p.302.
5. EDWARD Tarbuck, FREDERICK Lutgens. *Ciencias de la tierra una introducción a la geología*. EE.UU: McGraw-Hill, 2005. p.450.
6. WALZ Kurt. *Relación entre el factor agua/cemento, la resistencia normalizada del cemento (norma DIN 1164, Junio 1970) y la resistencia del hormigón a la compresión*. Alemania: Materiales de construcción. 1970. p.155.



# ANEXOS

## Anexo 1. Resultados de ensayos a compresión en las 10 muestras



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 11426**  
**NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)**  
 INFORME SACM - 342

O.T. No. 37007  
 O.T. No. 37013

HOJA 1/2

**INTERESADO:** Armando Alfredo Escribá Flores, Carné 2013 14505

**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Función matemática para determinar la relación Agua/Cemento en el diseño de mezclas de concreto utilizando basalto como agregados".

**DIRECCIÓN:** Ciudad de Guatemala.

**EMISIÓN DE INFORME:** 31 de agosto de 2017

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE COLOCACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA libras	RESISTENCIA $\frac{lb}{in^2}$	TIPO DE FRACTURA
1,1	43-05	21/04/2017	19/05/2017	28	Basalto como agregado.	12,785	15,115	30,063	70 000	17,40	2 520	B
1,2	44-05	21/04/2017	19/05/2017	28	Basalto como agregado.	12,700	15,140	29,790	65 000	16,10	2 340	A
2,1	45-05	21/04/2017	19/05/2017	28	Basalto como agregado.	12,770	15,108	30,177	93 500	23,20	3 370	B
2,2	46-05	21/04/2017	19/05/2017	28	Basalto como agregado.	12,800	15,096	30,247	95 000	23,60	3 420	A
3,1	47-05	21/04/2017	19/05/2017	28	Basalto como agregado.	12,845	15,115	30,233	118 000	29,30	4 250	A
3,2	48-05	21/04/2017	19/05/2017	28	Basalto como agregado.	12,870	15,173	30,083	120 000	29,50	4 280	A
4,1	49-05	25/04/2017	23/05/2017	28	Basalto como agregado.	12,965	15,105	30,040	157 500	39,10	5 670	A
4,2	50-05	25/04/2017	23/05/2017	28	Basalto como agregado.	12,965	15,115	30,223	163 000	40,40	5 860	A
5,1	51-05	25/04/2017	23/05/2017	28	Basalto como agregado.	12,905	15,130	30,310	170 000	42,10	6 110	A
5,2	52-05	25/04/2017	23/05/2017	28	Basalto como agregado.	12,806	15,085	30,250	182 500	45,40	6 590	A

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

LL

---

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

## Anexo 2. Parámetros medidos en prueba a compresión



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 11427**  
**NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)**  
 INFORME SACM - 342

O.T. No. 37007  
 O.T. No. 37013

**HOJA 2/2**

**INTERESADO:** Armando Alfredo Escibá Flores, Carné 2013 14505

**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Función matemática para determinar la relación Agua/Cemento en el diseño de mezclas de concreto utilizando basalto como agregados".

**DIRECCIÓN:** Ciudad de Guatemala.

**EMISIÓN DE INFORME:** 31 de agosto de 2017

---

Representativo de Mezcla	Peso Unitario (Kg/m <sup>3</sup> )	Temperatura °C	Revenimiento en cm	% de Vacíos
Mezcla de cilindros 1.1 y 1.2	2350,00	22,40	5,00	2,60
Mezcla de cilindros 2.1 y 2.2	2330,00	22,40	5,40	2,50
Mezcla de cilindros 3.1 y 3.2	2360,00	22,90	4,40	2,50
Mezcla de cilindros 4.1 y 4.2	2360,00	22,90	7,50	2,20
Mezcla de cilindros 5.1 y 5.2	2340,00	23,90	10,00	2,40

**OBSERVACIONES :**

b) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEH **BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA**  
 Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras,  
 dial utilizado para lectura 300 000 libras.

c) Cilindros cabeceados según norma ASTM C-1231

d) El interesado proporcionó:

- No. de cilindro en obra.
- Fecha de colocación.
- Edad de ensayo.
- El representativo de estructura.







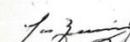
A. CONO    B. CONO Y CLIVAJE    C. CONO Y RUPTURA    D. CORTE    E. COLUMNAR

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.  
 Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.



Inga Dilma Yanet Mejicanos Jol  
 Jefa Sección de Agregados, Cóncretos y Morteros

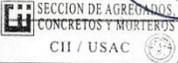
Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier Gujón  
 Director CII/USAC



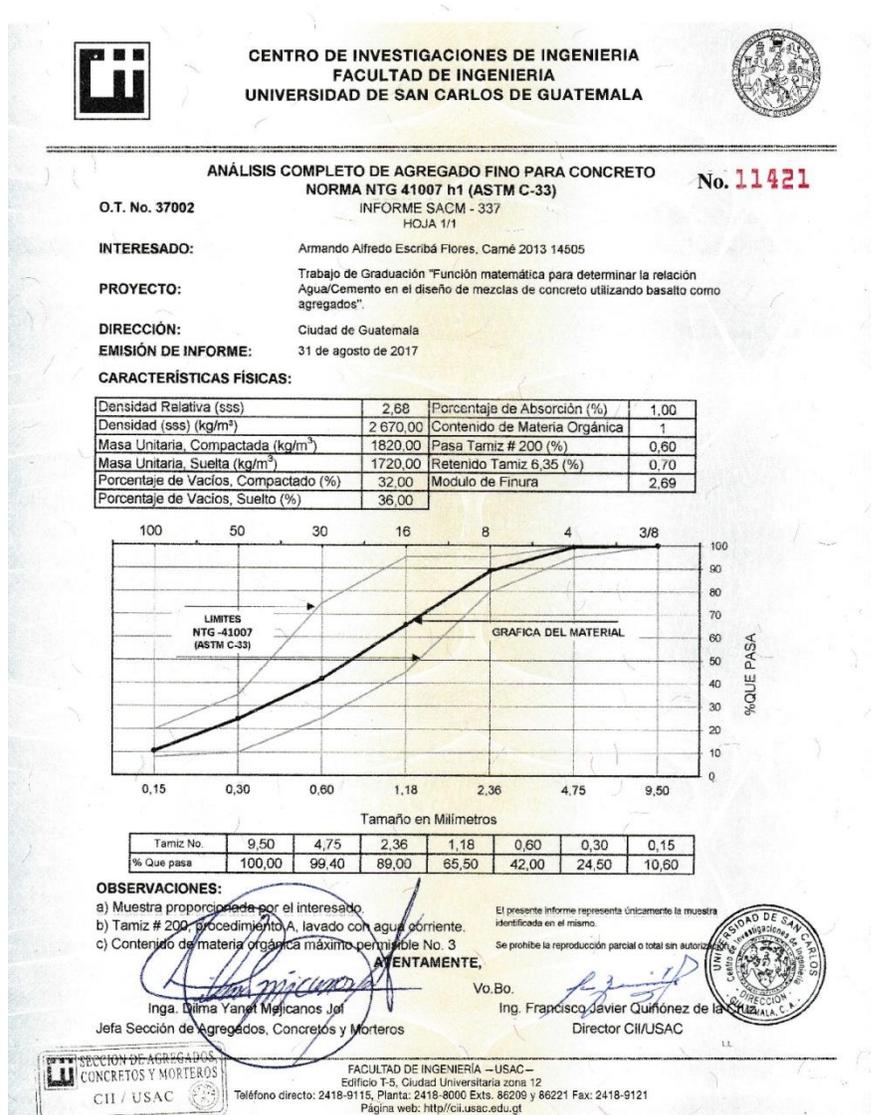
---



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—  
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Ext. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

### Anexo 3. Análisis completo para el agregado fino



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

## Anexo 4. Análisis completo para el agregado grueso



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO**  
NORMA NTG 41007 h1 (ASTM C-33)  
INFORME SACM - 338  
HOJA 1/1

**O.T. No. 37003**

**INTERESADO:** Armando Alfredo Escribá Flores, Carné: 2013 14505

**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Función matemática para determinar la relación Agua/Cemento en el diseño de mezclas de concreto utilizando basalto como agregados".

**DIRECCIÓN:** Ciudad de Guatemala.

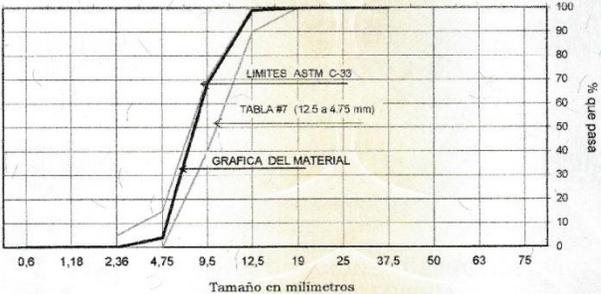
**EMISIÓN DE INFORME:** 31 de agosto de 2017

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:**

Densidad Relativa (sss)	2,68	Pasa Tamiz # 200 (%)	0,90
Densidad (sss) (kg/m <sup>3</sup> )	2 670,00	Porcentaje de Vacíos, Compactado (%)	48,00
Masa Unitaria, Compactada (kg/m <sup>3</sup> )	1 390,00	Porcentaje de Vacíos, Suelto (%)	51,00
Masa Unitaria, Suelta (kg/m <sup>3</sup> )	1 310,00	Modulo de Finura	6,28
Porcentaje de Absorción (%)	2,50	Pasa Tamiz 6,35 (%)	16,00

**No. 11422**

No.30	No.16	No.8	No.4	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
-------	-------	------	------	------	------	------	----	--------	----	--------	----



Tamaño en milímetros

Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16
% Que pasa	100,00	100,00	100,00	99,00	88,00	4,00	0,00	0,00

**OBSERVACIONES:**

a) Muestra proporcionada por el interesado.

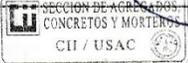
b) Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua corriente.

**ATENCIÓN,**

Este presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo y prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

Ing. Dilma Yanez Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo. Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz  
Director CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

## Anexo 5. Partículas planas y alargadas para el agregado grueso



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**ENSAYO DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS**  
NORMA NTG 41010 h12 (ASTM D-4791)

**No. 11423**

O.T. No. **37004** Informe SACM - 339

**INTERESADO:** Armando Alfredo Escribá Flores, Carné: 201314505

**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Función matemática para determinar la relación Agua/Cemento en el diseño de mezclas de concreto utilizando basalto como agregados".

**DIRECCIÓN:** Ciudad de Guatemala.

**EMISIÓN DE INFORME:** 31 de agosto de 2017

---

**RESULTADOS:**

Tamiz Retenido	PARTÍCULAS		CANTIDAD				PESO (gramos)			
	Cantidad	Peso (gr.)	Planas	Alargadas	Planas y alargadas	No planas ni alargadas	Planas	Alargadas	Planas y alargadas	No planas ni alargadas
1 1/2"	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1"	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3/4"	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1/2"	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3/8"	250.00	222.60	0.00	0.00	99.00	151.00	0.00	0.00	26.40	196.20
No. 4	250.00	362.80	0.00	0.00	160.00	90.00	0.00	0.00	215.50	147.30
Total	500.00	585.40								

Tamiz Retenido	Graduación por fracción	% Numerico				% POR PESO				% POR PESO REFERIDO A GRADUACION			
		Planas	Alargadas	Planas y alargadas	No planas ni alargadas	Planas	Alargadas	Planas y alargadas	No planas ni alargadas	Planas	Alargadas	Planas y Alargadas	No planas ni alargadas
1 1/2"	0,00	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1"	0,00	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3/4"	0,00	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1/2"	1,00	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3/8"	31,00	0,00	0,00	40,00	60,00	0,00	0,00	12,00	88,00	0,00	0,00	4,00	27,00
No. 4	64,00	0,00	0,00	64,00	36,00	0,00	0,00	59,00	41,00	0,00	0,00	38,00	26,00
Fondo	4,00									0,00	0,00	42,00	53,00
Total	100,00												

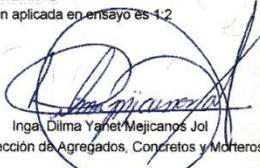
**OBSERVACIONES:**

a) Muestra proporcionada por el interesado

b) Método utilizado: B

c) La relación aplicada en ensayo es 1:2

ATENTAMENTE,



Inga Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz  
Director CII/USAC

SECCION DE AGREGADOS  
CONCRETOS Y MORTEROS  
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

LL

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 6. **Análisis de estabilidad volumétrica, frente al ataque de sulfato de sodio en el agregado fino**



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**INFORME DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN  
DEL AGREGADO FINO MEDIANTE EL USO DEL SULFATO DE SODIO** **No. 11425**  
**NORMA NTG 41010 h6 (ASTM C-88)**

O.T. No. 37006 INFORME SACM - 341

HOJA 1/1

**INTERESADO:** Armando Alfredo Escibá Flores, Carné 2013 14505

**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Función matemática para determinar la relación Agua/Cemento en el diseño de mezclas de concreto utilizando basalto como agregados".

**DIRECCIÓN:** Ciudad de Guatemala.

**EMISIÓN DE INFORME:** 31 de agosto de 2017

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Peso antes de ensayo (g)	Peso después de ensayo (g)	% de Desgaste	% Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
No. 100 (149 mm)		10,60				
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	13,90	100,00	89,20	10,80	1,501
No. 30 (596 mm)	No. 50 (297 mm)	17,50	100,00	95,20	3,80	0,665
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (596 mm)	23,50	100,00	96,60	3,40	0,799
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	23,50	100,00	95,60	4,40	1,034
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	10,40	100,00	94,90	5,10	0,530
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	0,60	-----	-----	5,10	0,031
<b>TOTALES</b>		100,00	-----	-----	-----	4,560

**OBSERVACIONES:**

- Muestra proporcionada por el interesado
- Solución utilizada: Sulfato de sodio.
- Muestra de material: Agregado fino.
- Resistencia a disgregación a los sulfatos, debe tener una pérdida promedio ponderada no mayor de 10%, según norma COGUANOR NTG 41007 (ASTM C-33).

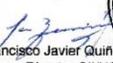
El presente informe representa únicamente las muestras identificadas en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

**ATENTAMENTE,**



Ing. Chima Yaret Mejicanos Jol  
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

Vo. Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñones Herra Cruz  
Director CII/USAC

SECCIÓN DE AGREGADOS  
CONCRETOS Y MORTEROS  
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA — USAC —  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 7. **Análisis de estabilidad volumétrica, frente al ataque de sulfato de sodio en el agregado grueso**



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD A LA DISGREGACIÓN DEL AGREGADO GRUESO MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO**

**NORMA NTG 41010 h6 (ASTM C - 88)**

INFORME SACM - 340  
HOJA 1/1

O.T. No. 37005

**INTERESADO:** Armando Alfredo Escribá Flores, Camé 2013 14505

**PROYECTO:** Trabajo de Graduación "Función matemática para determinar la relación Agua/Cemento en el diseño de mezclas de concreto utilizando basalto como agregados".

**DIRECCIÓN:** Ciudad de Guatemala.

**EMISIÓN DE INFORME:** 31 de agosto de 2017

**No. 11424**

---

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Peso antes del ensayo	Peso después del ensayo	% de Desgaste	% Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
2 1/2" (63.5 mm)	1 1/2" (38.1 mm)	-----	-----	-----	-----	-----
1 1/2" (38.1 mm)	3/4" (19.05 mm)	0,00	-----	-----	-----	-----
3/4" (19.05 mm)	3/8" ( 9.52 mm)	32,00	-----	-----	1,70	0,544
3/8" ( 9.52 mm)	No. 4 ( 4.76 mm)	64,00	300,00	294,90	1,70	1,088
	Fondo	4,00	-----	-----	1,70	0,068
<b>TOTALES</b>		100,00	-----	-----	-----	1,700

**OBSERVACIONES:**

- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) Solución utilizada: sulfato de sodio.
- c) Muestra material: Agregado grueso 3/8".
- d) Resistencia a disgregación a los sulfatos, debe tener una pérdida promedio ponderada no mayor de 10%, según Norma COGUANOR NTG 41007 ASTM C-33.

El presente informe representa únicamente para las muestras identificadas en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

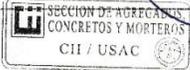


Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñonez de Guzmán  
Director CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA – USAC –  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

