

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**Factores que influyen en la determinación del módulo de elasticidad del
concreto 2021**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

Ricardo Arnaldo Yaipen Trelles

ASESOR

Hector Augusto Gamarra Uceda

<https://orcid.org/0000-0002-3653-1394>

Chiclayo, 2022

Índice

Resumen.....	3
Abstract.....	4
Introducción.....	5
1. Marco Teórico.....	6
1.1 Antecedentes del Problema.....	6
1.1.1 Antecedentes Internacionales.....	6
1.1.2 Antecedentes Nacionales.....	8
1.2 Bases Teórico – Científicas.....	9
1.2.1 Módulo de Elasticidad del Concreto.....	9
1.2.2 Importancia de los Agregados en el concreto.....	10
1.2.3 Factores que influyen en el Ec del concreto.....	11
1.2.4 Ensayos de laboratorio.....	13
1.3 Definición de Términos Básicos.....	14
1.3.1 Cemento.....	14
1.3.2 Agregados.....	15
1.3.3 Agua.....	16
1.3.4 Concreto.....	17
2. Variables – Operacionalización.....	18
3. Objetivo General.....	18
4. Población, Muestra de Estudio y Muestreo.....	18
4.1 Población.....	18
4.2 Muestra de Estudio.....	18
4.3 Muestreo.....	20
5. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	20
5.1 Procesamiento para el Análisis de datos.....	20
6. Resultados y Discusión.....	20
7. Conclusiones.....	24
8. Recomendaciones.....	24
Referencias.....	25
Anexos.....	28

Resumen

En el presente informe se busca dar a conocer acerca de los estudios e investigaciones en la actualidad que se tiene sobre los factores que influyen en la determinación del módulo de elasticidad del concreto simple, siendo este el objetivo principal.

Actualmente en los diseños que se emplea la fórmula convencional de las normas de cada país sin tomar en cuenta los distintos factores que afectan los resultados, a fin de obtener valores cercanos a la realidad, dejando consecuencias tanto el sector científico, económico y estructural de las zonas geográficas.

Se concluye de acuerdo a estos estudios que el país con más investigación respecto a este tema es Estados Unidos, en Sudamérica, países como Colombia y Venezuela; a nivel nacional, algunos departamentos como Puno, La Libertad y a nivel local existe solo una tesis acerca del tema.

Palabras clave: Módulo de Elasticidad, Concreto Simple, Coeficiente de Poisson, Agregados.

Abstract

This report seeks to make known about the studies and research currently available on the factors that influence the determination of the modulus of elasticity of simple concrete, this being the main objective.

Currently in the designs that the conventional formula of the norms of each country is used without taking into account the different factors that affect the results, in order to obtain values close to reality, leaving consequences for both the scientific, economic and structural sectors of the geographical areas.

According to these studies, it is concluded that the country with the most research on this issue is the United States, in South America, countries such as Colombia and Venezuela; At the national level, some departments such as Puno, La Libertad and at the local level there is only one thesis on the subject.

Keywords: Modulus of Elasticity, Simple Concrete, Poisson's Ratio, Aggregates.

Introducción

El mundo cada día crece más y más, y con ello la necesidad de nuevas construcciones, por lo que es de vital importancia garantizar seguridad, eficacia y economía en los diseños estructurales. La ingeniería se basa en tres pilares muy importantes, sin uno de ellos se puede llegar a considerar como un mal diseño o poco eficaz, puesto que para considerarlo como bueno se requiere que este sea seguro, para garantizar el salvaguardar las vidas que se verán comprometidas con la edificación, puente, represa, o cual sea el tipo de construcción; eficiencia, un diseño debe cumplir con su funcionalidad a cabalidad, poder cumplir los requerimientos a los que se someterá en su etapa de construcción; economía, si bien es cierto no se debe escatimar con costos en torno a la construcción, es correcto y un mejor proyecto si se diseña con los menores costos dentro de los parámetros y dos puntos mencionados anteriormente, para a su vez poder considerarse competitivo.

Contar con los tres aspectos, requiere de cálculos realizados de la mejor manera posible, para lo que es de suma importancia y necesidad emplear valores y resultados precisos y exactos acorde al tipo de proyecto que se está planteando, si bien es cierto existen ecuaciones y parámetros que nos facilitan el diseño en una etapa preliminar, se es necesario reemplazar y recalcular resultados con valores propios del proyecto, debido a la variación de propiedades y características debido a variables como zona geográfica, clima, y el punto más importante, materiales.

Los materiales son de gran importancia en un diseño, puesto que son el punto inicial para cualquier tipo de cálculo posterior, datos como propiedades del suelo, características de los agregados, tipos de cementos, agua a utilizar; son de los puntos más relevantes al diseñar, por lo que utilizar valores originales es lo apropiado y correcto a fines de cumplir con los objetivos de la Ingeniería.

1. Marco Teórico

1.1 Antecedentes del Problema

1.1.1 Antecedentes Internacionales

1.1.1.1 Antecedente 01

Orozco J. en su tesis “Determinación de la relación de poisson y módulo de elasticidad para concreto de 21 y 28 megapascales en concretos de la ciudad de villavicencio”, al realizar los diseños de mezclas correspondientes a las resistencias que solicitaban y posterior análisis de resultados para Módulo de Elasticidad y Coeficiente de Poisson, encontraron los siguientes resultados, para $f'c$ de 21 MPa, un E_c igual a 20543 Mpa; mientras para $f'c$ de 28 MPa, un E_c igual a 22363 Mpa, lo que evidencia una variación del 5% y 11% correspondientemente a los E_c calculados con las ecuaciones que brinda la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo resistente de 1998[6]., lo que indica sobreestimaciones en el E_c , y por ende en los desplazamientos de las estructuras, diferentes a los reales, haciendo que los diseños sean subvalorados, por el incremento en el valor de sus derivas [7].

1.1.1.2 Antecedente 02

Cetina A. y Simbaqueva O. en su tesis “Variación de las propiedades elásticas del concreto translucido elaborado a partir de un acrílico comparadas con el concreto convencional de 3000 psi”, obtuvieron como un promedio en su Módulo de Elasticidad un valor igual a 15816.99 Mpa, para un concreto simple y convencional de $f'c$ de 21 Mpa, lo que implica una variación con el valor de la literatura del 27% [8].

Los autores indican que los procedimientos fueron llevados tal igual a lo indicado en los manuales y normas Colombianas, sin embargo la variación se debe al uso de materiales propios. Obteniendo valores totalmente inferiores a los otorgados por la Norma en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente de 2010 (NSR-10).

1.1.1.3 Antecedente 03

Lopez M. en su artículo de investigación acerca del Módulo de Elasticidad, afirma que los resultados para E_c que se obtienen a partir de la ecuación $E_c = 4700 \sqrt{f'c}$, brinda valores muy altos en comparación con los obtenidos en laboratorio mediante ensayos en la Universidad Pontificia Bolivariana, a su vez comenta que esta variación es producto de la resistencia a la compresión y las propiedades distintas de los agregados, según su procedencia[9].

1.1.1.4 Antecedente 04

La Norma de Construcciones de México, se apoya en Normas Técnicas Complementarias[10]. Para el diseño de concreto. En esta Norma se puede encontrar distintas ecuaciones para determinar el Módulo de Elasticidad, teniendo dos tipos de clasificaciones.

Una primera clasificación es para concretos según su resistencia:

-Concreto clase 1

Concreto de resistencia normal empleado para fines estructurales, con peso volumétrico en estado fresco superior a 22 kN/m³ (2.2 t/m³).

La ecuación que determina el E_c , es la siguiente:

$$E_c = 14000 \sqrt{f'c} \text{ (en Kg/cm}^2\text{)}$$

Para concretos de alta resistencia con agregados grueso calizo.

$$E_c = 11000 \sqrt{f'c} \text{ (en Kg/cm}^2\text{)}$$

Para concretos de alta resistencia con agregados grueso basáltico.

-Concreto clase 2

Concreto con peso volumétrico en estado fresco comprendido entre 19 y 22 kN/m³ (1.9 y 2.2 t/m³). El concreto clase 2 se podrá usar en estructuras menores, de claros no mayores de 5 m y alturas de no más de dos niveles

La ecuación que determina el E_c , es la siguiente:

$$E_c = 8000 \sqrt{f'c} \text{ (en Kg/cm}^2\text{)}$$

En estas Normas se entiende por concreto de alta resistencia aquel que tiene una resistencia a la compresión $f'c$ igual o mayor que 40 MPa (400 kg/cm²).

1.1.2 Antecedentes Nacionales

1.1.2.1 Antecedente 05

Saavedra C. y Ramirez D. en su tesis “Influencia del módulo de elasticidad en el análisis de la deriva de edificios de concreto en el Perú, 2017” definieron que en Perú, se sigue usando indiscriminadamente la misma fórmula para determinar el valor del E_c , sin tener en cuenta la zonificación sísmica ni el origen de los agregados, provocando una variación en el resultados de las derivas hasta de un 9.55% para el caso de estructuras duales, 9.51% para el caso de estructuras formada por pórticos y un 2.47% para albañilería confinada[11].

1.1.2.2 Antecedente 06

Vargas B. en su tesis “Determinación de la Ecuación del módulo de elasticidad del concreto en base a la resistencia a la compresión simple, elaborado con los agregados de las canteras ISLA y YOCARA de la ciudad de Juliaca”, determinó la variación del E_c del concreto haciendo uso de las canteras representativas en la provincia de Juliaca, departamento de Puno; encontrando una variación del 58% para el caso de la cantera Isla, y un 52.52% para el caso de la cantera Yocara, ambos resultados fueron comparados con las ecuaciones encontradas en ACI 318[12]. El autor de la tesis, afirma que dicha diferencia en los resultados es debido al uso de diferentes agregados, a lo que adiciona como recomendación la elaboración de ensayos a fines de determinar con precisión las propiedades y características del concreto.

1.1.2.3 Antecedente 07

Saavedra F. y Ccorimanya F. en su tesis “Análisis comparativo del módulo de elasticidad a compresión y peso volumétrico de concretos convencionales y concretos ligeros fabricados con perlas de poliestireno expandido (PPE)”, analizaron y calcular el E_c para un concreto de resistencia a la compresión igual a 210 kg/cm², obteniendo una variación igual al 12% en comparación a las fórmulas que brinda la Norma Peruana E.060. [13].

A su vez en una de sus recomendaciones, indica hacer estudios similares con agregados de Cusco, a fin de encontrar un promedio de E_c para todo el departamento y facilitar estudios, investigaciones y diseños futuros.

1.2 Bases Teórico – Científicas

1.2.1 Módulo de Elasticidad del Concreto:

Relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, para esfuerzos de tracción o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material [14].

Se denomina Módulo de Elasticidad o Módulo de Young, al cociente entre el crecimiento de esfuerzo, aplicado a un determinado material y la variación respecto a la deformación unitaria que se presenta, en la dirección de aplicación del esfuerzo, también denominada Ley de elasticidad de Hooke.

La forma de medición del E_c en el concreto, se realiza mediante el ensayo a la compresión, que se encuentra en la Norma ASTM C469 (American Society for Testing and Materials) [15], en donde se describe el ensayo, se aplica una carga axial gradualmente hasta el punto de falla del testigo o probeta en análisis, generalmente se aplica hasta un 40% de la resistencia a la compresión (f'_c) del concreto, debido a que es el estado límite de la máxima resistencia a rotura, del continuar sometiendo el testigo a cargas, se saldría del estado elástico del concreto.

La ecuación que define el Módulo de Elasticidad, es la siguiente:

$$E_c = 15000 \sqrt{f'_c} \quad (\text{en Kg/cm}^2)$$

Donde:

E_c = Módulo de Elasticidad

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto

Para concretos con un peso unitario normal ($w_c \approx 2300 \text{ kg/m}^3$), para concretos con pesos unitarios distintos a este, en el orden de 1450 y 2500 Kg/m^3 , el Reglamento Nacional de Edificaciones, en la E.060, propone la siguiente ecuación:

$$E_c = (w_c)^{1.5} 0.043 \sqrt[2]{f'_c} \quad (\text{En MPA})$$

$$E_c = (w_c)^{1.5} 0.136 \sqrt[2]{f'_c} \quad (\text{En Kg/cm}^2)$$

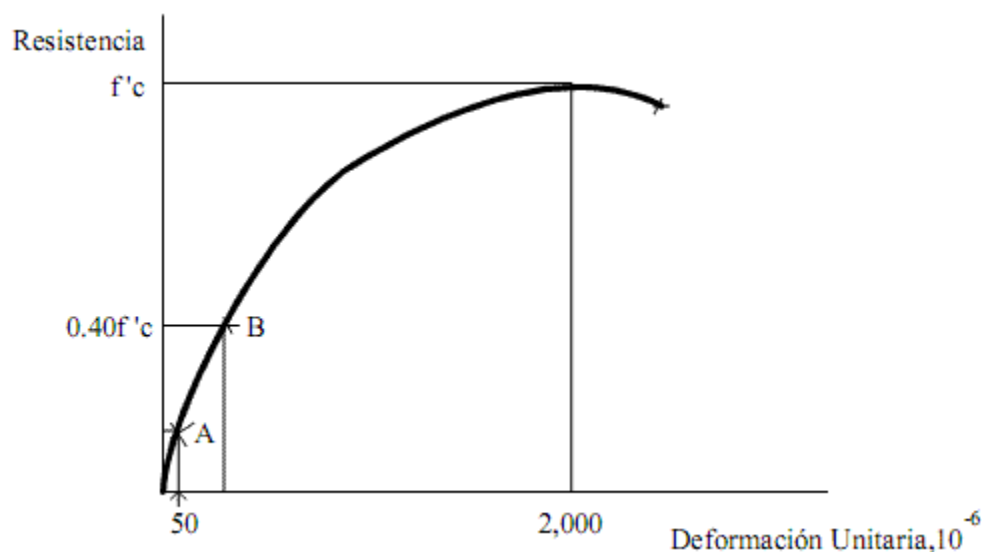


Figura N° 1: Curva Esfuerzo-Deformación del concreto.

En la Ilustración N° 1, se observa la Curva Esfuerzo – Deformación, relacionada al resistencia a la compresión del concreto, tal como se expresa en la teoría, se aproxima a un valor del 40% del $f'c$, debido a que se estima que límite del estado elástico de concreto.

Cabe señalar que los valores y fórmulas que conocemos por la literatura, tanto el E_c , como el coeficiente de Poisson, son resultados obtenidos empíricamente a través de ensayos de laboratorio, se es de conocimiento que estos ensayos llevados a cabo por el American Concrete Institute (ACI) [16], fueron realizados en territorio Norte Americano, con materiales de la zona, por lo que se descarta totalmente influencias en las propiedades del concreto por parte de agregados, agua, cemento de origen Peruano.

1.2.2 Importancia de los Agregados en el concreto:

Según el Ing Ottazzi, afirma que los agregados tienen un módulo que varía entre 1.5 a 5 veces el módulo de elasticidad de la pasta. Por lo tanto el tipo de agregado y la cantidad presente en la mezcla influyen fuertemente en el valor de E_c [5].

Según Bekir, en “Elasticity theory of concrete and prediction of Static E-modulus for dam Concrete using composite models”, dice que el E_c , se ve

seriamente afectado por la variación de los componentes del concreto, como cemento y agregados principalmente. Así mismo afirma que el comportamiento del material durante la fractura, su rigidez, módulo de elasticidad y capacidad de deformación. [19].

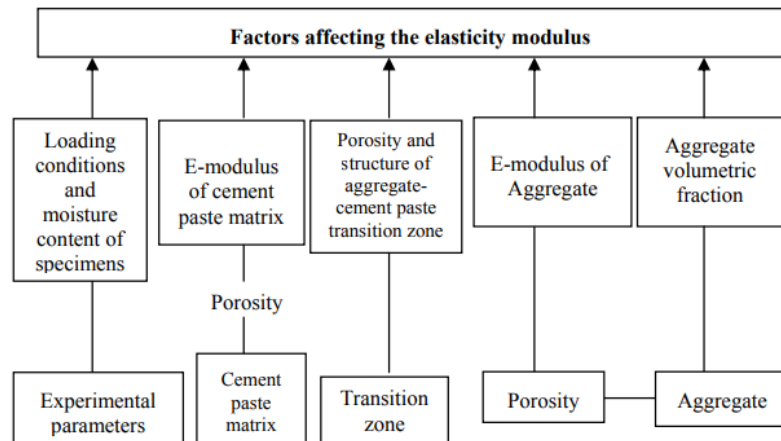


Figura N° 5: Factores que afectan el Módulo de Elasticidad.

Factores que afectan el E_c :

- Condiciones de carga y contenido de humedad de las muestras.
- Módulo de elasticidad de la matriz de pasta de cemento.
- Porosidad y estructura de la zona de transición de la pasta de cemento agregado.
- Módulo de elasticidad del agregado.
- Fracción volumétrica agregada.

1.2.3 Factores que influyen en el E_c del concreto

La norma técnica peruana (N.T.P) [22] da la definición del concreto simple como un material aglomerante, que en este caso será el cemento Portland y agua, y agregados finos y grueso los cuales al mezclarse formarán un nuevo material denominado concreto, la reacción química que origina la mezcla agua-cemento origina la unión de sus partículas con la de los agregados, originando un material heterogéneo [22]. De acuerdo a las definiciones que otorga la N.T.P. 339.047

[22] ,define al agregado fino como el material obtenido mediante la degradación de piedras, de manera natural y cuyo tamaño de partícula pase el tamiz normalizado de 3/8 pulgadas (9.5 mm) y que cumpla con los límites estipulados en la N.T.P. 400.037; asimismo, la N.T.P 339.047 [22] define al agregado grueso como a las partículas pétreas, tales como ripios corrientes, que se encuentran retenidas en el tamiz normalizado 4.75 mm (N° 4) y que cumpla al mismo tiempo con los límites estipulados en la N.T.P. 400.037 [22], las definiciones que otorga la N.T.P. respecto a los agregados es muy similar a la propiciada por el RNE [14].

El concreto es un material diverso, debido a la presencia de diferentes materiales: pasta, agregado fino y agregado grueso [22], lo cual origina un comportamiento diferente de acuerdo a la calidad de los mismos. En la figura 6 se puede observar las diferentes curvas de los módulos de elasticidad de los componentes del concreto simple y su la curvatura del parámetro, mostrando una gran variación entre ellos. Esto permite observar que la fuerza a compresión de los elementos es muy variada entre ellas, pero el concreto presenta un comportamiento muy dúctil a diferencia de sus elementos.

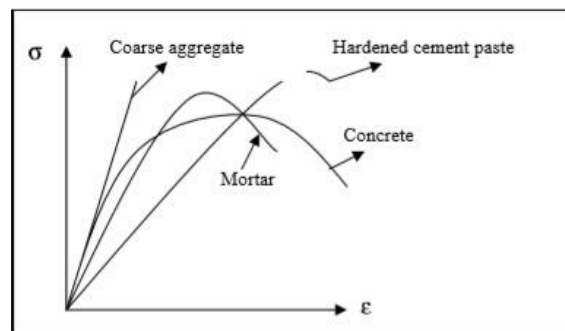


Figura N° 6: Relación esfuerzo-deformación para el concreto y sus componentes

Otro factor que influye en la determinación del E_c es el valor del f'_c del concreto, es uno de los parámetros más importantes. El E_c se encuentra en función del f'_c del concreto simple, mayor valor de f'_c origina mayor fragilidad del concreto, lo cual puede respaldarse con el Reglamento Nacional de Edificaciones donde en el capítulo 21.-Disposiciones Especiales para el Diseño Sismo resistente, nos indica de acuerdo al artículo 21.3.2.2. que la resistencia máxima a la compresión permitida del concreto simple será de 550 kg/cm², manteniéndose de esta manera el diseño dúctil que se

espera en las estructuras en zona sísmica. “Mientras mayor es la resistencia, el comportamiento es más frágil” [5].

En la figura 7 se puede observar lo ya mencionado entre curvas, esfuerzo-deformación, cuyo f'_c varía entre 250-1200 kg/cm²; observando la rectitud que toma la curva dando pase a la fragilidad del concreto al aumento de la resistencia a la compresión.

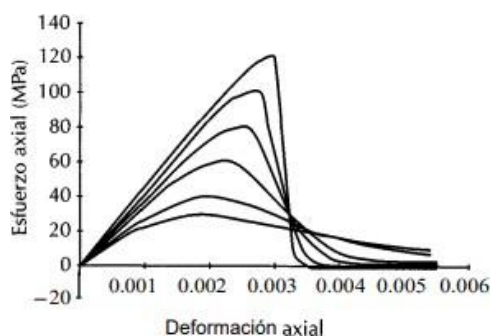


Figura 7: Efecto de la resistencia.

Por ello, se puede observar que cada elemento del concreto cumple un rol fundamental para la estimación del E_c , si uno de ellos no presenta una calidad adecuada la determinación del E_c no será óptima; se puede resumir lo mencionado en la tabla 1.

Tabla 1. Factores que afectan el módulo de elasticidad de un concreto.		
Concreto Fresco		Concreto Endurecido
Pasta	Agregado	Experimentales
<ul style="list-style-type: none"> • Módulo de elasticidad de la matriz de pasta. • Porosidad de la mezcla. • Condiciones de la matriz de pasta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Módulo de elasticidad de los agregados. • Porosidad. • Fracción volumétrica de los agregados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de la carga. • Contenido de humedad de los especímenes.

Tabla 1: Factores que afectan el E

1.2.4 Ensayos de laboratorio:

Para una correcta obtención de resultados acordes a la investigación, se deben realizar una serie de ensayos, garantizando de esta forma la calidad del agregado para el adecuado diseño de mezcla. De la misma forma se debe evaluar las propiedades del concreto, en sus estados: fresco y endurecido; y de esta manera garantizar cumpla

con los estándares de calidad y requerimientos constructivos. Los ensayos pertinentes son los siguientes:

- Análisis granulométrico del agregado fino y agregado grueso (N.T.P. 400.012:2001).
- Gravedad específica y absorción del agregado fino (N.T.P. 400.022.).
- Gravedad específica y absorción del agregado grueso (N.T.P. 400.021.).
- Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado (N.T.P. 339.185.).
- Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado (N.T.P. 400.017.).
- Contenido de aire-método de presión (N.T.P. 339.080.),
- Determinación del asentamiento del concreto (N.T.P. 339.035.).
- Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas (N.T.P. 339.034.).
- Módulo de Elasticidad y razón de Poisson en cilindros de concreto (ASTM C-469).

1.3 Definición de Términos Básicos

1.3.1 Cemento:

Según UNACEM (Unión Andina de Cementos), el cemento es un polvo de apariencia gris verdusca, que resulta de la mezcla de Clinker finamente molido con yeso y otros componentes. Se comercializa a granel, en bolsas de 1.5 Ton y 42.5 Kg. [20].

El cemento, es resultado de la mezcla de distintos compuestos:

Silicato Tricálcico (62%)

Silicato Dicálcico (24%)

Aluminato Tricálcico (12%)

Ferroaluminato tetra cálcico (15%)

Yeso (6%)

Caliza (5%)

Existen diversos tipos de cemento, clasificados según sus requerimientos en obra:

- Tipo I: Uso general.
- Tipo II: Moderada resistencia a sulfatos y al calor de hidratación.

- Tipo III: Altas resistencias iniciales.
- Tipo IV: Alto calor de hidratación.
- Tipo V: Alta resistencia a sulfatos

Según ASOCEM (Asociación de Productores de Cemento), existe una clasificación de cemento, de acuerdo a las adiciones que existe en este. [21].

En la norma mencionada, se consideran como cementos de uso general las siguientes denominaciones:

- Cemento portland tipo IS (con escoria de alto horno, hasta 70%)
- Cemento portland tipo IP (cemento puzolánico, hasta 40% de puzolana)
- Cemento portland tipo I (PM)- (cemento puzolánico modificado, hasta 15% de puzolana)
- Cemento portland tipo IL (cemento calizo, de 5% a 15% de filler calizo)
- Cemento portland tipo ICO (cemento compuesto, hasta 30% de filler calizo u otro material)
- Cemento portland ternario IT (cemento ternario con dos adiciones)

Para casos en que se existen especificaciones o requerimientos especiales, se encuentran los siguientes:

- MS (moderada resistencia a sulfatos)
- HS (alta resistencia a sulfatos)
- MH (moderado calor de hidratación)
- LH (bajo calor de hidratación)

1.3.2 Agregados:

También denominados áridos, y provienen de la combinación de arena, grava o roca; su origen puede ser de manera natural o procesado para el caso de la piedra chancada. Son minerales, que se van formando por fuerzas geológicas, tanto por erosión del viento como del agua.

Según la Norma Técnica Peruana, se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011. [22].

Los agregados, presentan también propiedades, físicas, mecánicas y químicas; estas varían de acuerdo a su origen mineralógico y condiciones físicas, estas características particulares, afectan directamente las propiedades del concreto, como a su resistencia a la compresión, rigidez, elasticidad, fragilidad, porosidad; entre otras.

Los agregados presentan diferentes clasificaciones como puede ser:

- Por su naturaleza: naturales o artificiales.
- Según la NTP 400.011. estos se pueden clasificar en finos (aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200) y grueso (aquel que queda retenido en el tamiz N°4) proviene de la desintegración de rocas, a su vez se puede clasificar en piedra chancada y grava.
- Hormigón: es el material conformado por una mezcla de arena y grava, este material mezclado en proporciones arbitrarias se encuentra en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal cual se extrae en la cantera.

Los agregados también se pueden clasificar según la forma de sus elementos, en:

- Angular: mínimo desgaste en caras y bordes.
- Sub angular: desgaste en caras y bordes.
- Sub redondeada: considerable desgaste en caras y bordes.
- Redondeada: bordes casi eliminados.
- Muy redondeada: no cuenta con caras ni bordes, también conocidos como canto rodado.

1.3.3 Agua:

El agua es uno de los insumos más importantes en la elaboración del concreto, con una alta responsabilidad en el diseño de mezclas. Como es de conocimiento el concreto está elaborado por la mezcla de: cemento, agregados, agua y aditivos (opcional).

Los porcentajes de cada material en la mezcla, son los siguientes:

- Aire (1% a 3%)
- Cemento (7% a 15%)
- Agua (15% a 22%)
- Agregados (60% a 75%)

El agua, al entrar en contacto con el cemento, produce el fenómeno de hidratación, donde se generan una serie de reacciones que otorgan propiedades físicas, químicas y mecánicas al concreto. El agua en ambiente de la construcción tiene diferentes funciones, sin embargo destacan: el agua para mezclado y el agua para curado.

La primera, es aquella que entra en contacto con el cemento y el resto de materiales, dando origen al concreto fresco; mientras que la segunda, hace referencia al agua utilizada en forma de rocío al concreto en un estado endurecido a fin de equilibrar la pérdida de humedad por el fenómeno de exudación.

El agua en el diseño de mezcla es fundamental, puesto que define la relación agua-cemento, factor usado en todos los métodos de diseño de mezcla, como el método ACI [16]. La relación agua-cemento, determina la resistencia del concreto, durabilidad y trabajabilidad.

Relaciones agua-cemento, por encima de 0.5, otorgan concreto de alta trabajabilidad pero poca resistencia, por lo contrario, valores menores a 0.45, otorgan grandes resistencias del concreto.

Cabe señalar, que el agua usada para la elaboración del concreto debe ser evaluada y analizada, a fines de descartar la presencia de contenidos de sales o agentes dañinos ya sea para el concreto, por algún tipo de reacción química con el cemento o los agregados, o por presencia de sales que ataquen directamente al acero de refuerzo de elementos estructurales.

1.3.4 Concreto:

Según Sanchez en su libro “Tecnología del concreto y del mortero”, define al concreto o también llamado Hormigón en otros países, como una mezcla de un material aglutinante, en este caso el cemento Portland Hidráulico; un material de relleno, también conocidos como agregados o áridos (agregado fino para el caso de arena, y agregado grueso para el caso de la piedra chancada); agua y en algunos casos eventuales, aditivos, que a cierta edad es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión [23].

El concreto, de acuerdo a la ubicación de elaboración, tendrá ciertas propiedades y características, a fines de garantizar su funcionalidad, y de ser el caso tendrá la presencia de aditivos.

El concreto simple, es conocido por soportar grandes cargas y saluciones a compresión, sin embargo es muy baja su resistencia a otro tipo de efectos como: flexión, corte, torsión. Para este tipo de esfuerzos, hace uso de acero de refuerzo en formas de barras de acero corrugado, tanto longitudinal como transversal (estribos); y pasa a ser concreto armado.

2. Variables – Operacionalización

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Módulo de Elasticidad	Agregado fino	Propiedades físicas del agregado fino de acuerdo a la zona
	Agregado Grueso	Propiedades físicas del agregado grueso de acuerdo a la zona

3. Objetivo General

- Determinar el estado de arte respecto a la variación del Módulo de Elasticidad en el ámbito internacional, nacional y local.

4. Población, Muestra de Estudio y Muestreo

4.1 Población

Debido a que esta investigación fue de tipo descriptiva, la población abarcó el conjunto de fuentes utilizadas, como son artículos, tesis y libros.

4.2 Muestra de Estudio

Considerando la población mencionada anteriormente, las muestras utilizadas en este estudio fueron aquellas tesis, artículos y libros que giran en torno a la determinación del Ec. Se ha revisado un aproximado de 30 fuentes de las cuales 18 de ellas han servido como base para esta investigación, fueron elegidas a partir, principalmente, aquellas que fuesen publicadas entre los años 2015 y 2020 para la obtención de fuentes actualizadas.

4.3 Muestreo

La información investigada en cada una de las fuentes ya existentes a cerca de la determinación del Ec en diferentes zonas geográficas. Muestreo no probabilístico, por conveniencia.

5. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

TÉCNICA	INSTRUMENTO	ELEMENTOS DE LA POBLACIÓN
Análisis documental	Fichas de análisis.	Tesis y artículos

5.1 Procesamiento para el Análisis de datos

Se obtuvo información relevante a partir del análisis de los artículos y tesis relacionados al tema, los cuales nos permiten conocer la situación de la determinación del Ec a nivel internacional y nacional.

6. Resultados y Discusión

Del primer objetivo el cual se basa en la determinación del estado del arte se puede observar en tres ambientes, aspecto internacional, nacional y local. Estos se darán a conocer en los siguientes cuadros:

NIVEL INTERNACIONAL

PAÍS	NOMBRE DEL DOCUMENTO	AUTOR	CONCLUSIÓN
ESTADOS UNIDOS	Influence of coarse aggregate on concrete's elasticity modulus	Dos Santos Antonio Maria de Arruda Angela José da Silva Turibio Palma Vitor Paula Mouta Trautwein Leandro	El módulo de elasticidad obtenido mediante los ensayos correspondientes, presenta una gran variación respecto a su norma brasileña, resaltando la diferencia mineralógica que presentan sus agregados respecto a otras zonas, dando incapie que este factor sea una de las principales razones del bajo E_c que presenta su investigación.
ESTADOS UNIDOS	Aggregate Correction Factors for Concrete Elastic Modulus Prediction	Tibbetts Caitlin Perry Michael Ferraro Christopher Hamilton Trey	De acuerdo a la seleccionaron de cinco tipos de áridos gruesos: tres áridos limerock de Florida, un agregado calero de Calera y un agregado de granito de Georgia da a conocer los siguiente puntos: la corrección del factor agregado de 1.0 a 0.9 para el limerock Florida, respecto al manual FDOT Structures Design Guidelines para reflejar los hallazgos de esta investigación; la incorporación de la oolita Miami como agregado grueso en cemento portland resultó en la mayor resistencia a la compresión y la mejor correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad para los agregados producidos en Florida; la porosidad y rugosidad superficial del limerock Florida produjeron una unión significativamente mejorentre agregados y pasta, demostrada por superficies de fractura transgranular en su mayoría; l agregado con mayor resistencia suele tener superficies más lisas, lo que resulta en una menor resistencia de unión entre agregados y pasta y resultó en superficies de fractura intergranulares para hormigón con granito y agregado calero de Calera y Las predicciones del módulo elástico basadas en la ecuación AASHTO LRFD dieron la mejor estimación para concreto que incorporó limerock Florida como agregado grueso, mientras que las ecuaciones AASHTO, FHWA y NCHRP dieron predicciones similares para el concreto que contiene granito y agregado Calera

ECUADOR	Determinación de la ecuación del módulo de elasticidad representativo para la provincia de Pichincha, en muestras de cilindros de hormigón con materiales de la mina de San Antonio de Pichincha	Valladares Alexis Jiménez Holguer	El Módulo de Elasticidad es un valor que no solo depende de la resistencia característica a la compresión del hormigón, si no es un valor que depende de las características físico-mecánicas de sus agregados y la dosificación.
ETIOPÍA	Investigation on the static modulus of elasticity of concrete in compression made using locally available coarse aggregates	Yealemnegus Fufa	El tipo de agregado tiene un efecto tanto en el valor del f^c , el módulo estático y el peso unitario del concreto; indica al mismo tiempo que de acuerdo a los tipos de agregado grueso que empleo, tanto como escorio, piedra caliza o agregado basáltico este presentará diferentes valores para el E_c , así presente el mismo f^c .

NIVEL NACIONAL

DEPARTAMENTO-CIUDAD	NOMBRE DEL DOCUMENTO	AUTOR	CONCLUSIÓN
ÁNCASH-CHIMBOTE	DETERMINACION DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO A COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO EN LA PLANTA CONCRETERA DINO- CHIMBOTE	Bruno Castillo, Eduardo Adolfo Peralta López, Juan Carlos	Determinó que el módulo de elasticidad del concreto en la planta Dino-Chimbote, presentó una variación promedio del +5.77% respecto a la fórmula del ACI 318-11,8.5.1. y 19.85% con respecto a la fórmula del Reglamento Nacional de Edificaciones, E-060, Concreto Armado, ítem 8.5.1.
LA LIBERTAD-TRUJILLO	INFLUENCIA DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO REOPLÁSTICO	Roncalla Cabrejo, David Arturo	Se determinó que para los concretos reoplásticos de relación agua cemento de 0.40, 0.45 y 0.50 un coeficiente de variación de 3.46%, 3.91% y 7.57% respectivamente a la norma ACI 318
LA LIBERTAD-TRUJILLO	INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS DE LAS CANTERAS MASHCÓN Y CHONTA PARA LA OBTENCIÓN DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y ROTURA, EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS	Ispilco Infante, Josué López Alaya, Jesús	Se realizó la comparación de los módulos de elasticidad de las canteras Mashcón y Chonta para un $f_c = 265 \text{ kg/cm}^2$ y $f_c = 304 \text{ kg/cm}^2$, utilizando la norma E.060 y la ASTM C 469 obteniendo una variación de -7.95%, -4.33%, -9.67%, -7.37.

DEPARTAMENTO-CIUDAD	NOMBRE DEL DOCUMENTO	AUTOR	CONCLUSIÓN
LORETO-IQUITOS	INFLUENCIA DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN EL ANÁLISIS DE LA DERIVA DE EDIFICIOS DE CONCRETO EN EL PERÚ, 2017	Saavedra García, Cynthia Fiorella Ramirez Vigo, Danny Arlan	<p>La deriva de edificios estudiados en distintas ciudades del Perú, según la Norma Técnica</p> <p>Peruana E.030 vigente, difieren entre 6,73 % a 9,55% cuando se usan el módulo de elasticidad</p> <p>según la Norma Técnica Peruana E.060 del Concreto Armado, equivalente a $E_c =$</p> <p>$15000\sqrt{f'c}$ (kg/cm²) y el módulo de elasticidad promedio obtenido del cálculo de los</p> <p>módulos de elasticidad del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente</p> <p>vigente NSR-10 Título C- Concreto estructural $E_c = 13674\sqrt{f'c}$ (kg/cm²),</p> <p>demonstrándose que a menor módulo de elasticidad del concreto se alcanzan mayores valores</p> <p>de deriva para todos los tipos de estructuración.</p>
CUSCO-CUSCO	Determinación del módulo de elasticidad del concreto pre dosificado en seco de $f'c=210$ kg/cm ² en la ciudad del Cusco	Mallma Lucho Sierra Blatter	El módulo de elasticidad del concreto presenta una gran variación porcentual respecto a la norma E-060, para lo cual recomiendan que se debe realizar ensayos de E_c para cada proyecto de construcción.

7. Conclusiones

- Se observa que existe, a nivel internacional, una mayor investigación por parte de Estados Unidos respecto a los factores que influyen en la determinación del módulo de elasticidad del concreto simple
- Se observa que existe, a nivel nacional, una mayor investigación por parte del departamento de La Libertad respecto a los factores que influyen en la determinación del módulo de elasticidad del concreto simple
- Se da a conocer que a nivel local no se encuentran estudios respecto al estado del arte de los factores que influyen en la determinación del módulo de elasticidad del concreto simple
- Se concluye que las características mineralógicas y geológicas de la zona son un factor importante para la determinación del Ec.

8. Recomendaciones

- Se recomienda emplear investigaciones de los últimos 5 años para tener resultados actualizados.
- Sería conveniente promover la investigación respecto a la influencia de los agregados en la determinación del módulo de elasticidad del concreto simple en la ciudad de Chiclayo.
- Se recomienda realizar estudios de módulo de elasticidad para cualquier diseño estructural, para poder obtener valores más cercanos a la realidad.

Referencias

- [1] D. Sanchez, J. Chilingua, E. Flores, M. Orosco. «Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón Fabricado con Agregados de la Mina de San Roque, Imbabura, Ecuador», *Revista Politécnica*, vol.46, no.1, pp.2-8, Octubre 2020.
- [2] L. d. J. Pineda, «Determinación del Módulo de Elasticidad estático de los concretos premezclados de mayor uso, en el área metropolitana de la ciudad de Guatemala», tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, GT, 2009.
- [3] J.L. Sánchez, «La Resistencia a la Compresión del Hormigón y su influencia en el Módulo de Elasticidad Estático en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua», tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ec, 2013.
- [4] J.L Chan, R. Solís, E.I Moreno, «Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto Ingeniería», *Ingeniería Revista Académica*, vol.7, no.2, pp. 39-46, Agosto 2003.
- [5] G. Ottazzi, «Material de Apoyo para la Enseñanza de los Cursos de Diseño y Comportamiento del Concreto Armado», M.S. thesis, Pontificia Universidad Católica del Perú – Escuela de Graduados, Lima, Pe, 2004.
- [6] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, «Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente», Santa Fe de Bogotá, Col, 1998.
- [7] J. M. Orozco, «Determinación de la Relación de Poisson y Módulo de Elasticidad para Concretos de 21 y 28 Megapascuales en Concretos de la Ciudad de Villavicencio», tesis, Universidad La Gran Colombia, Ciudad de Bogotá, Col, 2016.
- [8] A. F. Cetina, O. D. Simbaqueva, «Variación de las Propiedades Elásticas del Concreto Traslucido Elaborado a partir de un Acrílico (poliexpóxido) Comparadas con el Concreto Convencional de 3000 PSI», tesis, Universidad La Gran Colombia, Ciudad de Bogotá, Col, 2016.
- [9] M. F. López, «Verificación del Módulo de Elasticidad del Concreto por Medio de Elemento Columna Reforzada en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Pontificia Bolivariana», *Revista Digital Apuntes de Investigación*, vol.11, pp.1-9, Abril 2016.
- [10] Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, «Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto», Ciudad de México, Mx, 2017.

- [11] C. F. Saavedra, D. A. Ramirez, «Influencia del Módulo de Elasticidad en el Análisis de la Deriva de Edificios de Concreto en el Perú, 2017», tesis, Universidad Científica del Perú, Iquitos, Pe, 2017.
- [12] B. X. Vargas, «Determinación de la Ecuación del Módulo de Elasticidad del Concreto en Base a la Resistencia a la Compresión Simple, Elaborado con los Agregados de las Canteras Isla y Yocara de la Ciudad de Juliaca», tesis, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Pe, 2017.
- [13] F. M. Saavedra, F. Ccorimanya, «Análisis Comparativo del Módulo de Elasticidad a Compresión y Peso Volumétrico de Concretos Convencionales y Concretos Ligeros Fabricados con Perlas de Poliestireno Expandido (PPE)», tesis, Universidad Andina del Cusco, Cusco, Pe, 2019.
- [14] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima: Megabyte S.A.C., 2019.
- [15] American Society for Testing and Materials, «Document Center,» 1 Enero 1962. [En línea]. Available: <https://www.document-center.com/standards/show/ASTM-C46>. [Último acceso: 10 octubre 2019].
- [16] American Concrete Institute, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, Farmington Hills: IHS, 2014.
- [17] L. M. Torrado, N. A. Porras, «Determinación de las Ecuaciones del Módulo de Elasticidad Estático y Dinámico del Concreto producido en Bucaramanga y su área Metropolitana», tesis, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Bucaramanga, Col, 2009.
- [18] J. L. García, «La Resistencia a la Compresión del Hormigón y su Influencia en el Módulo de Elasticidad Estático en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua», tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ec, 2013.
- [19] B. Topcu y A. Ugurlo, «Elasticity theory of concrete and prediction of Static E-modulus for dam Concrete using composite models», Diciembre 2007.[En línea]. Available: <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/14443.pdf>.
- [20] Unión Andina de Cementos (UNACEM), Tipos de cemento, [online], Available: https://www.unacem.com.pe/?page_id=109.
- [21] Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM), Tecnología del Cemento, [online], Available: http://www.asocem.org.pe/archivo/files/CC_ed17%20-%20Asocem.pdf

- [22] Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), «Norma Técnica Peruana» de Norma Técnica Peruana, Lima, INDECOPI-CTR, 2006.
- [23] D. Sánchez, *Tecnología del Concreto y del Mortero*, Quinta Edición, Santa Fe de Bogotá: Bhandar Editores LTDA, 2001.
- [24] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y M. d. P. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*, sexta ed., México: Edamsa Impresiones, 2014.
- [25] Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), Universidad Nacional de Piura, «Estudio de Mecánica de Suelos y Mapa de Peligros de la Ciudad de Piura», INDECI, Lima.
- [26] M. F. Carvajal, E. A. Gonzáles, «Comparación de los Módulos de Elasticidad de Concreto Normal, con el Ensayo de Compresión y el Ensayo de Flexión», tesis, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Bucaramanga, Col, 2012.

Anexos

Concreto de resistencia normal-Colombia: (f_c entre 21MPa y 42MPa):

- $E_c = 3900\sqrt{f_c}$ o $12500\sqrt{f_c}$ (NSR-98, f_c en MPa, o Kg/cm², sin distingo del origen del agregado)
- $E_c = 5500 \sqrt{f_c}$ (NSR-98, f_c en MPa, agregado de origen ígneo)
- $E_c = 4700 \sqrt{f_c}$ (NSR-98, f_c en MPa, agregado de origen metamórfico)
- $E_c = 3600 \sqrt{f_c}$ (NSR-98, f_c en MPa, agregado de origen sedimentario)
- $E_c = 13000 \sqrt{f_c}$ (f_c en Kgs/cm², ref. antiguo CCCSR)
- $E_c = 15110 \sqrt{f_c}$ (f_c en Kgs/cm², Quimbay-Ruiz, agregado sedimentario, Tunjuelo)

Figura N° 6: Ecuaciones de E_c para concreto de f_c normal-Colombia

Concreto de alta resistencia-Colombia: (f_c mayor a 42MPa):

- $E_c = 12700 \sqrt{f_c} + 30120$ (f_c entre 500 y 800 Kgs/cm², Quimbay-Ruiz, agregado sedimentario, Tunjuelo, Humo de sílice).
- $E_c = 16590 \sqrt{f_c}$ (f_c entre 500 y 800 Kgs/cm², Quimbay-Ruiz, agregado sedimentario, Tunjuelo, Humo de sílice)
- $E_c = 10350 \sqrt{f_c}$ (f_c entre 200 y 700 Kgs/cm², Gomez-Lopez, agregado sedimentario, Fiscalá)
- $E_c = 11650 \sqrt{f_c}$ (f_c entre 200 y 700 Kgs/cm², Gomez-Lopez, agregado sedimentario, Guasca).

Figura N° 7: Ecuaciones de E_c para concreto de f_c de alta resistencia-Colombia

Concreto de resistencia normal - Europa y USA:

- $E_c = 12000 (f_c)^{0.333}$ (Codigo Frances, f_c hasta 60 MPa)
- $E_c = 3320\sqrt{f_c} + 6900$ (Carrasquillo, f_c en MPa)
- $E_c = 63,096\sqrt{f_c}$ (Oluokun, Burdette, f_c mayor a 500 PSI)
- $E_c = 9500 (f_c)^{0.3}$ (Codigo Noruego, f_c hasta 85 MPa)

Figura N° 8: Ecuaciones de E_c para concreto de f_c de alta resistencia en Europa y USA

- $E_c = \sqrt{f_c + 8}$ (CEB, f_c en MPa)
- $E_c = 3320 \sqrt{f_c} + 6900$ (Neville, Inglaterra, f_c entre 21MPa y 83MPa)

Figura N° 9: Ecuaciones de E_c para concreto de f_c de alta resistencia en Inglaterra.



Sección 1: Identificación de la sustancia

Nombre: Cemento Portland
Sinónimos: Cemento Tipo I, II o V; Cemento Portland Tipo I, II o V; Cemento SOL; Cemento Andino Tipo I, Cemento Andino Tipo V.
Fabricante: UNACEM S.A.A. (Unión Andina de Cementos S.A.A.)
Dirección: Av. Atocongo 2440, Villa María del Triunfo – Lima - Perú – América del Sur
Teléfono para informes: (511) 217-0200
Teléfono de emergencias: (511) 217-0221 01-4110000 anexo 2248/2249 (Oficina Lima) 01-4110000 anexo 1225 (Planta Condorcoccha)
Fecha de elaboración / revisión de la MSDS: 16/01/2019
Apariencia: Polvo gris verdusco, resulta de la mezcla de Clinker finamente molido con yeso y otros componentes. Se comercializa a granel, en bolsas de 1.5 Ton y 42.5 Kg.
Nota: Esta MSDS cubre varios productos, los componentes individuales varían.

Sección 2: Composición / Información de ingredientes

Compuesto	N° CAS	Porcentaje en Peso	Fórmula Química
Silicato Tricálcico	12168-85-3	máx. 62%	$3CaO \cdot SiO_2$
Silicato Dicalcico	10034-77-2	máx. 24%	$2CaO \cdot SiO_2$
Aluminato Tricálcico	12042-78-3	máx. 12%	$3CaO \cdot Al_2O_3$
Ferrosulfato tetra cálcico	12088-36-8	máx. 15%	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$
Yeso	13397-24-5	máx. 6%	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Caliza	1317-85-3	máx. 5%	$CaCO_3$

Ingredientes minoritarios: Durante su análisis químico pueden detectarse mínimas cantidades de sustancias químicas naturales. Estos pueden estar hasta un máximo de 1.5% de residuos insolubles, algunos de los cuales pueden ser sílice cristalina libre; óxido de cal como la cal libre o cal viva, óxido de magnesio y cantidades mínimas de sales de sulfato de sodio y sulfato de potasio.

El cemento reacciona con el agua durante la preparación de morteros, concreto o cuando este es humedecido; el cual produce una solución alcalina básica.

Sección 3: Identificación de los peligros

Es un polvo gris que presenta riesgos dependiendo del tiempo de exposición, tiempos breves no causan daños graves. La exposición con mezclas de cemento humedecido puede causar graves daños a los tejidos (piel u ojos) en forma de quemaduras químicas o una reacción alérgica.

Posibles efectos sobre la salud:

• **Contacto con los ojos:** La exposición a partículas de polvo puede causar irritación inmediata o tardía o inflamación. El contacto ocular con grandes cantidades de polvo seco o salpicaduras de cemento húmedo pueden causar irritación ocular moderada, quemaduras químicas y en extremo ceguera. Tales exposiciones requieren primeros auxilios y atención médica inmediata.

• **Contacto con la piel:** De acuerdo al tiempo de exposición puede producir alergias e irritación. Procurar minimizar el contacto para evitar lesiones en la piel, especialmente con cemento húmedo. Pueden presentarse efectos hasta horas después de terminada la exposición. Evitar dejar que el cemento humedecido se seque sobre la piel esta condición puede causar sequedad e irritación leve. Exposiciones severas de contacto entre la piel humedad y el cemento húmedo puede causar engrosamiento, grietas o fisuras en la piel. El contacto prolongado con la piel puede causar daño severo en forma de quemaduras químicas (causada).

• **Ingestión:** No existe información de las cantidades mínimas que pueden ser perjudiciales, cantidades mayores pueden ser nocivas; causar quemaduras en la tráquea y sistema digestivo.

• **Inhalación:** La exposición prolongada al polvo de cemento puede causar afecciones pulmonares; irritación de las mucosas de la nariz, garganta y sistema respiratorio superior.

Figura N° 10: Hoja de datos de seguridad del Material (cemento).