



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

EFFECTO DEL PROCESO DE FRAGUADO DE CEMENTOS QUE SE
DISTRIBUYEN EN ECUADOR Y CÓMO INFLUYEN EN SU CALIDAD

GORDILLO PADILLA ALONSO MARCELO
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

EFFECTO DEL PROCESO DE FRAGUADO DE CEMENTOS QUE SE
DISTRIBUYEN EN ECUADOR Y CÓMO INFLUYEN EN SU
CALIDAD

GORDILLO PADILLA ALONSO MARCELO
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

EXAMEN COMPLEXIVO

EFFECTO DEL PROCESO DE FRAGUADO DE CEMENTOS QUE SE DISTRIBUYEN
EN ECUADOR Y CÓMO INFLUYEN EN SU CALIDAD

GORDILLO PADILLA ALONSO MARCELO
INGENIERO QUÍMICO

MARCHENO REVILLA JEFFERSON MICHAEL

MACHALA, 22 DE SEPTIEMBRE DE 2021

MACHALA
22 de septiembre de 2021

Efecto del proceso de fraguado de cementos que se distribuyen en Ecuador y cómo influyen en su calidad

por Alonso Marcelo Gordillo Padilla

Fecha de entrega: 29-sep-2021 04:39p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1660979759

Nombre del archivo: que_se_distribuyen_en_Ecuador_y_c_mo_influyen_en_su_calidad.docx (4.09M)

Total de palabras: 4770

Total de caracteres: 25167

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, GORDILLO PADILLA ALONSO MARCELO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Efecto del proceso de fraguado de cementos que se distribuyen en Ecuador y cómo influyen en su calidad, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

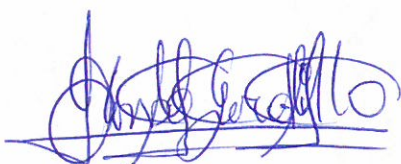
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 22 de septiembre de 2021



GORDILLO PADILLA ALONSO MARCELO
0705029189

DEDICATORIA

Con el corazón lleno de satisfacción dedico este logro a Dios, que ha sido mi guía y fortaleza para superarme día con día, a ser mejor y constante.

A mi querida madre Noemí Padilla, quien con su amor y motivación ha sido un pilar fundamental en mi vida para alcanzar mis metas y cumplir mis objetivos.

A mis queridos abuelitos, por inculcarme valores y principios para convertirme en un hombre de bien.

A mis amigos, con quienes compartí los mejores momentos de mi vida universitaria, los llevo en mi corazón.

Con todo el cariño que existe en mi corazón, este logro se lo dedico a todos quienes conformaron cada paso para llegar hasta donde estoy.

Alonso Gordillo Padilla

AGRADECIMIENTO

Con mi alma sumergida en felicidad agradezco a Dios por ayudarme a alcanzar esta tan anhelada meta.

Gracias a mi madre por ser la principal promotora de mis sueños, por su confianza y expectativas en mí, por desear y anhelar siempre lo mejor para mí.

A mis abuelitos por sus sabios consejos y enseñarme del infinito amor de Dios quien cada día bendice mi vida con la presencia de ellos.

Agradezco a mis amigos por enseñarme el verdadero significado de la amistad y trabajo en equipo.

A mis docentes, quienes me compartieron de su conocimiento y muy especialmente a mi tutor Jefferson Marcheno por su guía sustancial para culminar esta meta.

Alonso Gordillo Padilla

RESUMEN

En la presente investigación bibliográfica se analizó el efecto del fraguado en cementos distribuidos en el Ecuador y cómo influye esta propiedad en su calidad. El fraguado es la mezcla de agua y cemento, formando un fluido más o menos denso de acuerdo a la cantidad de agua que se agregue, comenzará a producirse la reacción química de hidratación, es exotérmica, es decir desprende gran cantidad de calor y el endurecimiento es la progresiva y lenta adquisición de resistencia a lo largo del tiempo.

En el Ecuador se distribuyen diversos tipos de cementos como son: Lafarge Holcim Ecuador, Industria Guapán, Cemento Chimborazo y Cemento Atenas, cementeras que fueron consideradas para el presente análisis. Se comprobó, que todas las cementeras mencionadas se encuentran reglamentariamente adecuadas, cumpliendo y superando los altos estándares de calidad conforme a la norma INEN 2380. Como resultados se obtuvo que Cemento Atenas posee mayores tiempos de fraguado de (251 y 303 min), en comparación a los demás. Por otro lado, Cementos Chimborazo alcanza mayor resistencia desde el primer día con 9Mpa y a sus 28 días, ya obtiene una resistencia a la compresión de 38 Mpa, superando a los demás cementos analizados.

Palabras claves: Cemento, fraguado, resistencia, reacción química y calidad.

ABSTRACT

In the present bibliographic research, the effect of setting in cements distributed in Ecuador and how this property influences its quality was analyzed. The setting is the mixture of water and cement, forming a more or less dense fluid according to the amount of water that is added, the chemical reaction of hydration will begin to occur, it is exothermic, that is, it gives off a large amount of heat and hardening it is the progressive and slow acquisition of resistance over time.

Various types of cements are distributed in Ecuador such as: Lafarge Holcim Ecuador, Industria Guapán, Cemento Chimborazo and Cemento Atenas, cement companies that were considered for this analysis. It was found that all the mentioned cement plants are legally adequate, meeting and exceeding the high quality standards in accordance with the INEN 2380 standard. As a result, it was obtained that Cemento Atenas has longer setting times of (251 and 303 min), in comparison to others. On the other hand, Cementos Chimborazo achieves greater resistance from the first day with 9Mpa and at 28 days, it already obtains a compressive strength of 38 Mpa, surpassing the other cements analyzed.

Keywords: Cement, setting, resistance, chemical reaction and quality.

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VII
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	9
Objetivo General	9
Objetivos Específicos	9
DESARROLLO	10
1. CEMENTO	10
1.1 Proceso de producción del cemento	11
1.2 Componentes del cemento	12
1.3 Propiedades del Cemento	14
1.4 Empresas Cementeras en el Ecuador	17
1.4.1 Lafarge Holcim Ecuador S.A.	17
1.4.2 UCEM, constituida por: Industria Guapán y Cemento Chimborazo	18
1.4.3 Cemento Atenas	20
METODOLOGÍA	21
2. Empresas Cementeras en el Ecuador	21
2.1 Lafarge Holcim Ecuador S.A.	21
2.3 Industria Guapán	22
2.4 Cementos Chimborazo	23
2.5 Cemento Atenas	24
RESULTADOS	25
CONCLUSIÓN	28
REFERENCIA	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Proceso de producción del cemento.....	12
Ilustración 2: Aguja de Vicat.....	17
Ilustración 4: Cementos Guapán S.A.	19
Ilustración 5: Cementos Chimborazo.	19
Ilustración 6: Cemento Atenas.....	20
Ilustración 7: Tiempo de fraguado de cementos distribuidos en Ecuador.....	26
Ilustración 8: Resistencia de cementos distribuidos en Ecuador	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Compuestos principales del Cemento.....	12
Tabla 2: Principales componentes químicos del cemento.	13
Tabla 3: Límites de las propiedades del cemento	14
Tabla 4: Requisitos y propiedades del Cemento Lafarge Holcim Ecuador S.A.....	21
Tabla 5: Requisitos y propiedades de Cementos Guapán	22
Tabla 6: Requisitos y propiedades de Cemento Chimborazo	23
Tabla 7: Requisitos y propiedades del Cemento Atenas	24
Tabla 8: Tipos de cementos que se encuentran en el Ecuador.....	25

INTRODUCCIÓN

La industria del cemento está firmemente asociada con el sector de la construcción, el cual representa uno de los sectores más activos en lo concerniente a la economía del país. En los últimos años la industria cementera ha tenido gran apogeo, destacándose el hecho de mayor relevancia en su historia en el 2013, obteniendo 6.6 millones de toneladas¹, se produjo a causa de la denominada burbuja inmobiliaria, que tuvo efecto desde 2009 hasta 2013 debido a la construcción de diversas edificaciones en todo el Ecuador, para brindar hogares a las familias de escasos recursos económicos, lo cual generó como consecuencia una mayor demanda de energía eléctrica².

En el 2015, conforme al Instituto Ecuatoriano del Cemento y Hormigón, la multinacional Holcim Ecuador S.A. se consolidó como la principal empresa cementera líder en todo el país, con una intervención destacada del 58,7 % en mercados nacionales, ubicándose en segunda instancia la UNACEM (Unión Andina de Cementos), con un 23.6% y en última instancia se encuentra la UCEM (Unión Cementera Nacional), se conforma por Cementos Guapán S.A y Cementos Chimborazo, con el 17.9³.

El cemento es el principal elemento para la construcción, por lo tanto, su calidad debe ser idónea. Para ello se evalúan diversas propiedades, donde la que posee mayor relevancia es la de fraguado porque permite obtener un producto totalmente rígido y resistente, brindando confianza al consumidor, siendo un factor indispensable para determinar la calidad del cemento⁴.

Para obtener un cemento de calidad, se requiere de silicato de calcio hidratado ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), el cuál brinda dureza a la mezcla y características adhesivas. Una de las propiedades más importantes que requiere analizar es el fraguado del cemento, propiedad que permite obtener un producto de consistencia adecuada con mayor rigidez y resistencia, para ello se utiliza un equipo llamado Vicat, mide la consistencia y el tiempo de fraguado.

Por lo tanto, el siguiente trabajo tiene como finalidad examinar el proceso de fraguado en cementos que se distribuyen en el Ecuador, conocer cómo influye esta propiedad en su calidad y comparar los tipos de cementos que existen en el mercado ecuatoriano.

OBJETIVOS

Objetivo General

Examinar el proceso de fraguado en el cemento ecuatoriano y caracterización de los mismos, mediante la investigación bibliográfica para identificar cómo influye esta propiedad en su calidad.

Objetivos Específicos

- Analizar la composición y características de los cementos que se distribuyen en el Ecuador de acuerdo a las normas establecidas.
- Definir el proceso de fraguado en el cemento y cómo influye en su calidad.
- Contrastar los diferentes tipos de cemento que se encuentran en el mercado ecuatoriano.

DESARROLLO

1. CEMENTO

El cemento, es la base fundamental para la construcción y en la actualidad la más indispensable para la fabricación de concreto y derivados utilizados en la construcción. Este producto es un material conglomerante hidráulico⁵, que se obtiene a partir de la mezcla de caliza (CaCO_3), arcilla ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y agregados, al unirse con el agua originan una pasta que se endurece y fragua, permitiendo obtener un producto resistente y rígido.

De acuerdo a la NORMA NTE INEN 1504 Cementos (2017). Aditivos de proceso, se establecen los siguientes tipos de cementos⁶:

- a) **Cemento Portland:** es un conglomerado utilizado en la construcción para fabricar concreto, posee propiedades mecánicas esenciales de endurecimiento⁷. Este producto se obtiene a partir de la pulverización del Clinker, es decir compuesto de silicatos hidráulicos. El Clinker se obtiene mediante la mezcla de caliza (CaCO_3) y arcillas ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), posteriormente es fundido y luego es enfriado. Este cemento presenta un color verdoso y de aspecto fino, al incorporarse con agua se vuelve maleable, y para el posterior fraguado va adquiriendo propiedades idóneas de durabilidad y alta resistencia⁸.

Es el más empleado a nivel mundial debido a que sus componentes están presentes en todo el mundo, tiene gran capacidad de adherencia y permite fabricar morteros y hormigón.

- b) **Cementos Hidráulicos:** se obtiene mediante pulverización del Clinker frío a un grado de finura establecido al mismo que se le agrega sulfato de calcio natural, se caracteriza principalmente porque posee la propiedad de que al incorporarse el agua fragua solo o en mezcla con arena, grava asbesto u otros aditivos, adquiriendo resistencia, endurecimiento y estabilidad incluso en el agua⁸.

De acuerdo a la NTE INEN 2380:2011 de Cemento Hidráulico se establecen los siguientes tipos de cementos:

- Tipo GU, destinado a la construcción general.
- Tipo HE, elevada resistencia inicial.

- Tipo MS, resistencia a los sulfatos intermedia.
 - Tipo HS, elevada resistencia a los sulfatos.
 - Tipo MH, calor de hidratación intermedio.
 - Tipo LH, calor de hidratación inferior o bajo.
- c) **Cementos Hidráulicos Compuestos:** se componen básicamente por una mezcla de Clinker de cemento portland, sulfato de calcio (yeso) y adiciones, mismos que se forman debido al proceso de molienda conjunta de los constituyentes o bien a causa de la mezcla entre los componentes que se han molido finamente. Se caracterizan por su uso en la fabricación de concretos y morteros, estos necesitan una mejora en su durabilidad, resistencia y capacidad de retención de agua⁹.
- d) **Cementos Hidráulicos Expansivos:** se caracterizan por expandirse levemente a medida que empieza el periodo de endurecimiento, proceso posterior al fraguado. Hoy en día se consideran tres tipos de cementos expansivos, denominados: K, M y S, mismas que se agregan como sufijo al tipo. Como es el caso de:
- El tipo E-1 (K), en su composición posee cemento portland, trisulfatoaluminato tetra cálcico, sulfato de calcio y óxido de calcio no combinado. Se componen principalmente de sulfatos y aluminatos.
 - El tipo E-1 (M), se compone de cemento portland de aluminato de calcio y sulfato de calcio.
 - El tipo E-1 (S), posee una mezcla de sulfato de calcio y cemento portland con un elevado contenido de aluminato tricálcico¹⁰.

1.1 Proceso de producción del cemento

La producción del cemento se realiza mediante tres etapas esenciales, en primera instancia se efectúa la explotación de las materias primas en las canteras de piedra caliza y arcilla, posteriormente se realiza la homogeneización y premolienda de los elementos principales. En los últimos años, diversos países emplean la piedra caliza natural para fabricar cemento, misma que se compone de 98.5% de CaCO_3 y 1.5% de MgCO_3 .

Continuando, con la segunda etapa, luego que las materias primas han sido previamente preparadas son llevadas a un horno rotatorio, donde se lleva a cabo la descomposición térmica de la caliza (CaCO_3) + calor = CO_2 + CaO mediante la intervención de carbón,

el cual, es el más empleado como combustible fósil. A continuación, se realiza el conveniente aporte de energía para alcanzar temperaturas superiores a 1450 °C con la finalidad de obtener el Clinker. Y como última etapa, está el enfriamiento a una temperatura aproximada de 90 °C se añaden coadyuvantes como: el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), permitiendo obtener el producto terminado, el cemento¹¹.

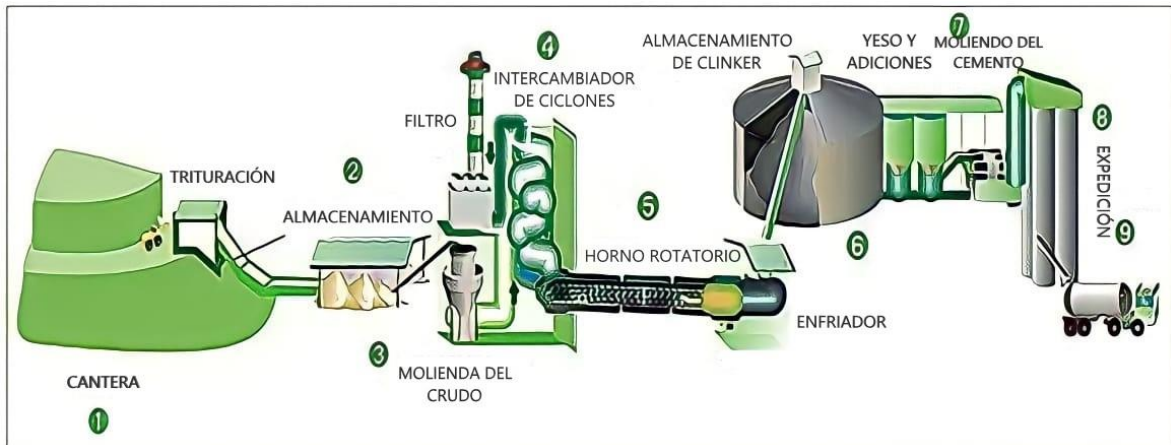


Ilustración 1: Proceso de producción del cemento⁸.

1.2 Componentes del cemento

Como principales materias primas utilizadas para la producción de cemento están:

Tabla 1: Compuestos principales del Cemento.

Materias primas	
Materiales calcáreos	Calizas o cretas, margas, aragonita, calcita, mármol, coquilla, desechos industriales, etc.
Materiales arcillosos	Sílice SiO_2 Arcillas, pizarras esquisto, silicato de calcio, roca calcárea, ceniza volante, greda, loes, cuarcita, arena, arenisca, escoria, basalto, etc.
	Alúmina Al_2O_3 Mineral de aluminio, bauxita, escoria de cobre, greda, granodiorita, caliza, esquisto, escoria, estaurólita, etc.
Minerales de hierro	Óxido férrico, costras de laminado, cenizas de pirita, levaduras de mineral, etc.
Yeso	Anhidrita y Sulfato de calcio

Fuente: Elaboración propia con referencias obtenidas de¹⁰.

Es fundamental que los materiales calcáreos tengan entre 60 y 80% de carbonato de calcio y 1.5% de magnesia. Por otro lado, los arcillosos deben contener 60 y 70% de sílice.

Entre los principales componentes químicos del cemento se destacan:

Tabla 2: Principales componentes químicos del cemento.

Compuestos	Fórmula	Abreviatura	Porcentaje (%)
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	30-50
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	15-30
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	4-12
Ferro aluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	8-13

90-95

Fuente: Elaboración propia, con referencia obtenidas de⁸.

El silicato tricálcico es el componen más esencial para la fabricación del cemento, representa el 50-70% del Clinker, se caracteriza por la notable velocidad de hidratación, en las primeras etapas adquiere rápido endurecimiento y resistencia¹².

El silicato dicálcico, se sitúa como el segundo compuesto de mayor relevancia, representa el 15-30% del Clinker, a pesar de presentar un tardío endurecimiento e hidratación, contribuye con altas resistencias a largo plazo¹².

El aluminato tricálcico tiene una violenta velocidad de hidratación, razón por la cual, se debe implementar un regulador de fraguado, debido a que fragua inmediatamente, desprendiendo hidratación comprendida en 207 cal/gr. Constituye con el 5-10% del Clinker, además brinda una mínima resistencia mecánica, breve resistencia al ataque de sulfatos y ataques químicos.

El ferro aluminato tetracálcico, participa con el 5-15% del Clinker, posee una velocidad de hidratación de 100cal/gr, es quien da el color verde-grisáceo al cemento, este compuesto no contribuye a la resistencia¹³.

1.3 Propiedades del Cemento

De acuerdo a la NORMA NTE INEN 1504 Cementos. (2017), Aditivos de proceso, se establecen límites de las propiedades del cemento⁶.

Tabla 3: Límites de las propiedades del cemento

Propiedades del cemento	Límites
Consistencia normal (porcentaje de agua por masa de cemento)	- el cemento con aditivo no debe exceder de 1,0 del cemento de control; - de no considerarse la cantidad de agua tal como indica NTE INEN 488, el cemento con aditivo no debe ser mayor de 2,0 de la consistencia normal del cemento de control.
Tiempo de fraguado	Cemento con aditivo no debe exceder de 1 hora o el 50 % del cemento de control.
Expansión en autoclave (porcentaje de cambio de longitud)	Cemento con aditivo no debe exceder en 0,1 del cemento de control.
Resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista	De acuerdo con NTE INEN 488, donde: - deben ser hechos y ensayados el mismo día; - el tiempo de curado debe ser de 24 horas y deben estar en las mismas condiciones en el área de almacenamiento; y - el promedio de los porcentajes de la resistencia a la compresión del cemento con aditivo no debe ser menor al 95 % de la resistencia a la compresión del cemento de control.
Contracción por secado (%)	De acuerdo con NTE INEN 1508, el cemento con aditivo no debe ser mayor de 0,025 del cemento de control.
Resistencia a la compresión	El promedio total de los porcentajes de la resistencia a la compresión del cemento con aditivo no debe ser menor que el 90 % de la resistencia del cemento de control, estos cementos deben tener edades similares.
Resistencia a la flexión	El promedio total de los porcentajes de la resistencia flexión del cemento con aditivo no debe ser menor que el 90 % de la resistencia del cemento de control. Estos cementos deben tener edades similares.
Contenido de aire en morteros	Se debe tener un contenido de aire de 19 % \pm 3 % de acuerdo al método de ensayo en NTE INEN 195. El cemento con aditivo no debe ser mayor de 120 % \pm 1 % del contenido de aire en el cemento de control; de acuerdo con los requisitos de ASTM C226.

Fuente: Tomado de⁶

- La densidad o consistencia normal es el vínculo que existe entre la masa del cemento y el volumen que esta desplaza en un recipiente, el análisis se puede realizar

empleando dos métodos como son: método del frasco de Le Chatelier o con el método del picnómetro⁸.

La fórmula para el cálculo de la densidad es:

$$\rho = \frac{\text{Masa del cemento (gr)}}{\text{Volumen desplazado (ml)}}$$

- Finura, se expresa mediante superficie específica (m^2/kg), hace referencia al grado de molienda que debe tener el polvo, es decir mientras más fino sea el cemento mayor resistencia va a tener, por otro lado, el calor de hidratación también se elevara y con ello cambios en el volumen. De acuerdo a la NORMA NTE INEN 1504 Cementos. (2017), Aditivos de proceso, las muestras de cemento deben ser de una finura apropiada para el turbidímetro ($\pm 7\text{m}^2/\text{kg}$) o en el permeabilímetro ($\pm 13\text{m}^2/\text{kg}$).

Para el análisis de la finura se utilizan métodos como:

- ✓ Tamizado: seco y húmedo
 - ✓ Método de Blaine: utiliza un aparato de permeabilidad llamado Blaine sea manual o automatizado
- Fraguado, cuando se mezcla el cemento con agua, se produce una reacción química de hidratación, donde el cemento se va transformando en otros componentes que van solidificando paulatinamente.

El fraguado es el paso de la masa del estado plástico al estado sólido, cuando se mezcla el agua y el cemento se forma un fluido más o menos denso de acuerdo a la cantidad de agua que se agregue y comenzará a producirse la reacción química de hidratación. Se dice que está fraguando cuando la masa líquida ha empezado a plastificarse es entonces donde ha comenzado el fraguado y se dice que ha terminado el fraguado cuando la masa pasa a estado sólido sin resistencia o muy poca, la reacción química es exotérmica, es decir desprende gran cantidad de calor y el endurecimiento es la progresiva y lenta adquisición de resistencia a lo largo del tiempo. El cemento una vez fraguado, compuesto principalmente de silicatos cálcicos hidratados complejos ($5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) denominados termorita (compuesto que aporta al cemento solidez, durabilidad y resistencia mecánica) y además de otros compuestos minoritarios.

Todo cemento debe tener un principio de fraguado determinado en función de la resistencia de ese cemento, la clase resistente debe ser de 45, 60 o 75 minutos el tiempo que debe estar el cemento una vez amasado sin empezar a fraguar, posteriormente comienza fraguar y el tiempo final de fraguado será antes de las 12 horas, después de medido el tiempo de que se empezó a amasar el cemento con agua. Para la determinación del tiempo de fraguado del cemento, se observa la penetración de una aguja de un aparato; que es la aguja de Vicat, (aparato utilizado para el análisis y determinación del tiempo de fraguado, y la consistencia normal del cemento¹⁴) en una pasta de consistencia normal, y deben estar preparadas conforme lo especificado en la normativa vigente NTE INEN 157 (2009)¹⁵ sujeta a las normas ASTM, para el proceso se realizan penetraciones constantes con la aguja de Vicat de 1mm de diámetro sobre la pasta de cemento. El tiempo de fraguado inicial comienza desde la mezcla de agua y cemento y se determina con la penetración medida de 25 mm en la aguja hasta 1 minuto aproximadamente.

Fórmula del tiempo de fraguado inicial:

$$\left[\left(\frac{H - E}{C - D} \right) * (C - 25) \right] + E$$

Donde:

H: tiempo en min de la primera penetración menor que 25 mm.

E: tiempo en min de la última penetración mayor que 25 mm.

C: lectura de penetración al tiempo E.

D: lectura de penetración al tiempo H.

El tiempo de fraguado final se establece con el tiempo transcurrido desde la mezcla de agua con cemento, y el lapso de tiempo en el que la aguja ya no deja huella en la pasta endurecida, llegando a una aproximación de 5 mm, tomando este dato como el tiempo de fraguado final.



Ilustración 2: Aguja de Vicat¹⁴

- Consistencia normal, esta propiedad se determina de acuerdo a la resistencia que presenta la pasta de cemento ante la penetración de la aguja de Vicat en condiciones de un tiempo normalizado.

1.4 Empresas Cementeras en el Ecuador

Desde el 2014 el mercado ecuatoriano de cemento se encuentra constituido por tres empresas como son: LafargeHolcim Ecuador S.A, UNACEM (Unión Andina de Cementos) y UCEM (Unión cementera nacional), donde varias de estas empresas son producto de fusiones e inclusive adquisiciones.

1.4.1 Lafarge Holcim Ecuador S.A

Es la empresa líder en abastecimiento de productos de cemento, Clinker, hormigón, concreto y agregados, con presencia en más de 90 países. Fue constituida en 1912 de acuerdo a las leyes suizas. En 2015 se fusiono con la compañía francesa Lafarge.

Holcim Ecuador produce una gran variedad de cementos de acuerdo a las normativas vigentes establecidas como es la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380 la cual está sujeta a la norma ASTM C1157. Cabe destacar que el cemento Holcim Fuerte Tipo GU es el que tiene mayor relevancia en el sector económico ya que es el más utilizado para la construcción en general.

Como consecuencia de una adecuada formulación, los cementos Holcim Fuerte Tipo GU, ofrece un producto con altos estándares de calidad, permitiendo fabricar hormigones con las resistencias necesarias para la construcción que se desea realizar.

Este cemento presenta una gran característica amigable con el medio ambiente, debido a que los cementos adicionados en la norma NTE INEN 2380 procuran reducir las emisiones de CO2 hasta un 35% a diferencia de otros cementos¹⁶.



Ilustración 3: Holcim Ecuador S.A¹⁶

1.4.2 UCEM, constituida por: Industria Guapán y Cemento Chimborazo

- **Industria Guapán**

Es una compañía nacida a finales del 2013, dedicada a la producción y comercialización de cemento, como el tipo hidráulico GU, lleva más de 50 años en el mercado ecuatoriano. Situada en provincias como Cañar, Azuay y Loja.

El cemento tipo GU, de uso general, se acopla estrictamente a la Norma Técnica INEN 2380, aplica tecnologías innovadoras amigables con el medio ambiente, porque contribuyen a minimizar la emisión de gases de efecto invernadero. Se fabrica bajo altos estándares de calidad para todo tipo construcción. Cementos Guapos son elaborados con Clinker sulfato de calcio y adiciones minerales, constituyentes idóneos para producir un cemento de alta calidad¹⁷.



Ilustración 4: Cementos Guapán S.A.¹⁷.

- **Cemento Chimborazo**

Se ubica en la provincia de Chimborazo, fabrica y comercializa cementos portland Tipo II que distribuye a granel y cemento industrial de alta resistencia inicial Tipo HE, se caracteriza por aplicar tecnologías preventivas con el ambiente ya que minimiza el impacto ambiental producto de los gases de efecto invernadero. Este tipo de cemento hidráulico acata normas como la INEN 2380 y la ISO 9001, asegurando y garantizando la adquisición de un producto de alta calidad¹⁸.

Su fabricación resulta de una mezcla de Clinker, sulfato de calcio y adiciones minerales que realizan su proceso de producción para obtener un cemento de alta fineza, además permite contribuir resistencia al concreto expuesto a la acción del medio ambiente.



Ilustración 5: Cementos Chimborazo¹⁸.

1.4.3 Cemento Atenas

Cemento Atenas, nace en 2011 localizándose en la ciudad de Cuenca, es una empresa del Grupo Industrial Graiman, se dedica a la fabricación de áridos, morteros y cementos hidráulicos Tipo GU empleados para todo tipo de construcción, utilizan tecnologías europeas de última generación, sus productos son de alta calidad, resistencia y sostenibilidad.

La elaboración de cementos Atenas se realiza mediante procesos de producción tecnificados y amigables con el ambiente. Estos cementos cumplen con la normativa INEN 2380 en conformidad con la ASTM C1157, tiene como objetivo el desempeño de cementos hidráulicos¹⁹.



Ilustración 6: Cemento Atenas.

METODOLOGÍA

Los tipos de cementos que se distribuyen en el Ecuador presentan propiedades que les brinda características idóneas para su comercialización. Siendo la principal el tiempo de fraguado, a continuación, se establece las propiedades esenciales para obtener un producto de excelente calidad:

2. Empresas Cementeras en el Ecuador

2.1 Lafarge Holcim Ecuador S.A

Tabla 4: Requisitos y propiedades del Cemento LafargeHolcim Ecuador S.A

	INEN 2380	Valor referencial
Cambio de longitud por autoclave,% máximo	0.80	-0.06
Tiempo de fraguado inicial, método Vicat		
No menos de, minutos	45	190
No más de, minutos	420	
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	
Resistencia a la compresión, MPa, minuto		
1 día. min	A	9
3 días. min	13	17
7 días. min	20	22
28 días. min	28	31
Expansión en barras de mortero 14 días, %máx.	0.020	0.002

Fuente: Elaboración propia con valores tomados de¹⁶

De acuerdo a lo establecido en la ficha técnica de la Cementera Lafarge Holcim Ecuador S.A, se puede constatar que este producto supera los estándares de calidad indicados por la norma INEN 2380. En la tabla 4, se observa los tiempos de fraguado que, al tener valor de 190 min, se comprueba que no está a menos de 45 min y tampoco a más de 420 min. En cuanto a la resistencia de compresión se establecen valores elevados de 17 min y 31 min, entre el día 3 y 28. Por lo tanto, es un indicador de la alta calidad que presenta el cemento Lafarge Holcim.

2.3 Industria Guapán

Tabla 5: Requisitos y propiedades de Cementos Guapán

	INEN 2380	Valor referencial
Cambio de longitud por autoclave,% máximo	0.80	0.0030
Tiempo de fraguado, método Vicat		
Tiempo de fraguado inicial. No menos de, minutos	45	145-165
Tiempo de fraguado final. No más de, minutos	420	190-210
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	
Resistencia a la compresión, MPa, minuto		
1 día	A	-
3 días	13	15-17
7 días	20	20.7-22.4
28 días	28	29.2-31
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.020	0.026

Fuente: Elaboración propia con valores tomados de¹⁷

Cementos Guapan mediante su ficha técnica presenta propiedades óptimas de fraguado y resistencia a la compresión, observándose valores de fraguado inicial de 145-165 min y fraguado final de 190-210 min, superando los estándares establecidos por la norma 2380, de igual manera con la resistencia a la compresión presentan valores que superan en un 30% a los indicados por la norma establecida. Garantizando un producto confiable y de calidad al cliente.

2.4 Cementos Chimborazo

Tabla 6: Requisitos y propiedades de Cemento Chimborazo

	INEN 2380	Valor referencial
Cambio de longitud por autoclave,% máximo	0.80	0.00120 a 0.0390
Tiempo de fraguado, método Vicat		
Tiempo de fraguado inicial. No menos de, minutos	45	110-140
Tiempo de fraguado final. No más de, minutos	420	190-210
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	
Resistencia a la compresión, MPa, minuto		
1 día. min	A	14-16
3 días. min	13	24 a 26
7 días. min	20	28 a 31
28 días. min	28	32 a 38
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.020	0.026

Fuente: Elaboración propia con valores tomados de¹⁸

Cemento Chimborazo, ofrece un producto de alta calidad, cumple y supera los estándares indicados por la norma INEN 2380, como se observa en la Tabla 6, los tiempos de fraguado tanto inicial como final son superiores alcanzando tiempo inicial de fraguado de 110-140 y 190 a 210 min, tiempo de fraguado final. Por otro lado, la resistencia a la compresión supera en 40% al tiempo de 1 día y en 20% a los 3 días. Lo que permite ofrecer al consumidor un producto confiable y de calidad.

2.5 Cemento Atenas

Tabla 7: Requisitos y propiedades del Cemento Atenas

	INEN 2380	Valor referencial
Cambio de longitud por autoclave,% máximo	0.80	-0.05
Tiempo de fraguado, método Vicat		
Tiempo de fraguado inicial. No menos de, minutos	45	251
Tiempo de fraguado final. No más de, minutos	420	303
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	7.50
Resistencia a la compresión, MPa, minuto		
1 día. min	A	-
3 días. min	13	14.2
7 días. min	20	21
28 días. min	28	32 a 38
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.020	0.011

Fuente: Elaboración propia con valores tomados de¹⁹

Cemento Atenas, ofrece un producto evidentemente eficaz con propiedades óptimas como los tiempos de fraguado inicial y final de 251 y 303 min, mismo que no son menos a 45 min y no más de 420 min. De acuerdo a la resistencia a la compresión se visualiza que alcanza resistencia notable a los 3 días. Los valores demostrados superan los establecidos por la norma INEN 2380.

RESULTADOS

A continuación, se establecen los resultados obtenidos de las diferencias encontradas entre los tipos de cementos que se distribuyen en el mercado ecuatoriano.

Tabla 8: Tipos de cementos que se encuentran en el Ecuador

	LafargeHolcim	Cemento Guapán	Cemento Chimborazo	Cemento Atenas
Fraguado inicial	190	145-165	110-140	251
Fraguado final		190-210	190-240	303
Expansión en barra de mortero %	0,002	0,026	0,026	0,011
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	3	-	-	7,5
Resistencia 1 días. Min	9	-	14-16	-
Resistencia 3 días. Min	17	15-17	24-26	14,2
Resistencia 7 días. Min	22	20,7-22,4	28-31	21
Resistencia 28 días. Min	31	29,2-31	32-38	29,3

Fuente: Elaboración propia

Los tipos cementos que se distribuyen en el Ecuador, presentan una excelente calidad, tienen condiciones óptimas, Todos cumplen con la norma INEN 2380, donde se establecen parámetros y requisitos que deben cumplir el cemento. Se expone la propiedad pilar en la investigación, fraguado o tiempos de fraguado favorables, que ejercen gran efecto en el producto, porque se logra obtener un cemento de alta calidad con resistencia y durabilidad. Sin embargo, es evidente destacar que los tiempos de fraguado difieren, destacándose el cemento La farge Holcim con un tiempo inicial y final de 190 min, siendo un valor más óptimo de fraguado. Sin embargo, cemento Atenas presenta mayores tiempos de fraguado de 251-303 min, lo cual no interfiere en su calidad. Por otro lado, cemento Chimborazo supera a los demás cementos en cuestión a la resistencia de compresión al cabo de 1 día.

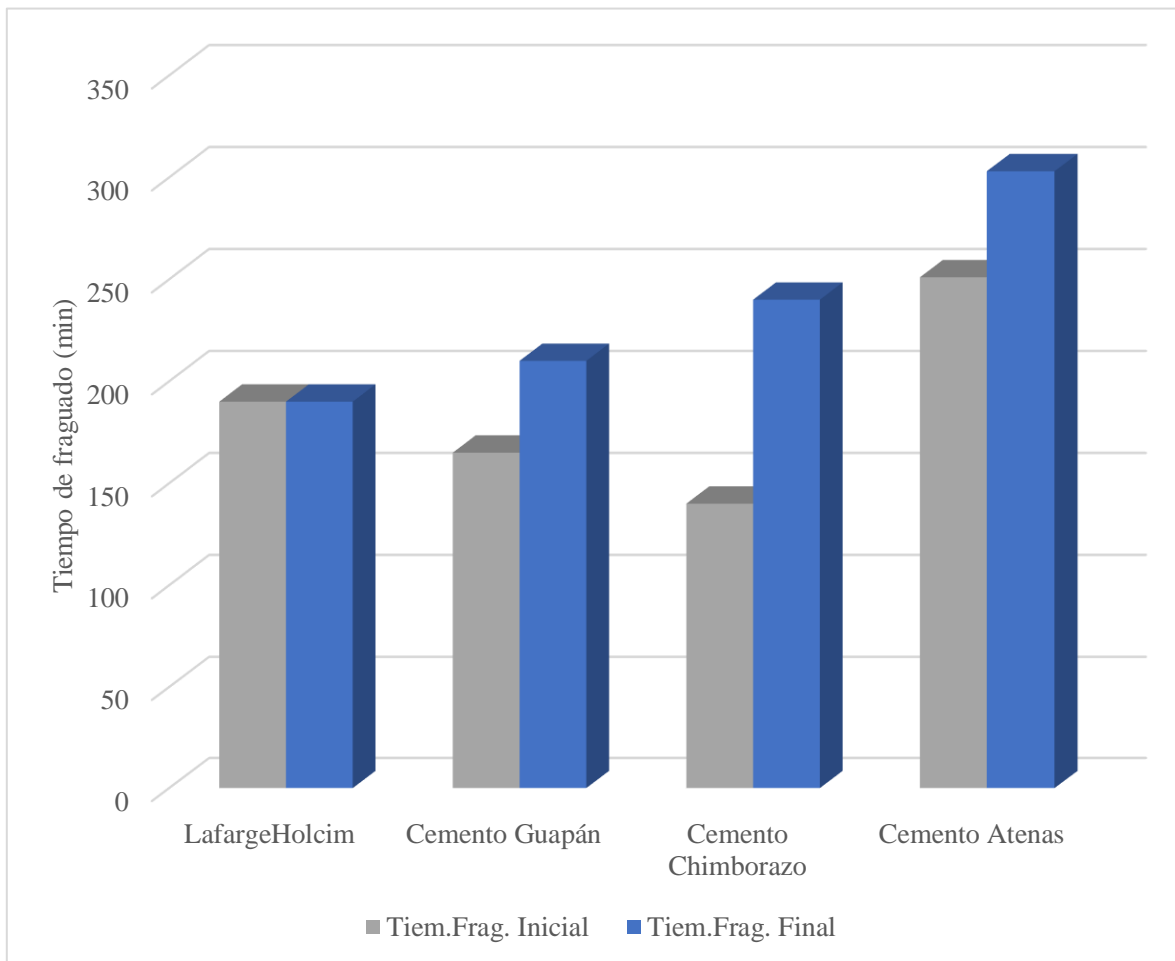


Ilustración 7: Tiempo de fraguado de cementos distribuidos en Ecuador.

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 7, se puede observar los tiempos de fraguado inicial y final de los diferentes tipos de cementos que se distribuyen en el Ecuador, y se puede evidenciar que Cemento Atenas posee mayores tiempos de fraguado de (251 y 303 min), en comparación a los demás, sin embargo, todos los cementos descritos se encuentran bajos los lineamientos establecidos por la Norma INEN 2380.

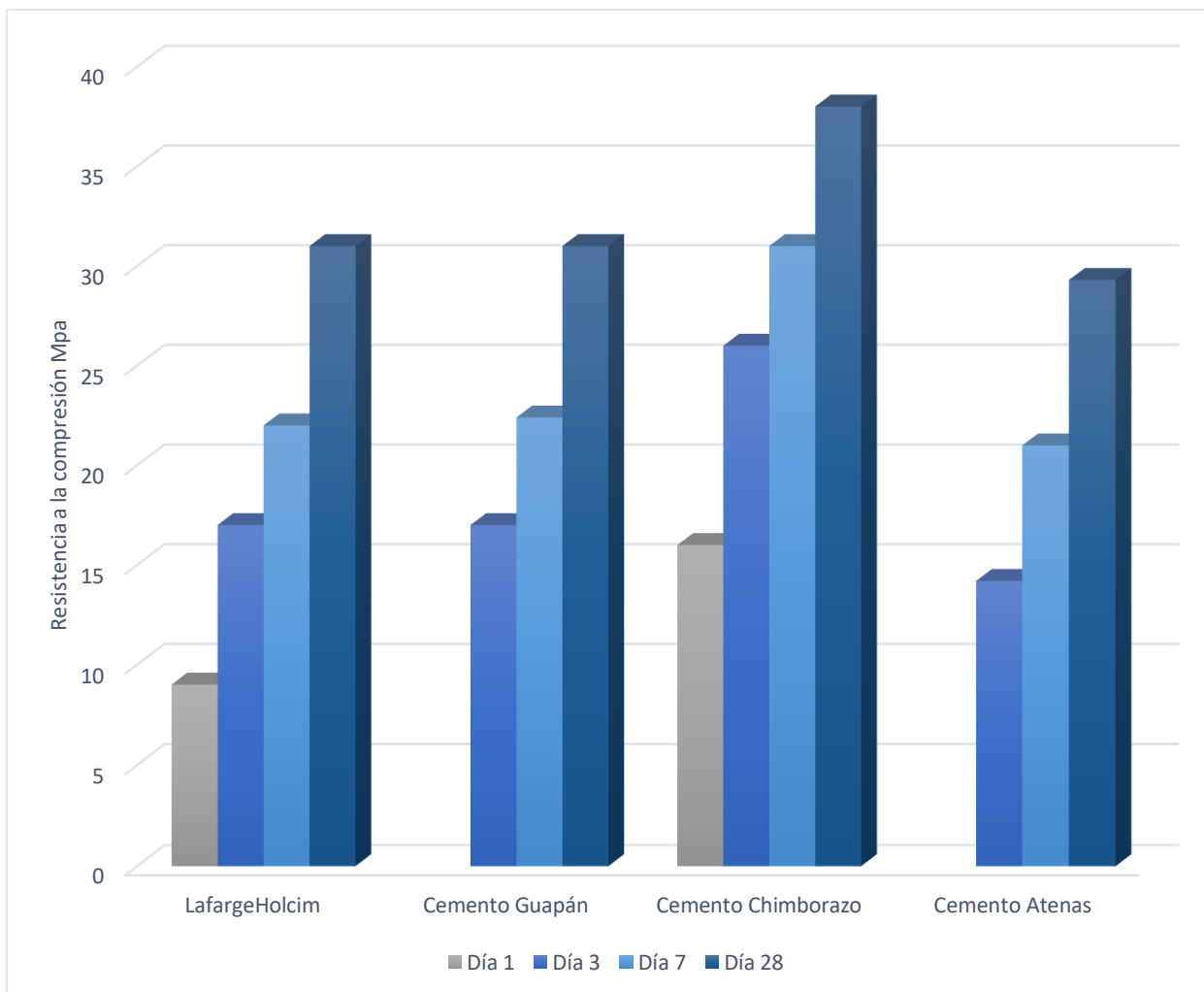


Ilustración 8: Resistencia de cementos distribuidos en Ecuador
Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la ilustración 8, es posible identificar representación de la resistencia a la compresión que poseen los diferentes tipos de cementos que se distribuyen en el Ecuador, lográndose constatar que Cementos Chimborazo alcanza mayor resistencia desde el primer día con 9Mpa y a sus 28 días, ya obtiene una resistencia a la compresión de 38 Mpa, superando a los demás cementos analizados, sin embargo, es esencial mencionar que todos los cementos descritos se encuentran cumpliendo los estándares de calidad de acuerdo a la norma INEN 2380. Permitiendo demostrar que las variedades de cementos son garantizadas y de excelente calidad.

CONCLUSIÓN

- La industria cementera emplea componentes esenciales como: piedra caliza, arcillas, silicatos tricálcicos, dicálcico y aquellos minerales de hierro que brindan propiedades óptimas de durabilidad, rigidez, y endurecimiento para obtener un producto en óptimas condiciones, garantizando confiabilidad al consumidor.
- Los diferentes cementos distribuidos en Ecuador se obtienen luego de un arduo proceso de calcinación de todos los componentes, se consideran los tiempos de fraguado, como una propiedad indispensable, permite identificar el momento donde la pasta de cemento ha alcanzado la consistencia y endurecimiento adecuado, para ello se comparó los resultados obtenidos de cada cementera como: La farge Holcim Ecuador S.A, Industria Guapán, Cemento Chimborazo y Cemento Atenas, con los valores establecidos por la norma INEN 2380.
- Mediante la investigación realizada se comprueba que los cementos distribuidos en el Ecuador, cumplen y superan los estándares de calidad indicados en la norma INEN 2380. Se pudo identificar que cemento Atenas posee mayores tiempos de fraguado en comparación con los demás cementos evaluados, sin embargo, continua bajo los valores establecidos por la normativa vigente mencionada.

REFERENCIA

- (1) *Maigua, W. "Estudio Del Proceso de Molienda y El Consumo Energético, de La Empresa de Cemento Holcim Ecuador-Planta Latacunga", Universidad Tecnológica Indoamérica, 2019.*
- (2) *Abdalla, K., Berdellans, L., Contreras, M., García, A., Gómez, Y., Henríquez, V.; B. Cuba: A Country Profile on Sustainable Energy Development, INTERNATIO.; 2018.*
- (3) *Conducta, L. A.; Adolescentes, S. D. E. L. O. S.; Psico-sociales, D.; Mundial, E.; Para, D. E. S.; La, E. D. E. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador Facultad de Medicina. 2020, 1–97.*
- (4) *Mendoza, M. Análisis Del Concreto Sin Cemento. 2019, No. December.*
- (5) *Camargo Pérez, N. R.; Higuera Sandoval, C. H. Concreto Hidráulico Modificado Con Sílice Obtenida de La Cascarilla Del Arroz. Cienc. e Ing. Neogranadina 2017, 27 (1), 91–109. <https://doi.org/10.18359/rcin.1907>.*
- (6) *NTE INEN 1504, 2017. Cementos. Aditivos De Proceso. Requisitos Y Métodos De Ensayo. Nte Inen 1504 2017.*
- (7) *Cabello, S.; Campuzano, L.; Espinoza, J.; Sanchez, C. Concreto Poroso: Constitución, Variables Influyentes y Protocolos Para Su Caracterización. Cumbres 2015, 7.*
- (8) *Salcedo, V. Estudio de Las Propiedades Físicas de Zeolita Natural (Aluminosilicato) de Tipo Clinoptilolita Para Reemplazo Parcial Del Cemento Portland, Universidad Técnica de Ambato, 2021.*
- (9) *H. Bolognini, N.; Martínez, O.; Rincón, T. de. Caracterización Química y Físico-Mecánica de Cementos Adicionados de Filer Calizo En Venezuela. Alconpat 2017, 7 (Maio-Agosto), 186–199.*
- (10) *Kosmatka, S. H.; Kerkhoff, B.; Panarese, W. C.; Tanesi, J. Cementos Portland, Cementos Adicionados y Otros Cementos Hidráulicos; 2011.*

- (11) *Aristizábal-alzate, C.; González-manosalva, J. Revisión de Las Medidas En pro de La Eficiencia Energética y La Sostenibilidad de La Industria Del Cemento a Nivel Mundial. Rev. UIS Ing. 2021, 20 (3), 91–110. <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n3-2021006>.*
- (12) *Cedrés, C.; Laborde, J.; Giani, A. A New Biocompatible Alternative: BIODENTINE. Actas Odontológicas 2014, 11, 11–16.*
- (13) *Vázquez, A.; León, L. Propuesta de Diseño de Morteros Para El Mantenimiento, Conservación y Reparación de Edificaciones Basados En Su Resistencia a Flexión y Compresión. Redalyc 2014.*
- (14) *Buzón, F.; Hernández, A. Determinación de Las Características Técnicas y Metrológicas Del Aparato de Vicat. Redalyc 2013.*
- (15) *INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalizacion. Inst. Ecuatoriano Norm. 2006, 21.*
- (16) *Holcim Ecuador S.A. Ficha Técnica - Cemento Hidráulico Tipo GU Para La Construcción En General. Holcim, confianza que construye 2015, 1, 17.*
- (17) *GUAPAN. Cemento Hidráulico Tipo GU. Cem. Hidráulico Tipo GU 2021.*
- (18) *Inicial, R. FICHA TÉCNICA CEMENTO INDUSTRIAL DE ALTA RESISTENCIA.*
- (19) *Yayat Rahmat Hidayat. Cemento Atenas Tipo GU. Angew. Chemie Int. Ed. 6(11), 951–952. 2021, 4, 763–773.*