



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE
MUESTRAS DE CONCRETO, UTILIZANDO ARCILLAS
CALCINADAS EN MUESTRAS DE CONCRETO
TRADICIONAL, EN CARABOBO-VENEZUELA.**

Autor: Alex Manuel Henríquez R.
C.I: 24.472.516.

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego.
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 871.



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA UNIVERSIDAD
JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA INGENIERIA CIVIL

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE
MUESTRAS DE CONCRETO, UTILIZANDO ARCILLAS
CALCINADAS EN MUESTRAS DE CONCRETO
TRADICIONAL, EN CARABOBO-VENEZUELA.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL

Autor: Alex Manuel Henríquez R.
C.I: 24.472.516.

Tutor: Ing. Fernando De Macedo

San Diego, noviembre del 2019

DEDICATORIA

Agradezco a dios por iluminar mi camino y guiarme por el sendero correcto, por estar conmigo en todo momento y darme la confianza para siempre seguir adelante.

A todos los profesores de la universidad, por todas las enseñanzas y buenos momentos que me brindaron a lo largo de toda la carrera. Por eso y muchas cosas más infinitas gracias.

A mi tutor Ing. Fernando De Macedo, le agradezco por su dedicación y motivación que me brindó durante este trayecto para culminar mi trabajo de grado.

Al Ing. Alejandro Pocaterra por su gran ayuda y apoyo incondicional en todo momento. Ha sido un privilegio contar con su guía y ayuda.

A todos los asesores externos muchas gracias por el gran apoyo y la colaboración en todo momento.

A la empresa Premezclados Venezolanos C.A, gracias por brindarme el apoyo de prestarme sus instalaciones para realizar los ensayos necesarios para la realización de mi trabajo de grado.

A mis padres, por la gran ayuda en todo momento y estar siempre presentes a lo largo de mi carrera y de este trabajo, por su apoyo, comprensión y paciencia, por brindarme la mejor educación y las mejores lecciones. Gracias.

A mis compañeros quienes me ayudaron he hicieron mis días en la universidad mucho mejores, por su compañerismo y por estar ahí en cualquier circunstancia, no hace falta nombrarlos, pero siempre estaré agradecido con todos ustedes.

¡Se lo dedico a todos!

Alex Manuel Henríquez R.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes y autoridades del Área de Ingeniería Civil de la Universidad Jose Antonio Páez, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión.

Y por supuesto muy especialmente queremos dar gracias a nuestros queridos tutores por su paciencia, orientación en el desarrollo de esta investigación.

¡Gracias!

Alex Manuel Henríquez R.

FI-CV-008-2019-ICR

Valencia, 13 de Marzo de 2019

Ciudadano:
Alex Henriquez
C.I: 24.472.516
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2019 de fecha 13-03-2019 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE MUESTRAS DE CONCRETO, UTILIZANDO ARCILLAS CALCINADAS EN MUESTRAS DE CONCRETO TRADICIONAL, EN VENEZUELA.** Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. Fernando De Maceo, C.I: 7.114.125 y la Ing. Alicia De Pizzella, C.I: 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente



Prof. Luis Lira
Decano de la Facultad de Ingeniería



e.e. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

L/lc.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Fernando de Macedo portador de la cédula de identidad N° 7.114.125, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Henríquez Rodríguez, Alex Manuel portador de la cédula de identidad N° C.I.: 24.472.516, respectivamente, titulado **ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE MUESTRAS DE CONCRETO, UTILIZANDO ARCILLAS CALCINADAS EN MUESTRAS DE CONCRETO TRADICIONAL, EN VENEZUELA**. Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 16 días del mes Enero del año 2019.

Ing. Fernando De Macedo
C.I.: 7.114.125.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

San Diego, Noviembre de 2019

ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado:
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE MUESTRAS DE CONCRETO, UTILIZANDO ARCILLAS CALCINADAS EN MUESTRAS DE CONCRETO TRADICIONAL, EN VENEZUELA. Ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Fernando De Macedo

Tutor Académico

Firma

21/11/2019

Fecha

Ing. Alicia de Pizzella

Tutor Metodológico

Firma

21/11/19

Fecha

INDICE GENERAL

| | |
|---|-------------------------------|
| DEDICATORIA | |
| AGRADECIMIENTO | |
| ÍNDICE DE CUADROS..... | |
| INDICE DE FIGURAS..... | |
| RESUMEN..... | |
| INTRODUCCIÓN | |
| CAPÍTULO I..... | |
| EL PROBLEMA | |
| 1.1 Planteamiento del Problema..... | 19 |
| 1.2 Formulación del Problema..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 1.3 Objetivos de la Investigación | 22 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 22 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos..... | 22 |
| 1.4 Justificación..... | 22 |
| 1.5 Alcance..... | 24 |
| 1.6 Limitaciones..... | 24 |
| CAPÍTULO II | |
| 2.1 Antecedentes | 25 |
| 2.1.2 Antecedente Nacional | 25 |
| 2.1.3 Antecedentes Internacionales..... | 26 |
| 2.2 Bases Teóricas..... | 28 |
| 2.2.1 Cemento | 28 |
| 2.2.1.1 Tipos de cemento | 29 |
| 2.2.1.2 Propiedades generales del cemento | 29 |
| 2.2.1.3 Proceso de fabricación..... | 29 |
| 2.2.2 El cemento portland | 30 |

| | |
|--|----|
| 2.2.2.1 Hidratación del Cemento Portland..... | 33 |
| 2.2.2.2 Almacenamiento..... | 34 |
| 2.2.3 Cemento puzolánico..... | 34 |
| 2.2.4 Concreto convencional | 35 |
| 2.2.5 Concretos de cementos naturales..... | 37 |
| 2.2.6 Características y comportamiento del concreto..... | 39 |
| 2.2.6.1 Características mecánicas del concreto..... | 39 |
| 2.2.6.2 Características físicas del concreto | 40 |
| 2.2.7 Fraguado y endurecimiento del concreto | 41 |
| 2.2.8 Resistencia del concreto | 43 |
| 2.2.10 Durabilidad..... | 46 |
| 2.2.11 Prueba de compresión..... | 46 |
| 2.2.12 Tipos de concreto | 46 |
| 2.2.13 Producción mundial del concreto..... | 48 |
| 2.2.14 Áridos..... | 50 |
| 2.2.15 Agua..... | 51 |
| 2.2.16 Agregados..... | 52 |
| 2.2.16.1 Clasificación de los agregados | 52 |
| 2.2.17 Áridos y Arenas:..... | 54 |
| 2.2.18 Agregado Fino:..... | 55 |
| 2.2.19 Agregado Grueso: | 55 |
| 2.2.20 Funciones de agregado en el concreto..... | 56 |
| 2.2.21 Propiedades | 58 |
| 2.2.21.1 Granulometría..... | 58 |
| 2.2.21.1.1 Granulometría de los agregados finos..... | 58 |
| 2.2.21.1.2 Granulometría de los agregados gruesos | 59 |
| 2.2.22 Módulo de Fineza..... | 60 |
| 2.2.23 Propiedades físicas..... | 60 |

| | |
|--|----|
| 2.2.24 Propiedades resistentes | 61 |
| 2.2.25 Diseño de mezcla de concreto | 62 |
| 2.2.26 Arcilla | 64 |
| 2.2.26.1 Clasificación de la arcilla | 64 |
| 2.2.27 Granulometría de la arcilla | 65 |
| 2.2.28 Minerales de la arcilla..... | 65 |
| 2.2.29 Calorimetría Isotérmica | 66 |

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

| | |
|---|----|
| 3.1 Tipo de Investigación | 68 |
| 3.2 Nivel de la Investigación | 68 |
| 3.3 Diseño de Investigación | 69 |
| 3.4 Población y Muestra..... | 69 |
| 3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos | 70 |
| 3.6 Fases metodológicas..... | 72 |

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

| | |
|--|----|
| Fase I Diseño de mezcla requerida de concreto convencional, con arcillas calcinadas. | 73 |
| I.1 Caracterización de los materiales | 73 |
| I.2 Diseño de Mezcla | 75 |
| Fase II Análisis comparativo entre muestras de concreto convencional y arcillas calcinadas. | 80 |
| II.1 Elaboración de las mezclas antes mencionado | 80 |
| II.2 Toma de los cilindros correspondientes..... | 82 |
| II.3 Curado de probetas | 83 |
| Fase III Evaluación de resultados ensayos de fractura a compresión en muestras de concreto con arcillas calcinadas y costos de los materiales..... | 86 |
| III.1 Resultados de los Ensayos correspondientes | 86 |

| | |
|--|----|
| III.2 Graficación de resultados obtenidos | 91 |
| III.3 Desviación estándar en concreto simple a los 28 días (S)..... | 92 |
| III.4 Comprobación estadístico desviación estándar del concreto simple de probetas compañeras del concreto simple sin arcilla | 93 |
| III.5 Comprobación estadístico desviación estándar del concreto con el 10 % de arcilla calcinada..... | 94 |
| III.6 Comprobación estadístico desviación estándar del concreto con el 15 % de arcilla calcinada..... | 96 |
| III.7 Comprobación estadístico desviación estándar del concreto con el 30% de arcilla calcinada..... | 98 |

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|----------------------|-----|
| Conclusiones | 102 |
| Recomendaciones..... | 103 |

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

| | |
|--|-----|
| Anexo A. Registro de información fiscal (RIF)..... | 106 |
| Anexo Granulometría Arena Lavada de rio..... | 107 |
| Anexo B: Estudio granulométrico agregado Grueso | 108 |
| Anexo C. Certificado de calidad de aditivo utilizado..... | 110 |
| Anexo D Certificado de calidad del cemento..... | 95 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1.Evolución de la resistencia a Compresion de un concreto Portland normal. | 43 |
| Cuadro 2.Consistencia de concreto fresco | 45 |
| Cuadro 3 Tipos de concreto | 47 |
| Cuadro 4. Producción mundial de concreto (miles de toneladas)..... | 49 |
| Cuadro 5.Valores de módulos elásticos | 62 |
| Cuadro 6. Clasificación granulométrica..... | 65 |
| Cuadro 7.Contenido de aire atrapado..... | 76 |
| Cuadro 8.Muestras de probetas de edades 7, 14 y 28 días para ensayos de Compresión del Concreto con arcillas calcinadas al 10, 15 al 30% de resistencia 250 Kg/cm ² | 90 |
| Cuadro 9. Desviación estándar del concreto sin arcilla a los 28 días | 92 |
| Cuadro 10.Desviación estándar del concreto sin arcilla a los 28 días | 93 |
| Cuadro 11.Resistencia promedio, desviación, Valor máximo y mínimo sin arcilla... 93 | |
| Cuadro 12.Calculo distribución normal a los 28 días sin arcilla..... | 94 |
| Cuadro 13.Concreto de resistencia a la compresión con el 10 % de arcilla calcinada 94 | |
| Cuadro 14. Resistencia promedio, desviación, Valor máximo y mínimo con el 10 % de arcilla calcinada..... | 95 |
| Cuadro 15.Calculo distribución normal a los 28 días con el 10% de arcilla calcinada | 95 |
| Cuadro 16.Concreto de resistencia a la compresión con el 15 % de arcilla calcinada 96 | |
| Cuadro 17.Resistencia promedio, desviación, Valor máximo y mínimo con el 15 % de arcilla calcinada..... | 97 |
| Cuadro 18. Calculo distribución normal a los 28 días con el 15% de arcilla calcinada | 97 |
| Cuadro 19.Concreto de resistencia a la compresión con el 30 % de arcilla calcinada 98 | |
| Cuadro 20.Resistencia promedio, desviación, Valor máximo y mínimo con el 30 % de arcilla calcinada..... | 98 |
| Cuadro 21.Calculo distribución normal a los 28 días con el 30% de arcilla calcinada | 98 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Clinker de cemento antes de su molienda..... | 31 |
| Figura 2. Cúpula del panteón de Roma..... | 37 |
| Figura 3.. Diagrama de resistencia del concreto. | 41 |
| Figura 4.: Ensayo de consistencia en concreto fresco mediante el Cono de Abrams que mide el asiento que se produce en una forma troncocónica normalizada cuando se desmolda.) | 45 |
| Figura 5.Producción mundial de concreto | 49 |
| Figura 6.Superficie de los agregados si se fractura una piedra..... | 57 |
| Figura 7. Distribuciones materiales grueso y finos..... | 74 |
| Figura 8.Figura. Elaboración mezcla | 74 |
| Figura 9.Figura.Volumen unitario de agua | 77 |
| Figura 10..Relacion Agua/cemento por resistencia | 77 |
| Figura 11. Peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto..... | 78 |
| Figura 12. Arcilla calcinada | 80 |
| Figura 13. Arcilla calcinada | 81 |
| Figura 14. Mezclado del material..... | 82 |
| Figura 15. Toma de cilindros o probetas..... | 83 |
| Figura 16. Toma de cilindros o probetas..... | 83 |
| Figura 17. Desencofrado de moldes..... | 84 |
| Figura 18. Curado de probetas | 84 |
| Figura 19. Curado de probetas | 85 |
| Figura 20. Curado de probetas | 85 |
| Figura 21. Preparación de las probetas para la ruptura | 86 |
| Figura 22. Preparación de los equipos | 87 |
| Figura 23. Preparación de los equipos | 87 |
| Figura 24. Ruptura a la compresión de probetas..... | 88 |
| Figura 25. Ruptura a la compresión de probetas..... | 88 |
| Figura 26. Ruptura a la compresión de probetas..... | 89 |
| Figura 27. Rotura Ruptura a la compresión de probetas..... | 89 |

| | |
|---|----|
| Figura 28. Variación de resistencia promedio de las probetas a los 7,14 y 28 días para ensayos de Compresión de 250 kg/cm ² del Concreto convencional y Concreto con arcillas calcinadas en proporciones de 10, 15 y 30% | 91 |
| Figura 29.. Variación de resistencia promedio de las probetas a los 7,14 y 28 días para nsayos de Compresión de 250 kg/cm ² del Concreto con arcillas calcinadas en proporciones de 10, 15 y 30% | 91 |
| Figura 30. Distribución normal del concreto de Resistencia 210 kg/cm ² a la compresión sin arcilla | 94 |
| Figura 31. Distribución normal del concreto de Resistencia 210 kg/cm ² a la compresión con el 10% de arcilla calcinada | 96 |
| Figura 32.. Distribución normal del concreto de Resistencia 210 kg/cm ² a la compresión con el 15% de arcilla calcinada | 98 |
| Figura 33. Distribución normal del concreto de Resistencia 210 kg/cm ² a la compresión con el 15% de arcilla calcinada | 99 |



**REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSE ANTONIO PAEZ
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE
MUESTRAS DE CONCRETO, UTILIZANDO ARCILLAS
CALCINADAS EN MUESTRAS DE CONCRETO
TRADICIONAL, EN CARABOBO-VENEZUELA**

**Autor: Henríquez R, Alex M.
Tutor: Ing. Fernando De Macedo
Fecha: enero, 2019**

RESUMEN

La presente investigación presenta un análisis del diseño de mezcla en el laboratorio, incorporando arcillas calcinadas al cemento convencional como material complementario. Realizando análisis comparativos de prueba de rotura de cilindros mediante ensayos de resistencia a la compresión. Enfocado en un estudio de tipo experimental de campo, con una metodología basada en lineamientos técnicos normativos que permitió dar solución al problema planteado, cuyos materiales empleados cumplieron con las especificaciones y requisitos mínimos que estipulan las norma COVENIN, obteniendo un producto de calidad con un peso específico de la arcilla calcinada de 2,49 Kg/Lts o 2490 Kg/m³ resultados valores promedio de resistencia del concreto a la compresión a los 28 días sin arcilla de 249,28 Kg/cm² y con arcilla calcinada alcanzo los siguientes valores de acuerdo al porcentaje de arcilla colocados resultando al 10 % 257,36 Kg/cm², al 15 % 218.9 Kg/cm² y finalmente al 30 % fue 161,85 Kg/cm², donde esta última no alcanzo la resistencia de diseño, se concluye que la muestra más optima con esta experimentación de resistencia de diseño 210 kg/cm² se obtuvo con el 10% de arcilla calcinada con una relación porcentual en costo de 7 % más barato comparada con el concreto tradicional.

Descriptor: análisis, comparativo, muestras, concreto

INTRODUCCIÓN

El concreto es el material de construcción más usado en el mundo, debido a su fácil y rápida preparación, su alta eficacia y moldeabilidad casi infinita, por lo cual se ha convertido en el material ideal para las exigencias contemporáneas ya que es una mezcla de materiales como la arena, grava y gravilla (también llamados agregados), y cemento, que sirve como aglutinante y para endurecer sólo necesita agua durante el mezclado, es por eso que también puede ser utilizado bajo el agua. Puede tomar casi cualquier forma si se vierte en un molde o encofrado y se transforma en piezas prefabricadas para la construcción.

Pero, la producción de cemento es una fuente de emisión de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, un gas que potencia el efecto invernadero producido por el cambio climático. Las empresas cementeras saben perfectamente que deben mejorar sus procesos para reducir la contaminación, ser más eficientes y por lo tanto más competitivas. Donde en las actuales fábricas de cemento tienen capacidad suficiente para reciclar y valorizar diversos tipos de residuos, reduciendo la necesidad de comprar nuevas materias primas y evitando el problema que generan los residuos, por otra parte, la gestión ambiental y el impulso al desarrollo sostenible son temas cada vez más recurrentes en los últimos años, la conciencia colectiva va en aumento con respecto a los problemas potenciales que genera el crecimiento de la industria de la construcción en el deterioro del medio ambiente.

En términos generales, la construcción no es una actividad amigable con el medio ambiente, ya que provoca efectos sobre la tierra, agotamiento de recursos naturales, generación de residuos y diversas formas de contaminación como son las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono. Cerca del 85 % de estas emisiones provienen de la fabricación del cemento. Debido a la importancia del mismo en la industria de la construcción, muchos estudios se ocupan de sus perspectivas futuras: mejoras en el horno del cemento, el uso de combustibles alternativos y adiciones minerales, entre otras, que permiten a la industria del cemento reducir las emisiones de CO₂ y los altos gastos energéticos que su producción general.

Basada en las consideraciones anteriores, el propósito de esta investigación está centrado en realizar un análisis comparativo del comportamiento de muestras de concreto, utilizando arcillas calcinadas en muestras de concreto tradicional, en Carabobo-Venezuela la cual se estructura en cinco capítulos que se detallan a continuación:

Capítulo I El Problema: Hace referencia a los elementos que conforman el problema, estableciendo el objetivo general y específicos del estudio, justificación o importancia investigativa, estableciendo los alcances y limitaciones.

Capítulo II Marco Teórico: se elabora el marco referencial que sustenta la investigación donde se abordaron teorías referidas al diseño de mezcla de concreto y está constituido por: Antecedentes, bases teóricas y legales.

Capítulo III Marco Metodológico: se presenta la metodología a aplicar, donde se hace reseña al tipo de investigación, se define la población y la muestra. técnicas de recolección de datos y de análisis de datos, así como las fases que se cumplieron para el desarrollo del presente estudio.

Capítulo IV: Análisis e interpretación de los resultados: refiere a la presentación e interpretación de las derivaciones o productos de la actividad investigativa, reflejando de manera resumida todas las respuestas a la interrogante formulada.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones: en este capítulo recoge las conclusiones importantes de las diferentes tendencias alcanzadas con el diseño de mezcla elaborado con diferentes dosificaciones de arcilla calcinada a partir de los datos recolectados, exponiendo finalmente las sugerencias mediante las cuales se podrá complementar el trabajo.

Con el desarrollo de la presente investigación se espera que los resultados producidos sean de utilidad tanto para quienes necesitan informarse o investigar sobre esta problemática, para el mejoramiento de los diseños de mezcla en la Ingeniería civil.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El concreto u hormigón es un material que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento o material aglomerante, arena, grava, aditivos y agua, después esta mezcla se endurece en formaletas con la forma y dimensiones deseadas, siendo este el compuesto más empleado en la construcción.

Es por ello que este material es utilizado en elementos estructurales que soportarán esfuerzos de carga a la compresión como lo son pavimentos, edificios, cimentaciones, columnas entre otras y a la flexión en el caso de las vigas, o como medio de soporte de combinación de estas cargas como las losas de piso, razón por la cual este material ha permitido construir muchos tipos de estructuras, como autopistas, calles, puentes, túneles, presas, grandes edificios, pistas de aterrizaje, sistemas de riego y canalización, rompeolas, embarcaderos y muelles, aceras y casas entre otros.

Cabe destacar que el cemento utilizado generalmente es del tipo Portland, mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación, el cual es un material pulverulento que por sí mismo no es aglomerante, y que, mezclado con agua, al hidratarse se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece, tornándose en un material de consistencia pétreo.

La composición del cemento consiste esencialmente en silicato cálcico hidratado (S-C-H), y es el principal responsable de sus características adhesivas, y para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones (en cantidades inferiores al 1 % de la masa total del concreto), existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores y retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, entre otras.

No obstante, la producción convencional del cemento ocasiona problemas ya sea por la enorme erosión producida en el área de canteras por la extracción continua de piedra

caliza y otros materiales, producción de gran cantidad de polvos provocados por el triturado de las piedras en la planta así como la emisión de contaminantes al aire (Monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas muy finas) dependiendo del tipo de combustible y proceso empleado durante la calcinación en el horno.

Razón por la cual las empresas responsables, invierten año tras año en diversos avances tecnológicos en mejorar la calidad del concreto con materiales sustitutos del Clinker, ya sea el reciclado, la valorización material y energética de residuos, la sustitución de combustibles fósiles por otros alternativos con biomasa o la introducción de equipos de control y reducción de emisiones contaminantes, incluidas las que afectan al cambio climático, es por ello investigadores de todo el mundo trabajan en nuevos materiales con propiedades similares a las del cemento convencional, pero con un menor impacto ambiental y mas económico.

Según Zaragoza (2008), director general de OFICEMEN, destaca que de los 50,1 millones de materias primas que se consumieron en este año para fabricar cemento en Europa, 4,1 millones procedían de residuos, donde los residuos empleados para fabricar el Clinker, la principal base material del cemento, fueron tan variados como escorias, cenizas de procesos térmicos, cascarilla de hierro, lodos de papelera, arenas de fundición o espumas de azucarera, por su parte, las principales adiciones del cemento fueron cenizas volantes y escoria granulada de horno alto, contribuyendo a fabricar más cemento con menos Clinker.

Igualmente, Vicente Saisó (2013), director de Sustentabilidad de CEMEX, en México explicó que han integrado a sus productos residuos de acero, cenizas o escoria granulada que hacen que el cemento mantenga sus propiedades y, así reducir la utilización de Clinker. incorporados residuos de otras industrias como la acerera o la termoeléctrica, que le dan buenas propiedades (al cemento).

En este sentido, en los últimos años se ha trabajado mucho en mejorar el perfil ambiental de la producción, y esto se lleva a cabo con la búsqueda de materiales cementicios suplementarios que sean capaces de sustituir una parte del Clinker, que es el componente más intenso en términos energéticos y el que más produce emisiones en el cemento.

Desafortunadamente la mayoría de los potenciales sustitutos del Clinker que existen en la actualidad, uno de ellos son residuos de la producción industrial, como las cenizas volantes, las cuales no están disponibles en un volumen tal que sean capaces de hacer un gran aporte a nivel global en termino de sustitución; en general podrían representar aproximadamente el 15 % de la producción de cemento y eso no es suficiente para cubrir el impacto que se pide, por lo cual surge la necesidad de desarrollar nuevas soluciones, que hacen que el proceso de éstas sea más amigable con el medio ambiente.

Sin embargo, existen materiales como las arcillas que son abundantes a nivel de disponibilidad similares a los volúmenes de producción de cemento que cuando son calcinadas a través de una activación térmica se pueden convertir en puzolanas muy reactivas que podrían también sustituir parte del Clinker, convirtiéndose en una alternativa para mejorar el perfil económico de la producción de cemento así como en la elaboración de morteros y hormigones, mejorando su resistencia mecánica, durabilidad y costos, razón por la cual se debe estudiar la composición, distribución de sus componentes o materias primas, así como las características propias del cemento y del diseño de mezcla utilizando este material.

Considerando que en el campo de la ingeniería civil el diseño de mezcla, es sin lugar a dudas una de las principales bases para elaborar todo tipo de estructuras de ingeniería, ya que la durabilidad y desenvolvimiento de la obra se debe casi en su totalidad al concreto con el cual se trabaja, es por ello que la labor del ingeniero es diseñar un concreto mas económico, trabajable y resistente partiendo de las características físicas de los agregados, cemento y del agua, obteniéndose valores de los diferentes materiales, que se integran la unidad cubica del concreto.

Razón por la cual el concreto se debe diseñar bajo normas específicas dependiendo del proyecto que se vaya a utilizar y con las características económicas para un determinado fin, cuyos diseños están sujetos a cambios y modificaciones para optimizarlo, donde el proceso implica elaboración, colocación, curado y protección en algunos casos, de los cuales depende si este este concreto es bueno o malo, esto conlleva a investigar la elaboración de un concreto que cumpla con todas las especificaciones establecidas y que además incorporen nuevos materiales, que aporten a su mejoramiento.

1.2 Formulación de la interrogante

Basadas en las premisas antes mencionadas surge la siguiente interrogante

¿Como será el comportamiento de muestras de concreto utilizando arcillas calcinadas comparadas con muestras de concreto tradicional?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Comparar el comportamiento de muestras de concreto utilizando arcillas calcinadas con muestras de concreto tradicional, de materiales adyacentes al estado Carabobo – Venezuela.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar una mezcla requerida de concreto convencional, con arcillas calcinadas, para la industria de la construcción en Carabobo- Venezuela
2. Analizar el comportamiento del concreto convencional, adicionando a la mezcla diferentes porcentajes de arcillas calcinadas provenientes de la planta de fabricación de bloques de arcilla, proveniente de Alfarería, ubicada en la carretera Nacional Los Guayos.
3. Evaluar los resultados de las resistencias alcanzadas del ensayo a la compresión de las muestras de concreto con arcillas calcinadas.

1.4 Justificación

Actualmente es de especial importancia el estudio las nuevas tecnologías del concreto debido a la exigencia del carácter económico que son requeridas en los sistemas constructivos, es por ello que surge la necesidad de buscar alternativas viables para la elaboración del concreto, considerando sus propiedades físicas, mecánicas y económicas.

Debido a la situación por la que transcurre el país es necesario implementar métodos para la elaboración del concreto, que abaraten los costos de las mismas y finalice con los problemas que se han generado o que generan la elaboración de nuevas obras civiles, en

este sentido este estudio presentara aportes importantes los cuales se detallan a continuación.

Aporte social:

Siguiendo lo establecido en el plan de la patria 2019-2025 en lo referente al programa de Políticas del Sector Vivienda y Hábitat que establece la Industrialización de la producción de componentes, materiales e insumos para la construcción, y reforzamiento de la participación directa del Estado en la producción, distribución y comercialización de materiales e insumos estratégicos, por consiguiente, esta investigación aportara al estado distintas maneras para lograr una economía de calidad en el campo de la construcción la utilización de arcillas calcinadas en el concreto a grandes escalas.

Aporte técnico:

Desde el punto de vista técnico este trabajo de grado servirá de aporte a los diseños de mezcla de concreto permitiendo conocer las dosis precisas de los componentes de concreto, sino también la forma más apropiada para elaborar la mezcla que con lleva a mejorar calificativamente la resistencia, la calidad y la durabilidad el concreto.

Aporte académico:

Desde el punto de vista académico se pretende despertar la curiosidad de los estudiantes de ingeniería civil de la Universidad Jose Antonio Páez en el área de Ingeniería Civil, en la búsqueda continua de nuevos materiales en el sector construcción enmarcado en la línea de la rama estructural, la cual se encarga del diseño y el cálculo estructural en elementos, materiales y sistemas estructurales.

Aporte metodológico

Igualmente se justificará ya que se realizó un procedimiento ordenado para establecer lo significativo de los hechos y fenómenos hacia los cuales está encaminado el significado de la investigación, realizando un diseño de mezcla utilizando diferentes

proporciones de arcilla calcinada evaluando su resistencia a la compresión, con un procedimiento general para lograr de una manera precisa el objetivo de la investigación.

1.5 Alcance.

El presente trabajo de investigación estará principalmente enfocado en la realización de un diseño de muestra de concreto con arcilla calcinada proveniente de las canteras de las alfarerías del Estado Carabobo.

Dado que hoy en día existe una gran variedad de diseños de muestras de concreto con distintos tipos de composición de cemento, la misma pretende diseñar, graficar y comparar el diseño de muestras de concreto con arcillas calcinadas y de la forma tradicional, con la finalidad de brindar una orientación de cuál diseño es más apropiado realizar en cuanto a la resistencia y costos de los mismos. Para la obtención de los resultados se realizará solamente el ensayo compresión para obtener análisis comparativos de las diferentes muestras de concreto.

1.6 Limitaciones.

Teniendo en cuenta como limitaciones el alto costo de los materiales para la construcción, falta de información del tema, falta de transportes y poco tiempo para la realización de este proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Según Méndez (2006) define el marco teórico como: la motivación de carácter teórico, es la inquietud que surge en el investigador por profundizar en uno o varios enfoques teóricos que tratan el problema que se explica, a partir de los cuales espera avanzar en el conocimiento planteado, o para encontrar nuevas explicaciones que modifique o comple

Se enfocó en un estudio de tipo documental, donde se seleccionaron una serie de bibliografías, con la finalidad de solucionar el problema en estudio, además, se ubicó en un nivel comparativo, puesto que, a partir de la información recopilada, se desarrolló una metodología basada en lineamientos técnicos normativos que permitió la solución del problema planteado. En tal sentido, se analizó cada uno de los resultados obtenidos, que permitieron la realización de diagramas de bosque y, por último, se presentó la propuesta de la sustitución del Clinker por materiales suplementarios como la arcilla, cumpliendo con las especificaciones normativas, más conveniente en cuanto a seguridad y confiabilidad, para la construcción en el estado Carabobo.

La relación del antecedente anteriormente expuesto con la investigación se enfocó en que el antecedente es netamente teórico y la presente investigación es de carácter experimental acerca de un análisis comparativo entre muestras similares, lo cual permitió obtener las bases teóricas necesarias para la realización de la presente investigación y por consiguiente la experimentación en el laboratorio.

2.1.3 Antecedentes Internacionales

Yagual (2015), realizó un trabajo de grado titulado **“Hormigón Liviano de Alto Desempeño con Arcilla Expandida”** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador. La presente investigación tuvo como objetivo Elaborar hormigón liviano con arcilla expandida y definir sus propiedades. La problemática evidenciada fue que en Ecuador no existe un agregado que cumpla con los requisitos para un hormigón liviano de calidad, por este motivo el agregado que usaron en el hormigón liviano fue la arcilla expandida.

La metodología de la investigación fue experimental y descriptivo debido a la elaboración de hormigón liviano con arcilla expandida empleando cemento 1P y HE. Será experimental ya que se acercarán de manera más directa a los resultados, mediante los ensayos y estudio comparativo de las propiedades mecánicas de este hormigón versus el hormigón convencional. Fue descriptivo porque se puntualizará la evaluación de los resultados obtenidos de cada ensayo a realizarse, tanto a los agregados como a las probetas.

Llegaron a la conclusión de que el uso de hormigón liviano de alto desempeño con arcilla expandida, en una edificación de cuatro pisos reduce hasta un 20% los

desplazamientos laterales provocado por un sismo, debido a la disminución de carga muerta producida por el peso propio de esta. Por lo tanto, recomendaron utilizar mezclas no muy fluidas de hormigón liviano con arcilla expandida ya que el peso específico de la arcilla es menor que el peso específico del agua lo que provoca que la arcilla expandida flote después del vaciado y durante el fraguado teniendo como resultado superficies rugosas.

La relación del antecedente anteriormente expuesto con la investigación sirvió ya que realizaron un hormigón liviano de alto desempeño utilizando arcilla expandida como un material sustituto al igual que la investigación presente esta es experimental, también esta busca una solución alterna debido al alto costo de los materiales de la construcción.

Así mismo, Agresott (2012), realizó un trabajo de grado titulado **“Diseño de Mezclas de Concreto Usando como Aditivos Residuos Plásticos Provenientes de Chatarra Electrónica”** de la Universidad Tecnológica De Bolívar, Colombia. La investigación tuvo como objetivo general Evaluar el efecto causado por los restos de plástico de chatarra electrónica en concreto hidráulico, mediante el estudio y el análisis del comportamiento mecánico, con el fin de encontrar una mezcla de concreto óptima, que permita una mejora de las diferentes características de ésta con respecto a una mezcla convencional.

El presente trabajo buscó evaluar en laboratorio el cambio en la resistencia mecánica que experimentan mezclas de concreto hidráulico se adiciona al cemento aditivos poliméricos producto de desechos industriales (Residuos de chatarra electrónica). Para tal fin se empleó para el diseño de la mezcla el método Füller y para los ensayos, ensayo a la compresión y ensayos de asentamiento, de la misma manera se pesaron las muestras y se calculó su densidad. De los resultados obtenidos se concluye que la resistencia mecánica de mezclas de concreto hidráulico modificadas con residuos de chatarra electrónica es mayor en comparación con las convencionales (mezclas que emplean concreto hidráulico sin ningún aditivo).

Los componentes desarrollados son ecológicos, porque se utiliza para su elaboración un residuo que hasta el presente no tiene una disposición final apropiada, siendo su destino habitual, cuando ya no tiene cabida en bodegas, basurales en donde se

acumula o quema produciendo contaminación, o se entierra en predios sanitarios desaprovechando un recurso valioso.

La tecnología del concreto hidráulico modificado, en el mundo, ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar las características que presentan las mezclas convencionales. Por lo general, lo que se busca con este tipo de tecnología es mejorar algunas de las propiedades mecánicas, tales como la rigidez, la resistencia al envejecimiento, a la fatiga y la susceptibilidad térmica. Para esto se han empleado diferentes métodos o se han utilizado diferentes materiales en los diseños de mezcla para comprobar si estas adiciones o modificaciones hacen variar las características del material.

Unos de los materiales más utilizados en estos diseños de mezclas de concreto hidráulico no convencionales han sido los polímeros, ya sea que provengan de desechos o que se haya elaborado un material sintético para cumplir con este requisito, estos son los materiales de uso “común” para tratar de mejorar las propiedades del concreto.

La relación del antecedente anteriormente expuesto con la investigación radica en que ambas investigaciones buscan soluciones alternas al problema de el alto costo de los aditivos químicos utilizando así aditivos naturales que son de bajo costo y con facilidad para conseguir como los son residuos de chatarras electrónicas y arcillas.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Cemento

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse después de ponerse en contacto con el agua. El producto resultante de la molienda de estas rocas es llamada Clinker y se convierte en cemento cuando se le agrega una pequeña cantidad de yeso para que adquiera la propiedad de fraguar al añadirle agua y endurecerse posteriormente. Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada hormigón (en España, parte de Suramérica y el Caribe hispano) o concreto (en México, Centroamérica y parte de Sudamérica). Su uso está muy generalizado en la construcción e ingeniería civil.

2.2.1.1 Tipos de cemento

Se pueden establecer dos tipos básicos de cemento:

1. de origen arcilloso: obtenidos a partir de arcilla y piedra caliza en proporción 1 a 4 aproximadamente.
2. de origen puzolánico: la puzolana del cemento puede ser de origen orgánico o volcánico.

Desde el punto de vista químico se trata en general de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través del cocido de calcáreo, arcilla y arena. El material obtenido, molido muy finamente, una vez que se mezcla con agua se hidrata y solidifica progresivamente. Puesto que la composición química de los cementos es compleja, se utilizan terminologías específicas para definir las composiciones.

2.2.1.2 Propiedades generales del cemento

Buena resistencia al ataque químico.

Resistencia a temperaturas elevadas. Refractario.

Resistencia inicial elevada que disminuye con el tiempo.

Se ha de evitar el uso de armaduras. Con el tiempo aumenta la porosidad.

Uso apropiado para bajas temperaturas por ser muy exotérmico.

Está prohibido el uso de cemento aluminoso en hormigón pretensado. La vida útil de las estructuras de hormigón armado es más corta.

El fenómeno de conversión (aumento de la porosidad y caída de la resistencia) puede tardar en aparecer en condiciones de temperatura y humedad baja.

El proyectista debe considerar como valor de cálculo, no la resistencia máxima sino, el valor residual, después de la conversión, y no será mayor de 40 N/mm².

recubrimientos (debido al pH más bajo).

2.2.1.3 Proceso de fabricación

El proceso de fabricación del cemento comprende cuatro etapas principales:

1. Extracción y molienda de la materia prima
2. Homogeneización de la materia prima
3. Producción del Clinker
4. Molienda de cemento

La materia prima para la elaboración del cemento (caliza, arcilla, arena, mineral de hierro y yeso) se extrae de canteras o minas y, dependiendo de la dureza y ubicación del material, se aplican ciertos sistemas de explotación y equipos. Una vez extraída la materia prima es reducida a tamaños que puedan ser procesados por los molinos de crudo.

La etapa de homogeneización puede ser por vía húmeda o por vía seca, dependiendo de si se usan corrientes de aire o agua para mezclar los materiales. En el proceso húmedo la mezcla de materia prima es bombeada a balsas de homogeneización y de allí hasta los hornos en donde se produce el Clinker a temperaturas superiores a los 1500 °C. En el proceso seco, la materia prima es homogeneizada en patios de materia prima con el uso de maquinarias especiales. En este proceso el control químico es más eficiente y el consumo de energía es menor, ya que al no tener que eliminar el agua añadida con el objeto de mezclar los materiales, los hornos son más cortos y el clinker requiere menos tiempo sometido a las altas temperaturas.

El Clinker obtenido, independientemente del proceso utilizado en la etapa de homogeneización, es luego molido con pequeñas cantidades de yeso para finalmente obtener cemento.

2.2.2 El cemento portland

Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1824 el Portland Cement, obtenido de caliza arcillosa y carbón calcinados a alta temperatura, denominado así por su color gris verdoso oscuro, muy similar a la piedra de la isla de Portland. Isaac Johnson obtiene en 1845 el prototipo del cemento moderno elaborado de una mezcla de caliza y arcilla calcinada a alta temperatura, hasta la formación del clinker; el proceso de industrialización y la introducción de hornos rotatorios propiciaron su uso para gran variedad de aplicaciones, hacia finales del siglo XIX.

El concreto, por sus características pétreas, soporta bien esfuerzos de compresión, pero se fisura con otros tipos de solicitaciones (flexión, tracción, torsión, cortante); la inclusión de varillas metálicas que soportaran dichos esfuerzos propició optimizar sus características y su empleo generalizado en múltiples obras de ingeniería y arquitectura.

El cemento Portland se obtiene al calcinar a unos 1500 °C mezclas preparadas artificialmente de calizas y arcillas. El producto resultante, llamado Clinker de cemento (ver figura 1), luego se muele añadiendo una cantidad adecuada de regulador de fraguado, que suele ser piedra de yeso natural.



Figura 1. Clinker de cemento antes de su molienda

Fuente: Cemento y compuestos de hormigón, R. Gmür (2016)

La composición química media de un portland, según Calleja, está formada por un 62.5 % de CaO (cal combinada), un 21 % de SiO₂ (sílice), un 6.5 % de Al₂O₃ (alúmina), un

2.5 % de Fe₂O₃ (hierro) y otros minoritarios. Estos cuatro componentes son los principales del cemento, de carácter básico la cal y de carácter ácido los otros tres. Estos componentes no se encuentran libres en el cemento, sino combinados formando silicatos, aluminatos y ferritos cálcicos, que son los componentes hidráulicos del mismo o componentes potenciales. Un clinker de cemento portland de tipo medio contiene:

| | |
|---|-------------|
| Silicato tricálcico (3CaO·SiO ₂) | 40 % a 50 % |
| Silicato bicálcico (2CaO·SiO ₂) | 20 % a 30 % |
| Aluminato tricálcico (3CaO·Al ₂ O ₃) | 10 % a 15 % |
| Aluminato ferrito tetracálcico (4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃) | 5 % a 10 % |

Las dos principales reacciones de hidratación, que originan el proceso de fraguado y endurecimiento son:



El silicato tricálcico es el compuesto activo por excelencia del cemento pues desarrolla una resistencia inicial elevada y un calor de hidratación también elevado. Fragua lentamente y tiene un endurecimiento bastante rápido. En los cementos de endurecimiento rápido y en los de alta resistencia aparece en una proporción superior a la habitual.

El silicato bicálcico es el que desarrolla en el cemento la resistencia a largo plazo, es lento en su fraguado y en su endurecimiento. Su estabilidad química es mayor que la del silicato tricálcico, por ello los cementos resistentes a los sulfatos llevan un alto contenido de silicato bicálcico.

El aluminato tricálcico es el compuesto que gobierna el fraguado y las resistencias a corto. Su estabilidad química es buena frente al agua de mar, pero muy débil a los sulfatos. Al objeto de frenar la rápida reacción del aluminato tricálcico con el agua y regular el tiempo de fraguado del cemento se añade al Clinker piedra de yeso. El aluminato ferrito tetracálcico no participa en la resistencia mecánica, su presencia es necesaria por el aporte de fundentes de hierro en la fabricación del Clinker.

2.2.2.1 Hidratación del Cemento Portland

En términos químicos, la hidratación es una reacción de un compuesto anhidro con agua, formando un nuevo compuesto, un hidrato. En la química del cemento la hidratación comprende la reacción del cemento no hidratado o uno de sus constituyentes con agua, asociado con los cambios físicos y químicos del sistema, en particular con el fraguado y el endurecimiento.

Para una completa hidratación del cemento, este se debe mezclar con una cantidad suficiente de agua. La relación de agua y cemento en la mezcla (a/c) afecta la geología de la pasta producida, así como el progreso de la hidratación y las propiedades del material hidratado. La cinética de hidratación está influenciada por una variedad de factores, entre los que destacan:

La composición de la fase del cemento y la presencia de iones de solución sólida dentro de las redes cristalinas de las fases individuales del Clinker.

La finura del cemento, en particular por la distribución de tamaño de partícula y el área superficial.

La relación agua/cemento utilizada.

La temperatura de curado.

La presencia de aditivos químicos, que son sustancias químicas agregadas para modificar el grado de hidratación y las propiedades de la pasta de cemento.

Las adiciones hidráulicas y puzolánicas, como la escoria granulada de alto horno, la ceniza volante y el humo de sílice.

1. Periodo inicial: las partículas con el agua se encuentran en estado de disolución, existiendo una intensa reacción exotérmica inicial. Dura aproximadamente diez minutos.
2. Periodo durmiente: en las partículas se produce una película gelatinosa, la cual inhibe la hidratación del material durante una hora aproximadamente.

3. Inicio de rigidez: al continuar la hidratación de las partículas de cemento, la película gelatinosa comienza a crecer, generando puntos de contacto entre las partículas, las cuales en conjunto inmovilizan la masa de cemento. También se le llama fraguado. Por lo tanto, el fraguado sería el aumento de la viscosidad de una mezcla de cemento con agua.
4. Ganancia de resistencia: al continuar la hidratación de las partículas de cemento, y en presencia de cristales de CaOH_2 , la película gelatinosa (la cual está saturada en este punto) desarrolla unos filamentos tubulares llamados «agujas fusiformes», que al aumentar en número generan una trama que aumenta la resistencia mecánica entre los granos de cemento ya hidratados.
5. Fraguado y endurecimiento: el principio de fraguado es el tiempo de una pasta de cemento de difícil moldeado y de alta viscosidad. Luego la pasta se endurece y se transforma en un sólido resistente que no puede ser deformado. El tiempo en el que alcanza este estado se llama «final de fraguado».

2.2.2.2 Almacenamiento

Si es cemento en sacos, deberá almacenarse sobre parrillas de madera o piso de tablas; no se apilará en hileras superpuestas de más de 14 sacos de altura para almacenamiento de 30 días, ni de más de 7 sacos de altura para almacenamientos hasta de 2 meses. Para evitar que el cemento envejezca indebidamente, después de llegar al área de las obras, el contratista deberá utilizarlo en la misma secuencia cronológica de su llegada. No se utilizará bolsa alguna de cemento que tenga más de dos meses de almacenamiento en el área de las obras, salvo que nuevos ensayos demuestren que está en condiciones satisfactorias.

2.2.3 Cemento puzolánico

Se denomina puzolana a una fina ceniza volcánica que se extiende principalmente en la región del Lazio y la Campania, su nombre deriva de la localidad de Pozzuoli, en las proximidades de Nápoles, en las faldas del Vesubio. Posteriormente se ha generalizado a las cenizas volcánicas en otros lugares. Ya Vitrubio describía cuatro tipos de puzolana: negra, blanca, gris y roja. Mezclada con cal (en la relación de 2 a 1) se comporta como el

cemento puzolánico, y permite la preparación de una buena mezcla en grado de fraguar incluso bajo agua.

Esta propiedad permite el empleo innovador del hormigón, como ya habían entendido los romanos: El antiguo puerto de Cosa (puerto) fue construido con puzolana mezclada con cal apenas antes de su uso y colada bajo agua, probablemente utilizando un tubo, para depositarla en el fondo sin que se diluya en el agua de mar. Los tres muelles son visibles todavía, con la parte sumergida en buenas condiciones después de 2100 años. La puzolana es una piedra de naturaleza ácida, muy reactiva, al ser muy porosa y puede obtenerse a bajo precio. Un cemento puzolánico contiene aproximadamente:

55-70 % de clinker Portland

30-45 % de puzolana

2-4 % de yeso

Puesto que la puzolana se combina con la cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), se tendrá una menor cantidad de esta última. Pero justamente porque la cal es el componente que es atacado por las aguas agresivas, el cemento puzolánico será más resistente al ataque de estas. Por otro lado, como el $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ está presente solamente en el componente constituido por el clinker Portland, la colada de cemento puzolánico desarrollará un menor calor de reacción durante el fraguado. Este cemento es por lo tanto adecuado para ser usado en climas particularmente calurosos o para coladas de grandes dimensiones. Se/ usa principalmente en elementos en las que se necesita alta impermeabilidad y durabilidad.

2.2.4 Concreto convencional

Es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade áridos (agregado), agua y aditivos específicos. El aglomerante es, en la mayoría de las ocasiones, cemento (generalmente cemento Portland) mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de su diámetro medio, son los áridos (que se clasifican en grava, gravilla y arena). La sola mezcla de cemento con arena y agua (sin la participación de un agregado) se denomina mortero.

Existen hormigones que se producen con otros conglomerantes que no son cemento, como el hormigón asfáltico que utiliza betún para realizar la mezcla.

El cemento es un material pulverulento que por sí mismo no es aglomerante, y que, mezclado con agua, al hidratarse se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece, tornándose en un material de consistencia pétreo. El cemento consiste esencialmente en silicato cálcico hidratado (S-C-H). Este compuesto es el principal responsable de sus características adhesivas. Se denomina cemento hidráulico cuando el cemento, resultante de su hidratación, es estable en condiciones de entorno acuosas. Además, para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones (en cantidades inferiores al 1 % de la masa total del concreto), existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores y retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, etc.

El concreto o concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m³ (137 hasta 150 libras/piés³). La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad. Algunos valores de densidad para el concreto fresco se presentan en la Tabla 1-1. En el diseño del concreto armado (reforzado), el peso unitario de la combinación del concreto con la armadura normalmente se considera 2400 kg/m³ (150 lb/ft³).

Dependiendo de las proporciones de cada uno de sus constituyentes existen varios tipos de hormigones. Se considera hormigón pesado aquel que posee una densidad de más de 3200 kg/m³, debido al empleo de agregados densos (empleado protección contra las radiaciones), el hormigón normal, empleado en estructuras, que posee una densidad de 2200 kg/m³, y el hormigón ligero, con densidades de 1800 kg/m³.

La principal característica estructural del concreto es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de

esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.), y por este motivo es habitual usarlo asociado a ciertas armaduras de acero, recibiendo en este caso la denominación de concreto u hormigón armado). Este conjunto se comporta muy favorablemente ante las diversas sollicitaciones o esfuerzos mencionados anteriormente. Cuando se proyecta una estructura de concreto armado se establecen las dimensiones de los elementos, el tipo de concreto, los aditivos y el acero que hay que colocar en función de los esfuerzos que deberá soportar y de las condiciones ambientales a que estará expuesto.

A finales del siglo XX, ya era el material más empleado en la industria de la construcción. Se le da forma mediante el empleo de moldes rígidos denominados: encofrados. Su empleo es habitual en obras de arquitectura e ingeniería, tales como edificios, puentes, diques, puertos, canales, túneles, etc. Incluso en aquellas edificaciones cuya estructura principal se realiza en acero, su utilización es imprescindible para conformar la cimentación. La variedad de hormigones que han ido apareciendo a finales del siglo XX, ha permitido que existan por ejemplo: concreto reforzado con fibras de vidrio (GRC), hormigones celulares que se aligeran con aire, aligerados con fibras naturales,

2.2.5 Concretos de cementos naturales

Panteón de Roma (siglo II)

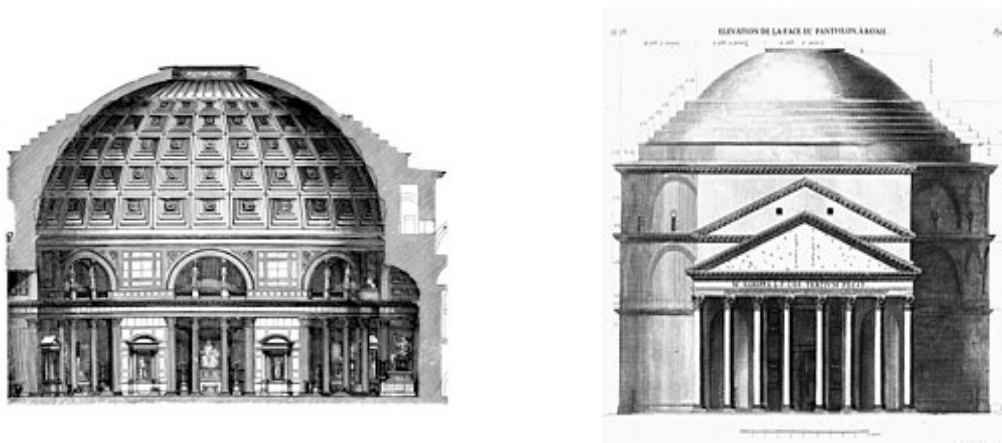


Figura 2. Cúpula del panteón de Roma.

Fuente: Cemento y compuestos de hormigón, K. Vance (2013)

La cúpula semiesférica del Panteón de Roma como se observa en la Figura 2, de 43.44 m de diámetro ha resistido diecinueve siglos sin reformas o refuerzos. El grueso anillo murario es de opera latericia (concreto con ladrillo) y la cúpula se aligeró utilizando piedra pómez como árido.

En la Antigua Grecia, hacia el 500 a. C., se mezclaban compuestos de caliza calcinada con agua y arena, añadiendo piedras trituradas, tejas rotas o ladrillos, dando origen al primer concreto de la historia, usando tobas volcánicas extraídas de la isla de Santorini. Los antiguos romanos emplearon tierras o cenizas volcánicas, conocidas también como puzolana, que contienen sílice y alúmina, que, al combinarse químicamente con la cal, daban como resultado el denominado cemento puzolánico (obtenido en Pozzuoli, cerca del Vesubio). Añadiendo a su masa trozos de cerámicas u otros materiales de baja densidad (piedra pómez) obtuvieron el primer concreto aligerado. Con este material se construyeron desde tuberías a instalaciones portuarias, cuyos restos aún perduran. Destacan construcciones como los diversos arcos del Coliseo romano, los nervios de la bóveda de la Basílica de Majencia, con luces de más de 25 metros, las bóvedas de las Termas de Caracalla, y la cúpula del Panteón de Agripa, de unos 43 metros de diámetro, la de mayor luz durante siglos.

Tras la caída del Imperio romano, el concreto fue poco utilizado, posiblemente debido a la falta de medios técnicos y humanos, la mala calidad de la cocción de la cal, y la carencia o lejanía de tobas volcánicas. No se encuentran muestras de su uso en grandes obras hasta el siglo XIII, en que se vuelve a utilizar en los cimientos de la Catedral de Salisbury, o en la célebre Torre de Londres, en Inglaterra. Durante el Renacimiento su empleo fue escaso y muy poco significativo.

En algunas ciudades y grandes estructuras, construidas por mayas y aztecas en México o las de Machu Pichu en el Perú, se utilizaron materiales cementantes. En el siglo XVIII se reaviva el afán por la investigación. John Smeaton, un ingeniero de Leeds fue comisionado para construir por tercera vez un faro en el acantilado de Edystone, en la costa de Cornualles, empleando piedras unidas con un mortero de cal calcinada para conformar una construcción monolítica que soportara la constante acción de las olas y los húmedos vientos; fue concluido en 1759 y la cimentación aún perdura.

2.2.6 Características y comportamiento del concreto

El concreto muestra en una de sus secciones muchas escalas de agregación. Resulta necesario investigar en las propiedades microscópicas del concreto si se desea conocer sus propiedades mecánicas. Es el material resultante de unir áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante. El conglomerante puede ser cualquiera, pero cuando nos referimos al concreto, generalmente es un cemento artificial, y entre estos últimos, el más importante y habitual es el cemento portland. Los áridos proceden de la desintegración o trituración, natural o artificial de rocas y, según la naturaleza de las mismas, reciben el nombre de áridos silíceos, calizos, graníticos, etc. El árido cuyo tamaño sea superior a 5 mm se llama árido grueso o grava, mientras que el inferior a 5 mm se llama árido fino o arena. El tamaño de la grava influye en las propiedades mecánicas del concreto.

La pasta formada por cemento y agua es la que confiere al concreto su fraguado y endurecimiento, mientras que el árido es un material inerte sin participación directa en el fraguado y endurecimiento del concreto. El cemento se hidrata en contacto con el agua, iniciándose diversas reacciones químicas de hidratación que lo convierten en una pasta maleable con buenas propiedades adherentes, que en el transcurso de unas horas, derivan en el fraguado y endurecimiento progresivo de la mezcla, obteniéndose un material de consistencia pétreo.

Una característica importante del concreto es poder adoptar formas distintas, a voluntad del proyectista. Al colocarse en obra es una masa plástica que permite rellenar un molde, previamente construido con una forma establecida, que recibe el nombre de encofrado.

2.2.6.1 Características mecánicas del concreto

La principal característica estructural del concreto es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las sollicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas. Para determinar la resistencia se preparan ensayos mecánicos (ensayos de rotura) sobre probetas de concreto.

Para superar este inconveniente, se "arma" el concreto introduciendo barras de acero, conocido como concreto armado, o concreto reforzado, permitiendo soportar los

esfuerzos cortantes y de tracción con las barras de acero. Es usual, además, disponer barras de acero reforzando zonas o elementos fundamentalmente comprimidos, como es el caso de los pilares. Los intentos de compensar las deficiencias del concreto a tracción y cortante originaron el desarrollo de una nueva técnica constructiva a principios del siglo XX, la del concreto armado. Así, introduciendo antes del fraguado alambres de alta resistencia tensados en el concreto, este queda comprimido al fraguar, con lo cual las tracciones que surgirían para resistir las acciones externas, se convierten en descompresiones de las partes previamente comprimidas, resultando muy ventajoso en muchos casos.

Para el pretensado se utilizan aceros de muy alto límite elástico, dado que el fenómeno denominado fluencia lenta anularía las ventajas del pretensado. Posteriormente se investigó la conveniencia de introducir tensiones en el acero de manera deliberada y previa al fraguado del concreto de la pieza estructural, desarrollándose las técnicas del concreto pretensado y el concreto postensado. Los aditivos permiten obtener concreto de alta resistencia; la inclusión de monómeros y adiciones para concreto aportan múltiples mejoras en las propiedades del concreto.

Cuando se proyecta un elemento de concreto armado se establecen las dimensiones, el tipo de concreto, la cantidad, calidad, aditivos, adiciones y disposición del acero que hay que aportar en función los esfuerzos que deberá resistir cada elemento. Un diseño racional, la adecuada dosificación, mezcla, colocación, consolidación, acabado y curado, hacen del concreto un material idóneo para ser utilizado en construcción, por ser resistente, durable, incombustible, casi impermeable, y requerir escaso mantenimiento. Como puede ser moldeado fácilmente en amplia variedad de formas y adquirir variadas texturas y colores, se utiliza en multitud de aplicaciones.

2.2.6.2 Características físicas del concreto

Las principales características físicas del concreto, en valores aproximados, son:

Densidad: en torno a 2350 kg/m^3

Resistencia a compresión: de 150 a 500 kg/cm^2 (15 a 50 MPa) para el concreto ordinario. Existen hormigones especiales de alta resistencia que alcanzan hasta 2000 kg/cm^2 (200 MPa).

Resistencia a tracción: proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a compresión y, generalmente, poco significativa en el cálculo global.

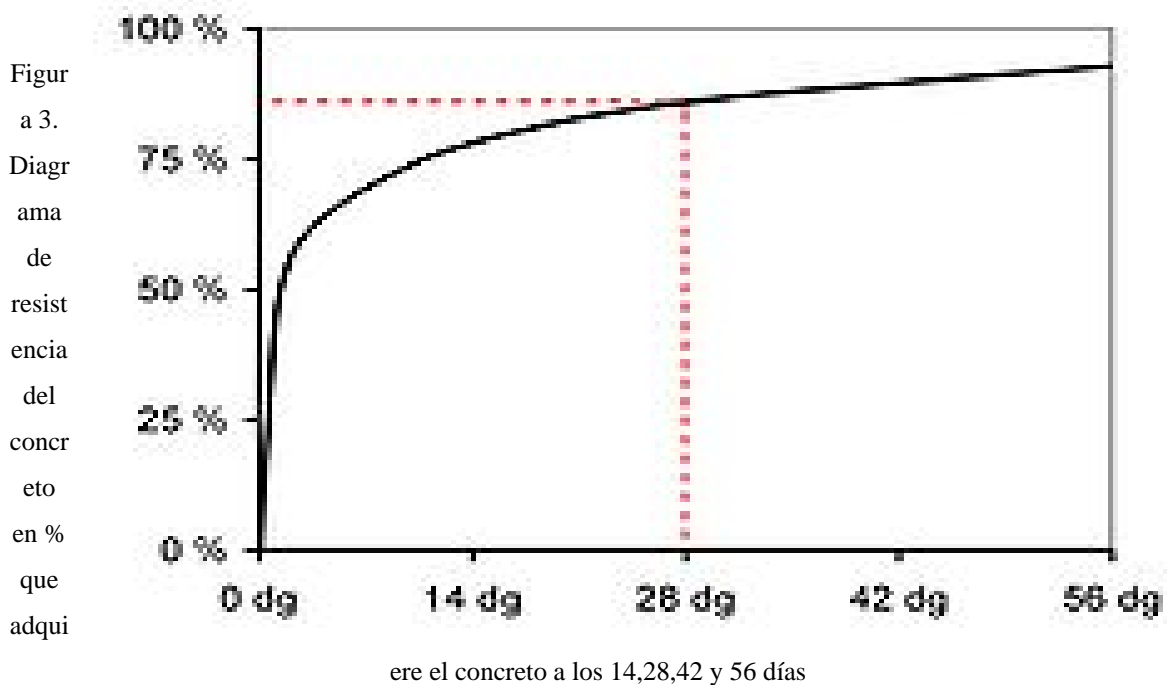
Tiempo de fraguado: dos horas, aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.

Tiempo de endurecimiento: progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros.

De 24 a 48 horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima; en una semana 3/4 partes, y en 4 semanas prácticamente la resistencia total de cálculo

Dado que el concreto se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tienen parecido coeficiente de dilatación térmico, resulta muy útil su uso simultáneo en obras de construcción; además, el concreto protege al acero de la oxidación al recubrirlo.(ver figura 3)

2.2.7 Fraguado y endurecimiento del concreto



Fuente. La química de la fabricación de cemento Portland. Segunda Edición. H.F.W. Taylor 1997

La pasta del concreto se forma mezclando cemento artificial y agua debiendo embeber totalmente a los áridos. La principal cualidad de esta pasta es que fragua y endurece progresivamente, tanto al aire como bajo el agua. El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el paso de la pasta del estado fluido al estado sólido. Esto se observa de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie del concreto. Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provocan el endurecimiento de la masa y que se caracteriza por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.

El fraguado y endurecimiento no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad solo hay un único proceso de hidratación continuo. En el cemento portland, el más frecuente empleado en los concretos, el primer componente en reaccionar es el aluminato tricálcico con una duración rápida y corta (hasta 7-28 días). Después el silicato tricálcico, con una aportación inicial importante y continua durante bastante tiempo. A continuación el silicato bicálcico con una aportación inicial débil y muy importante a partir de los 28 días.

El fenómeno físico de endurecimiento no tiene fases definidas. El cemento está en polvo y sus partículas o granos se hidratan progresivamente, inicialmente por contacto del agua con la superficie de los granos, formándose algunos compuestos cristalinos y una gran parte de compuestos microcristalinos asimilables a coloides que forman una película en la superficie del grano. A partir de entonces el endurecimiento continúa dominado por estas estructuras coloidales que envuelven los granos del cemento y a través de las cuales progresa la hidratación hasta el núcleo del grano.

El hecho de que pueda regularse la velocidad con que el cemento amasado pierde su fluidez y se endurece, lo hace un producto muy útil en construcción. Una reacción rápida de hidratación y endurecimiento dificultaría su transporte y una cómoda puesta en obra rellenando todos los huecos en los encofrados. Una reacción lenta aplazaría de forma importante el desarrollo de resistencias mecánicas. En las fábricas de cemento se consigue

controlando la cantidad de yeso que se añade al clinker de cemento. En la planta de concreto, donde se mezcla la pasta de cemento y agua con los áridos, también se pueden añadir productos que regulan el tiempo de fraguado.

En condiciones normales un concreto portland normal comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado trascurridas sobre 10 o 12 horas. Después comienza el endurecimiento que lleva un ritmo rápido en los primeros días hasta llegar al primer mes, para después aumentar más lentamente hasta llegar al año donde prácticamente se estabiliza. (ver cuadro 1). Se observa la evolución de la resistencia a compresión de un concreto tomando como unidad la resistencia a 28 días, siendo cifras orientativas:

Cuadro 1. Evolución de la resistencia a Compresion de un concreto Portland normal.

| Descripción | Días | | | | |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Edad del concreto en días | 3 | 7 | 28 | 90 | 360 |
| Resistencia a compresión | 0.40 | 0.65 | 1.00 | 1.20 | 1.35 |

Fuente: La química de la fabricación de cemento Portland. Segunda Edición. H.F.W. Taylor 1997

2.2.8 Resistencia del concreto

Para comprobar que el concreto colocado en obra tiene la resistencia requerida, se rellenan con el mismo concreto unos moldes cilíndricos normalizados y se calcula su resistencia en un laboratorio realizando ensayos de rotura por compresión. En el proyecto previo de los elementos, la resistencia característica (f_{ck}) del concreto es aquella que se adopta en todos los cálculos como resistencia a compresión del mismo, y dando por hecho que el concreto que se ejecutará resistirá ese valor, se dimensionan las medidas de todos los elementos estructurales.

La resistencia característica de proyecto (f_{ck}) establece por tanto el límite inferior, debiendo cumplirse que cada amasada de concreto colocada tenga esa resistencia como mínimo. En la práctica, en la obra se realizan ensayos estadísticos de resistencias de los concretos que se colocan y el 95 % de los mismos debe ser superior a f_c , considerándose que, con el nivel actual de la tecnología del concreto, una fracción defectuosa del 5 % es perfectamente aceptable.

La resistencia del concreto a compresión se obtiene en ensayos de rotura por compresión de probetas cilíndricas normalizadas realizados a los 28 días de edad y fabricadas con las mismas amasadas puestas en obra. La Instrucción española (EHE) recomienda utilizar la siguiente serie de resistencias características a compresión a 28 días (medidas en Newton/mm²): 20; 25; 30, 35; 40; 45 y 50. Por ello, las plantas de fabricación de concreto suministran habitualmente concretos que garantizan estas resistencias.

2.2.9 Consistencia del concreto fresco

La consistencia es la mayor o menor facilidad que tiene el concreto fresco para deformarse y consiguientemente para ocupar todos los huecos del molde o encofrado. Influyen en ella distintos factores, especialmente la cantidad de agua de amasado, pero también el tamaño máximo del árido, la forma de los áridos y su granulometría como se puede observar en la figura 5 y figura 6. La consistencia se fija antes de la puesta en obra, analizando cual es la más adecuada para la colocación según los medios que se dispone de compactación. Se trata de un parámetro fundamental en el concreto fresco.

Entre los ensayos que existen para determinar la consistencia, el más empleado es el cono de Abrams. Consiste en llenar con concreto fresco un molde troncocónico de 30 cm de altura. La pérdida de altura que se produce cuando se retira el molde, es la medida que define la consistencia. Los concretos se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos y fluidos tal como se indica en la tabla 2:

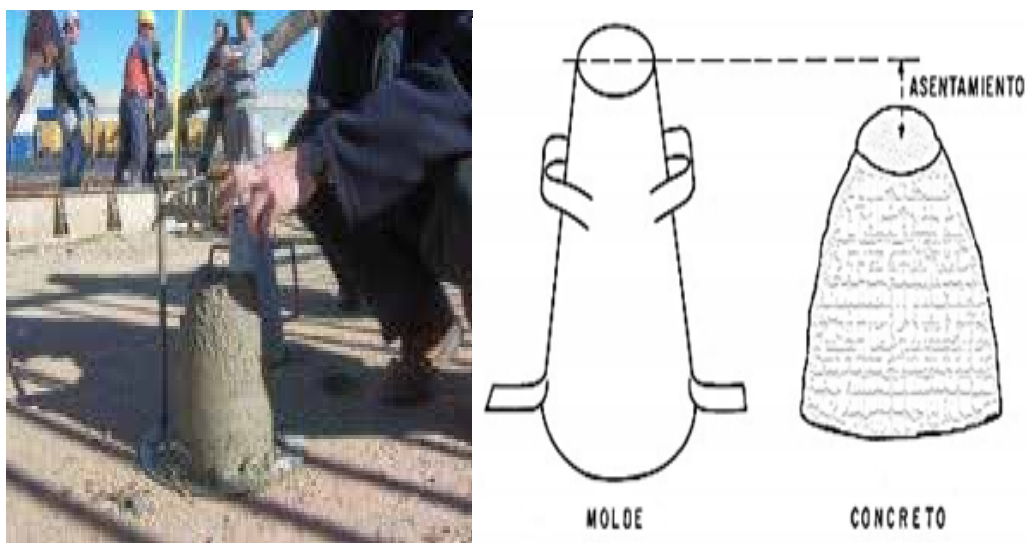


Figura 4.: Ensayo de consistencia en concreto fresco mediante el Cono de Abrams que mide el asiento que se produce en una forma troncocónica normalizada cuando se desmolda.)

Fuente: Tecnología del concreto y del mortero. Tercera Edición. Sánchez de Guzmán Diego. 1996

Cuadro 2. Consistencia de concreto fresco

| Consistencia | Asiento en cono de Abrams (cm) | Compactación |
|--------------|--------------------------------|------------------|
| Seca | 0-2 | Vibrado |
| Plástica | 3-5 | Vibrado |
| Blanda | 6-9 | Picado con barra |
| Fluida | 10-15 | Picado con barra |
| Líquida | 16-20 | Picado con barra |

Fuente: Tecnología del concreto y del mortero. Tercera Edición. Sánchez de Guzmán Diego. 1996

2.2.10 Durabilidad

Las presas de concreto son una tipología habitual en la construcción de embalses. En las imágenes la presa de Hoover construida en Estados Unidos en 1936 está diseñada con forma parabólica para optimizar la capacidad del concreto de soportar esfuerzos a compresión. La durabilidad del concreto se define en la Instrucción española EHE como la capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas y químicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura protegiendo también las armaduras y elementos metálicos embebidos en su interior.

2.2.11 Prueba de compresión.

Por tanto, no solo hay que considerar los efectos provocados por las cargas y sollicitaciones, sino también las condiciones físicas y químicas a las que se expone. Por ello se considera el tipo de ambiente en que se va a encontrar la estructura y que puede afectar a la corrosión de las armaduras, ambientes químicos agresivos, zonas afectadas por ciclos de hielo-deshielo, etc.

Para garantizar la durabilidad del concreto y la protección de las armaduras frente a la corrosión es importante realizar un concreto con una permeabilidad reducida, realizando una mezcla con una relación agua/cemento baja, una compactación idónea, un peso en cemento adecuado y la hidratación suficiente de éste añadiendo agua de curado para completarlo. De esta forma se consigue que haya los menos poros posibles y una red capilar interna poco comunicada y así se reducen los ataques al concreto. En los casos de existencia de sulfatos en el terreno o de agua de mar se deben emplear cementos especiales. Para prevenir la corrosión de armaduras hay que cuidar el recubrimiento mínimo de las mismas.

2.2.12 Tipos de concreto

En la Instrucción española (EHE), publicada en 1998, los hormigones están tipificados según el siguiente formato siendo obligatorio referirse de esta forma en los planos y demás documentos de proyecto, así como en la fabricación y puesta en obra (figura 7):
Hormigón **T – R / C / TM /**

T: se denominará HM cuando sea hormigón en masa, HA cuando sea hormigón armado y HP cuando sea hormigón pretensado.

R: resistencia característica del hormigón expresada en N/mm².

C: letra inicial del tipo de consistencia: S Seca, P plástica, B Blanda, F Fluida y L Líquida.

TM: tamaño máximo del árido expresado en milímetros.

A: designación del ambiente a que estará expuesto el hormigón.

Cuadro 3 Tipos de concreto

| | |
|----------------------------|--|
| Hormigón ordinario | También se suele referir a él denominándolo simplemente hormigón, se obtiene de mezclar cemento portland, agua y áridos (grava y arena) de varios tamaños, superiores e inferiores a 5 mm. |
| Hormigón en masa | Es el hormigón que no contiene en su interior armaduras de acero. Este hormigón solo es apto para resistir esfuerzos de compresión. |
| Hormigón armado | Es el hormigón que en su interior tiene armaduras de acero, debidamente calculadas y situadas, es apto para resistir esfuerzos de compresión y tracción. Los esfuerzos de tracción los resisten las armaduras de acero. Es el hormigón más habitual. |
| Hormigón pretensado | Es el hormigón que tiene en su interior una armadura de acero especial tensionadas a la tracción posteriormente al vertido del hormigón. Puede ser pre-tensado si la armadura se ha tensado antes de colocar el hormigón fresco. |
| Hormigón postensado | Es el hormigón que tiene en su interior una armadura de acero especial sometida a tracción. El tensado de la armadura es posterior al fraguado y endurecido del hormigón, anclando con |

| | |
|-----------------------------------|--|
| | posterioridad las armaduras al hormigón. |
| Hormigón autocompactante | Es el hormigón que como consecuencia de una dosificación estudiada y del empleo de aditivos superplastificantes específicos, se compacta por la acción de su propio peso, sin necesidad de energía de vibración ni de cualquier otro método de compactación. Se usa en hormigones a la vista, en elementos de geometría complicadas, espesores delgados o con armados densos, que dificultan el vibrado. |
| Mortero | Es una mezcla de cemento, agua y arena (árido fino), es decir, un hormigón normal sin árido grueso. |
| Hormigón ciclópeo | Es el hormigón que tiene embebidos en su interior grandes piedras de dimensión no inferior a 30 cm. |
| Hormigón sin finos | Es aquel que solo tiene árido grueso, es decir, no tiene arena (árido menor de 5 mm). ²² |
| Hormigón aireado o celular | Se obtiene incorporando a la mezcla aire u otros gases derivados de reacciones químicas, resultando un hormigón baja densidad. ²² |
| Hormigón de alta densidad | Fabricados con áridos de densidades superiores a los habituales (normalmente barita, magnetita, hematita...) El hormigón pesado se utiliza para blindar estructuras y proteger frente a la radiación. |

Fuente: Cemento y compuestos de hormigón, K. Vance (2013)

2.2.13 Producción mundial del concreto

La producción mundial del cemento fue de más de 2500 millones de toneladas en 2007. Estimando una dosificación de cemento entre 250 y 300 kg de cemento por metro cúbico de concreto, significa que se podrían producir de 8000 a 10 000 millones de metros cúbicos, que equivalen a 1.5 metros cúbicos de concreto por persona. Ningún material de construcción ha sido usado en tales cantidades y en un futuro no parece existir otro material

de construcción que pueda competir con el concreto en magnitud de volumen. Como se observa en la (figura 5) y en la (tabla 3):

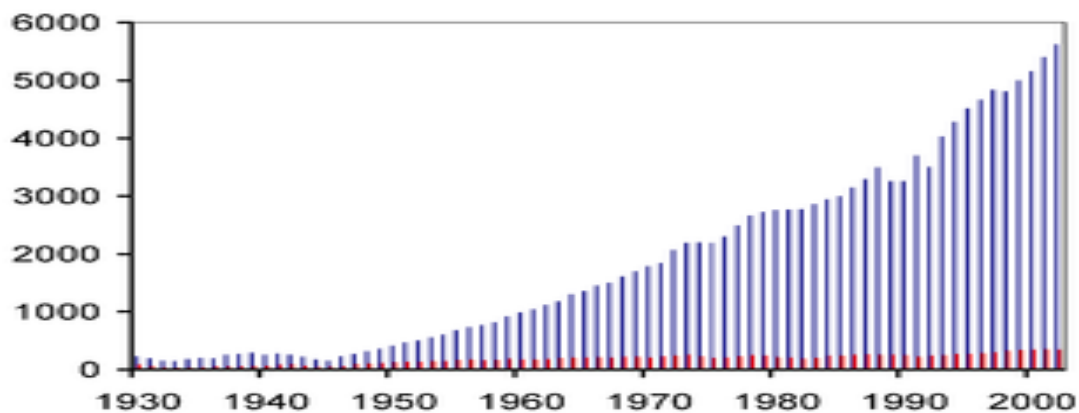


Figura 5. Producción mundial de concreto

■ Producción mundial de concreto. ■ Producción en Estados Unidos Datos en millones de metros cúbicos.

Cuadro 4. Producción mundial de concreto (miles de toneladas)

| País | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| China | 1 040 000 | 1 200 000 | 1 300 000 | 1 388 400 |
| India | 145 000 | 155 000 | 160 000 | 177 000 |
| Estados Unidos | 101 000 | 99 700 | 96 400 | 87 600 |
| Japón | 69 600 | 69 900 | 70 000 | 62 800 |
| Rusia | 48 700 | 54 700 | 59 000 | 53 600 |
| Rep. Corea | 51 400 | 55 000 | 55 000 | 53 900 |
| España | 50 300 | 54 000 | 50 000 | 80 100 |
| Italia | 46 400 | 43 200 | 44 000 | 43 000 |

| | | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| México | 36 000 | 40 600 | 41 000 | 47 600 |
| Brasil | 36 700 | 39 500 | 40 000 | 51 900 |
| TOTAL, MUNDIAL | 2 310 000 | 2 550 000 | 2 600 000 | 2 840 000 |

2.2.14 Áridos

Los áridos deben poseer por lo menos la misma resistencia y durabilidad que se exija al concreto. No se deben emplear calizas blandas, feldespatos, yesos, piritas o rocas friables o porosas. Para la durabilidad en medios agresivos serán mejores los áridos silíceos, los procedentes de la trituración de rocas volcánicas o los de calizas sanas y densas. El árido que tiene mayor responsabilidad en el conjunto es la arena. Según Jiménez Montoya no es posible hacer un buen concreto sin una buena arena. Las mejores arenas son las de río, que normalmente son cuarzo puro, por lo que aseguran su resistencia y durabilidad.

Con áridos naturales rodados, los concretos son más trabajables y requieren menos agua de amasado que los áridos de machaqueo, teniéndose además la garantía de que son piedras duras y limpias. Los áridos machacados procedentes de trituración, al tener más caras de fractura cuesta más ponerlos en obra, pero se traban mejor y se refleja en una mayor resistencia. Si los áridos rodados están contaminados o mezclados con arcilla, es imprescindible lavarlos para eliminar la camisa que envuelve los granos y que disminuiría su adherencia a la pasta de concreto. De igual manera los áridos de machaqueo suelen estar rodeados de polvo de machaqueo que supone un incremento de finos al concreto, precisa más agua de amasado y darán menores resistencias por lo que suelen lavarse.

Los áridos que se emplean en concretos se obtienen mezclando tres o cuatro grupos de distintos tamaños para alcanzar una granulometría óptima. Tres factores intervienen en una granulometría adecuada: el tamaño máximo del árido, la compacidad y el contenido de granos finos. Cuando mayor sea el tamaño máximo del árido, menores serán las necesidades de cemento y de agua, pero el tamaño máximo viene limitado por las dimensiones mínimas del elemento a construir o por la separación entre armaduras, ya que

esos huecos deben quedar rellenos por el concreto y, por tanto, por los áridos de mayor tamaño.

En una mezcla de áridos una compacidad elevada es aquella que deja pocos huecos; se consigue con mezclas pobres en arenas y gran proporción de áridos gruesos, precisando poca agua de amasado; su gran dificultad es conseguir compactar el concreto, pero si se dispone de medios suficientes para ello el resultado son concretos muy resistentes. En cuanto al contenido de granos finos, estos hacen la mezcla más trabajable, pero precisan más agua de amasado y de cemento. En cada caso hay que encontrar una fórmula de compromiso teniendo en cuenta los distintos factores. Las parábolas de Fuller y de Bolomey dan dos familias de curvas granulométricas muy utilizadas para obtener adecuadas dosificaciones de áridos.

2.2.15 Agua

El agua de amasado interviene en las reacciones de hidratación del cemento. La cantidad de la misma debe ser la estricta necesaria, pues la sobrante que no interviene en la hidratación del cemento se evaporará y creará huecos en el concreto disminuyendo la resistencia del mismo. Puede estimarse que cada litro de agua de amasado de exceso supone anular dos kilos de cemento en la mezcla. Sin embargo, una reducción excesiva de agua originaría una mezcla seca, poco manejable y muy difícil de colocar en obra. Por ello es un dato muy importante fijar adecuadamente la cantidad de agua.

Las características del agua para el concreto deben ser evaluadas para que no produzca reacciones adversas en la mezcla, es por ello que se debe realizar análisis físico-químicos para garantizar su calidad. En la práctica un indicador simple es la potabilidad del agua, con ello podemos determinar si el agua es adecuada para su uso en la mezcla o no. Durante el fraguado y primer endurecimiento del concreto se añade el agua de curado para evitar la desecación y mejorar la hidratación del cemento.

Ambas, el agua destinada al amasado, como la destinada al curado deben ser aptas para cumplir su función. El agua de curado es muy importante que sea apta pues puede afectar más negativamente a las reacciones químicas cuando se está endureciendo el concreto. Normalmente el agua apta suele coincidir con la potable y están normalizados una serie de parámetros que debe cumplir. Así en la normativa está limitado el pH, el contenido

en sulfatos, en ion cloro y los hidratos de carbono. Cuando una masa es excesivamente fluida o muy seca hay peligro de que se produzca el fenómeno de la segregación (separación del concreto en sus componentes: áridos, cemento y agua). Suele presentarse cuando se hormigona con caídas de material superiores a los 2 metros.

2.2.16 Agregados

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial. Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto. Estos generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.

Son los encargados de conformar el esqueleto granular del concreto y son el elemento mayoritario ya que representan el 80-90% del peso total de concreto, por lo que son responsables de gran parte de las características del mismo. Generalmente son inertes y estables en sus dimensiones. La pasta cementicia (mezcla de cemento y agua) es el material activo dentro de la masa de concreto y como tal es en gran medida responsable de la resistencia, variaciones volumétricas y durabilidad del concreto. Es la matriz que une los elementos del esqueleto granular entre sí. Cada elemento tiene su rol dentro de la masa de concreto y su proporción en la mezcla es clave para lograr las propiedades deseadas, esto es: trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

2.2.16.1 Clasificación de los agregados

Existen varias formas de clasificar a los agregados, algunas de las cuales son:

Por su naturaleza

Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y hormigón (agregado global).

El agregado fino, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.

El agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

El 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.

Por su densidad

Se pueden clasificar en agregados de peso específico normal comprendidos entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75.

Por el origen, forma y textura superficial

Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angularidades. En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser:

Angular: Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.

Sub angular: Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.

Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.

Redondeada: Bordes casi eliminados.

Muy Redondeada: Sin caras ni bordes

Por el tamaño del agregado

Según su tamaño, los agregados para concreto son clasificados en:

Agregados finos (arenas) y

Agregados gruesos (piedras).

2.2.17 Áridos y Arenas:

El tamiz que separa un agregado grueso de uno fino es el de 4,75 mm. Es decir, todo agregado menor a 4,75 mm es un agregado fino (arena). La arena o árido fino es el material que resulta de la desintegración natural de las rocas o se obtiene de la trituración de las mismas, y cuyo tamaño es inferior a los 5mm. Para su uso se clasifican las arenas por su tamaño. A tal fin se les hace pasar por unos tamices que van reteniendo los granos más gruesos y dejan pasar los más finos.

-**Arena fina:** es la que sus granos pasan por un tamiz de mallas de 1mm de diámetro y son retenidos por otro de 0.25mm.

- **Arena media:** es aquella cuyos granos pasan por un tamiz de 2.5mm de diámetro y son retenidos por otro de 1mm.

- **Arena gruesa:** es la que sus granos pasan por un tamiz de 5mm de diámetro y son retenidos por otro de 2.5mm.

Las arenas de granos gruesos dan, por lo general, morteros más resistentes que las finas, si bien tienen el inconveniente de necesitar mucha pasta de conglomerante para rellenar sus huecos y será adherente. En contra partida, el mortero sea plástico, resultando éste muy poroso y poco adherente. El hormigón es un material formado por cemento, áridos de diferentes granulometrías, agua y aditivos que, mezclado en diferentes proporciones, permite obtener el hormigón que es distribuido en camiones hormigoneras.

Es un material vivo, no almacenable, ya que su tiempo de uso se limita a 90 minutos; a partir de los cuales el hormigón pierde sus propiedades. Las características especiales de este material obligan a fabricar bajo pedido, adecuando la producción a la situación geográfica, al horario y ritmo de cada obra, debiendo optimizar los recursos para ofrecer no sólo un producto de calidad sino un buen servicio al cliente. Cualquiera sea el tipo de material utilizado, sus partículas deben ser duras y resistentes, ya que el concreto, como cualquier otro material se romperá por su elemento más débil. Si el agregado es de mala calidad sus partículas se romperán antes que la pasta cementicia, o el mortero.

2.2.18 Agregado Fino:

Un agregado fino con partículas de forma redondeada y textura suave ha demostrado que requiere menos agua de mezclado, y por lo tanto es preferible en los HAD. Se acepta habitualmente, que el agregado fino causa un efecto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso. Los primeros tienen una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados, el requerimiento de pasta en la mezcla se verá afectado por la proporción en que se incluyan éstos.

Una óptima granulometría del árido fino es determinante por su requerimiento de agua en los HAD, más que por el acomodamiento físico. La experiencia indica que las arenas con un módulo de finura (MF) inferior a 2.5 dan hormigones con consistencia pegajosa, haciéndolo difícil de compactar. Arenas con un módulo de finura de 3.0 han dado los mejores resultados en cuanto a trabajabilidad y resistencia a la compresión.

2.2.19 Agregado Grueso:

Numerosos estudios han demostrado que para una resistencia a la compresión alta con un elevado contenido de cemento y baja relación agua-cemento el tamaño máximo de agregado debe mantenerse en el mínimo posible (12,7 a 9,5). En principio el incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia debido al aumento de la superficie específica de las partículas.

Se ha encontrado que la adherencia a una partícula de 76 mm. Es apenas un 10% de la correspondiente a una de 12,5 mm., y que excepto para agregados extremadamente buenos o malos, la adherencia es aproximadamente entre el 50 a 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días.

Las fuerzas de vínculo dependen de la forma y textura superficial del agregado grueso, de la reacción química entre los componentes de la pasta de cemento y los agregados. Otro aspecto que tiene que ver con el tamaño máximo del agregado es el hecho de que existe una mayor probabilidad de encontrar fisuras o fallas en una partícula de mayor tamaño provocadas por los procesos de explotación de las canteras (dinamitado) y

debido a la reducción de tamaño (trituración), lo cual lo convertirá en un material indeseable para su utilización en concreto.

También se considera que la alta resistencia producida por agregados de menor tamaño se debe a una baja en la concentración de esfuerzos alrededor de las partículas, la cual es causada por la diferencia de los módulos elásticos de la pasta y el agregado. Se ha demostrado que la grava triturada produce resistencias mayores que la redondeada. Esto se debe a la trabazón mecánica que se desarrolla en las partículas angulosas. Sin embargo, se debe evitar una angulosidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la trabajabilidad a que esto conlleva. El agregado ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, triturado 100%, con un mínimo de partículas planas y alongadas.

2.2.20 Funciones de agregado en el concreto

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- a. Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.
- b. Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- c. Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

Los agregados finos son comúnmente identificados por un número denominado Módulo de finura, que en general es más pequeño a medida que el agregado es más fino. Cuando el concreto está fresco, la pasta también lubrica las partículas de agregado otorgándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla. Para cumplir satisfactoriamente con estas funciones la pasta debe cubrir totalmente la superficie de los agregados si se fractura una piedra, como se observa en la (figura 7), se reducirá su tamaño y aparecerán nuevas superficies sin haberse modificado el peso total de piedra.

Por la misma razón, los agregados de menor tamaño tienen una mayor superficie para lubricar y demandarán mayor cantidad de pasta. En consecuencia, para elaborar concreto es recomendable utilizar el mayor tamaño de agregado compatible con las características de la estructura.

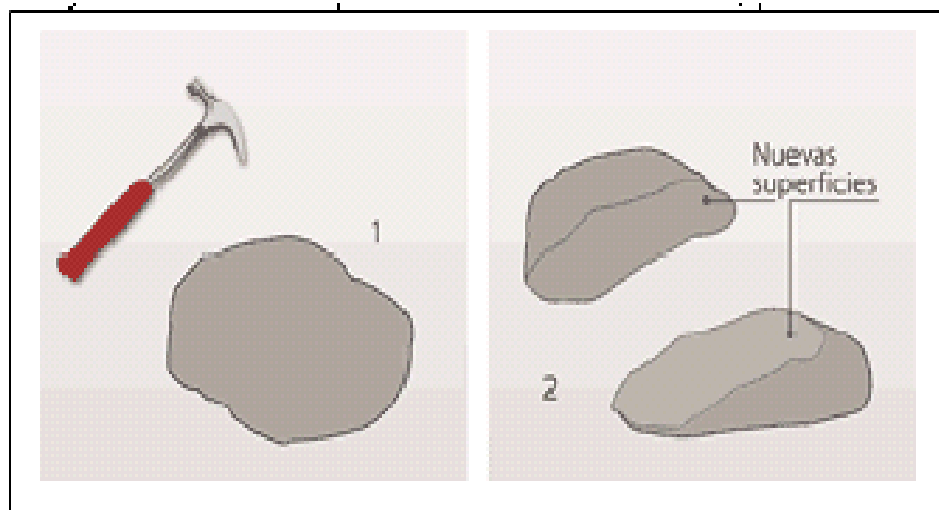


Figura 6. Superficie de los agregados si se fractura una piedra

Fuente: Construcción y Materiales de Construcción, S. Krishnan (2018)

La textura del material, dice que tan lisa o rugosa es la superficie del material es una característica ligada a la absorción pues agregados muy rugosos tienen mayor absorción que los lisos además que producen concretos menos plásticos. Pero hay un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del concreto. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del mortero (segregación). Llegado este caso se suele decir que el concreto es "áspero", "pedregoso" y "poco dócil".

En el concreto fresco, es decir recién elaborado y hasta que comience su fraguado, la pasta cementicia tiene la función de lubricar las partículas del agregado, permitiendo la movilidad de la mezcla. En este aspecto también colabora el agregado fino (arena). La arena debe estar presente en una cantidad mínima que permita una buena trabajabilidad y brinde cohesión a la mezcla. Pero no debe estar en exceso porque perjudicará las resistencias. Se debe optimizar la proporción de cada material de forma tal que se logren las propiedades deseadas al mismo costo.

El concreto reciclado, o concreto de desperdicio triturado, es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde escaseen agregados de calidad. los agregados de

calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia la pasta del cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Los agregados que contengan cantidades apreciables de esquistos o de otras rocas esquistosas, de materiales suaves y porosos, y ciertos tipos de horsteno deberán evitarse en especial, puesto que tiene baja resistencia al intemperismo y pueden ser causa de defectos en la superficie tales como erupciones.

2.2.21 Propiedades

2.2.21.1 Granulometría

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices. El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100(150 micras) hasta 9.52 mm.

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Para la construcción de vías terrestres, la norma ASTM D 448 enlista los trece números de tamaño de la ASTM C 33, más otros seis números de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaños de partícula. La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción.

2.2.21.1.1 Granulometría de los agregados finos

Depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y el tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se

elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango de granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia.

Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía.

Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30mm (No. 50) y de 15mm (No. 100) sean reducidos a 15% y 0%, respectivamente, siempre y cuando:

1): El agregado que se emplee en un concreto que contenga más de 296 Kg de cemento por metro cubico cuando el concreto no tenga inclusión de aire.

2): Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, el agregado fino se deberá rechazar a menos de que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones el agregado fino y grueso.

Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (No. 50) y de 1.15 mm (No. 100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial, y el sangrado del concreto. El módulo de finura (FM) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100.

El módulo de finura es un índice de la finura del agregado entre mayor sea el modo de finura, más grueso será el agregado. El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

2.2.21.1.2 Granulometría de los agregados gruesos

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores, para revenimiento de aproximadamente 7.5 cm para un amplio rango de tamaños de agregado grueso. El número de tamaño de la granulometría (o tamaño de la granulometría).

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño. Por ejemplo, el agregado de número de tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño

máximo nominal de 19 mm. De noventa a cien por ciento de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla 25 mm.

Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe pasar:

- 1): Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
- 2): Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
- 3): Un tercio del peralte de las losas.

2.2.22 Módulo de Fineza

Criterio Establecido en 1925 por Duff Abrams a partir de las granulometrías del material se puede intuir una fineza promedio del material utilizando la siguiente expresión:

$$MF = \frac{\text{---}}{\text{---}}$$

2.2.23 Propiedades físicas

a. Densidad

Depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario. Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción.

b. Porosidad

La palabra porosidad viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida en la partícula de agregado es una de las más importantes propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de éste, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad.

c. Peso Unitario

Es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de estos. el procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C29 y NTP

400.017. Es un valor útil sobre todo para hacer las transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa.

d. Porcentaje de Vacíos

Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. Se evalúa usando la siguiente expresión recomendada por ASTM C 29

$$\% \text{ vacios} = \frac{(SxW - P.U.C.)}{SxW} \times 100$$

Dónde:

S = Peso específico de masa

W = Densidad del agua

P.U.C. = Peso Unitario Compactado seco del agregado

e. Humedad

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia esta en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla se expresa de la siguiente forma:



2.2.24 Propiedades resistentes

a. Resistencia

La resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados; la textura la estructura y composición de las partículas del agregado influyen sobre la resistencia. Si los granos de los agregados no están bien cementados unos a otros consecuentemente serán débiles. La resistencia al chancado o compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total de la matriz cementante.

b. Tenacidad

Esta característica está asociada con la resistencia al impacto del material. está directamente relacionada con la flexión, angularidad y textura del material

c. Dureza

Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La dureza de las partículas depende de sus constituyentes. entre las rocas a emplear en concretos éstas deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión y pueden ser el cuarzo, la cuarcita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silicosas.

d. Módulo de elasticidad

Es definido como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándosele como una medida de la resistencia del material a las deformaciones. El módulo elástico se determina en muy inusual su determinación en los agregados como se observa en la (tabla 4), sin embargo el concreto experimentara deformaciones por lo que es razonable intuir que los agregados también deben tener elasticidades acordes al tipo de concreto. El valor del módulo de elasticidad además influye en el escurrimiento plástico y las contracciones que puedan presentarse.

Cuadro 5.Valores de módulos elásticos

| Tipo de agregado | Modulo Elástico |
|------------------|----------------------------|
| GRANITOS | 610000 kg/ cm ² |
| ARENISCAS | 310000 kg/ cm ² |
| CALIZAS | 280000 kg/ cm ² |
| DIABASAS | 860000 kg/ cm ² |
| GABRO | 860000 kg/ cm ² |

Fuente: Cemento y compuestos de hormigón, K. Vance (2013)

2.2.25 Diseño de mezcla de concreto

Se han realizado una gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas de concreto, en buena parte se entiende que el diseño de mezcla es un procedimiento empírico, y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño están basados principalmente en

lograr una resistencia a compresión para una edad determinada así como la manejabilidad apropiada para un tiempo determinado, además se debe diseñar para unas propiedades que el concreto debe cumplir cuando una estructura se coloca en servicio.

Es importante que el concreto se diseñe con la manejabilidad adecuada para la colocación, esta depende principalmente de las propiedades y características de los agregados y la calidad del cemento. Cuando se necesita mejorar las propiedades de manejabilidad, se puede pensar en incrementar la cantidad de mortero. Es fundamental la comunicación entre el diseñador, el constructor y el productor de concreto con el propósito de asegurar una buena mezcla de concreto. Una adición de agua en la obra es la peor solución para mejorar la manejabilidad del concreto, es totalmente contraproducente para la calidad del producto.

El costo de la elaboración de una mezcla de concreto está constituido básicamente por el costo de los materiales, equipo y mano de obra. La variación en el costo de los materiales se debe a que el precio del cemento por kilo es mayor que el de los agregados y de allí, que la proporción de estos últimos minimice la cantidad de cemento sin sacrificar la resistencia y demás propiedades del concreto. La diferencia en costo entre los agregados generalmente es secundaria; sin embargo, en algunas localidades o con algún tipo de agregado especial pueden ser suficientes para que influya en la selección y dosificación. El costo del agua usualmente no tiene ninguna influencia, mientras que el de los aditivos puede ser importante por su efecto potencial en la dosificación del cemento y los agregados.

El costo de la mano de obra depende de la trabajabilidad de la mezcla y de los métodos de colocación y compactación. Una mezcla poco trabajable con un equipo de compactación deficiente aumenta los costos de mano de obra. También la economía de un diseño de mezcla se debe contemplar el grado de control de calidad que se espera en la obra. El concreto tiene una variabilidad tanto la calidad de los materiales, la producción y las acciones que se ejecutan en la obra. En obras pequeñas “sobre diseñar” el concreto puede resultar económico entre comillas, pero en una obra muy grande de altos volúmenes de concreto se debe implementar un extenso control de calidad con el propósito de mejorar los costos y la eficiencia.

2.2.26 Arcilla

La arcilla es una roca sedimentaria descompuesta constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedente de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura.

Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,0039 mm. En la fracción textural arcilla puede haber partículas no minerales, los fitolitos.

Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800 °C. La arcilla endurecida mediante la acción del fuego fue la primera cerámica elaborada por los seres humanos, y aún es uno de los materiales más baratos y de uso más amplio. Ladrillos, utensilios de cocina, objetos de arte e incluso instrumentos musicales como la ocarina son elaborados con arcilla. También se la utiliza en muchos procesos industriales, tales como en la elaboración de papel, producción de cemento y procesos químicos.

2.2.26.1 Clasificación de la arcilla

Las arcillas se pueden clasificar de acuerdo con varios factores. Así, dependiendo del proceso geológico que las originó y a la ubicación del yacimiento en el que se encuentran, se pueden clasificar en:

Arcilla primaria: se utiliza esta denominación cuando el yacimiento donde se encuentra es el mismo lugar en donde se originó. El caolín es la única arcilla primaria conocida.

Arcillas secundarias: son las que se han desplazado después de su formación, por fuerzas físicas o químicas. Se encuentran entre ellas el caolín secundario, la arcilla refractaria, la arcilla de bola, el barro de superficie y el gres.

Si atendemos a la estructura de sus componentes, se distinguen las arcillas filitenses y las arcillas fibrosas. También se pueden distinguir las arcillas de acuerdo a su plasticidad. Existen así las arcillas plásticas (como la caolinítica) y las poco plásticas (como la esméctica, que absorbe las grasas). Por último, hay también las arcillas calcáreas, la arcilla

con bloques (arcilla, grava y bloques de piedra de las morrenas), la arcilla de descalcificación y las arcillitas (esquistos arcillosos).

2.2.27 Granulometría de la arcilla

Dentro de la clasificación granulométrica de las partículas del suelo, las arcillas ocupan el siguiente lugar:

Fuente:

Cuadro 6. Clasificación granulométrica

| Partícula | Tamaño |
|----------------|------------------|
| Arcillas | < 0,0039 mm |
| Limos | 0,0039-0,0625 mm |
| Arenas | 0,0625-2 mm |
| Gravas | 2-64 mm |
| Cantos rodados | 64-256 mm |
| Bloques | >256 mm |

Tecnología del concreto y del mortero. Tercera Edición. Sánchez de Guzmán Diego. 1996

(No obstante, lo anterior, la clasificación USCS que es utilizada habitualmente en ingeniería usa los límites de tamaños máximos de 4,75 mm para las arenas y de 0,075 mm para las arcillas y limos.)

2.2.28 Minerales de la arcilla

Los minerales de la arcilla son filosilicatos de aluminio hidratados a veces con cantidades variables de hierro, magnesio, metales alcalinos, tierras alcalinas y otros cationes. Los minerales de la arcilla son en general microscópicos. En la naturaleza los minerales de la arcilla son importantes componentes de la lutita y de los suelos. Se originan a partir de la meteorización o alteración hidrotermal de feldspatos, piroxenos y micas. También se le llama arcilla a algunos materiales plásticos y a partículas de tamaño

igual o menor a 2 micrómetros que es el tamaño único o más común de todos los minerales de arcilla.

2.2.29 Calorimetría Isotérmica

De acuerdo con Taylor (200) para estudiar el mecanismo y la cinética de hidratación de las pastas de cemento se puede emplear la técnica de calorimetría isotérmica. La calorimetría isotérmica (por conducción de calor) es el método de laboratorio para medir la energía térmica (velocidad de producción de calor o velocidad de calor) en función del tiempo en pequeñas muestras a temperatura constante.

La hidratación de pastas de CP con tres tipos de adiciones minerales: 25% de CV, 25% de EGAH y 10% de HS, con relaciones de a/c de 0.35 y 0.45 han sido estudiadas mediante calorimetría isotérmica por Pane y Hansen (2005) reportando, que el calor de hidratación desarrollado por las pastas de cemento compuesto de CV y EGAH durante todo el periodo de medición fue menor que el de las pastas de CP. Sin embargo, a edades tardías el calor de hidratación de las pastas con EGAH fue mayor que para el CP.

Talero y Rahha (2005) realizaron un estudio sobre el efecto que el HS y dos MK tienen en el calor de hidratación de cementos compuestos con diferentes composiciones de y C3S. Ellos mencionaron que la actividad puzolánica de los dos MK era dependiente de su estructura amorfa y de su contenido. La actividad del HS vario con la cantidad de fracción amorfa y de la composición química. La razón por la que las pastas de CP con HS mostraron una hidratación inicial elevada se debió a su naturaleza vítrea, por el contrario, para las pastas de CP con los dos MK, se debió al contenido.

Adicionalmente, la cantidad de calor producido por gramo de cemento fue mayor para aquellos que contenían una mayor cantidad. Langan (2002), encontraron que, durante los primeros minutos de hidratación, el calor de hidratación de pastas de CP reemplazadas con CV y HS tendía a disminuirse en comparación con la pasta de CP, esto se debió a la cantidad de CV que se utilizó como reemplazo parcial, pues de acuerdo a ellos la CV removió los iones de calcio de la solución, lo cual disminuyo su concentración en las primeras horas y se retrasó la cristalización y nucleación de CH y CSH.

Con el incremento en la relación a/c, el efecto de la presencia de CV se volvió más significativo en los periodos de inducción y aceleración. Durante el periodo de aceleración,

el incremento en la disponibilidad de agua mejoro el proceso de hidratación y el calor de hidratación aumento debido a que las partículas de CV incrementaron los sitios de nucleación para el crecimiento de los hidratos de cemento.

El uso de 5-15% de MK como material de reemplazo del cemento portland ha sido estudiado mediante calorimetría isotérmica por Poon (2000) Los autores reportaron que la cinética inicial de la reacción puzolánica fue más alta para las pastas de cemento compuesto con MK y el calor total fue ligeramente mayor para las pastas con 5% y 10% de MK al compararlas con la pasta del CP.

Snelson (2008) utilizó MK y CV como materiales de reemplazo del CP para investigar el efecto en la evolución de calor y el calor total liberado. El proceso de hidratación de las pastas de CP reemplazadas con CV cambio con el nivel de reemplazo, pues un incremento en el nivel de reemplazo de CV disminuyo el calor de hidratación. Los resultados en pastas de CP con MK sugirieron que el MK disminuía inicialmente la hidratación del CP, sin embargo, la reacción puzolánica contribuyo a la liberación de calor posterior lo que provoco que la pasta excediera el calor liberado por el CP. Para ambos sistemas el factor principal de control de la cinética de hidratación del CP fue el requerimiento de agua de la puzolana. Cuando se combinó MK y CV en pastas de CP, la actividad puzolánica del MK incremento el calor total liberado.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

La metodología incluye el tipo o tipos de investigación, métodos y pasos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación, Según Galán (2011), es el "cómo se realizará el metodología que permitirá desarrollar el presente Trabajo Especial de Grado. Se muestran aspectos como el tipo de investigación, las técnicas y procedimientos que fueron utilizados para llevar a cabo el estudio en torno al análisis comparativo entre el concreto convencional con el concreto con arcillas calcinadas en la construcción en el estado Carabobo.

3.1 Tipo de Investigación

Para Palella Stracuzzi y Martins Feliberto (2012), el tipo de investigación se depende de la clase de estudio a realizar, es decir, sirve de orientación de como recolectar la información o datos necesarios para el desarrollo de los objetivos de la misma. De acuerdo a esto los tipos de investigación son: de campo, preexperimentales, cuasi experimentales, documentales.

Atendiendo a los objetivos delimitados, la investigación se orienta hacia la incorporación de un diseño de campo, por cuanto permite no solo observar, sino recolectar los datos directamente de la realidad objeto de estudio, en su ambiente cotidiano.

3.2 Nivel de la Investigación

La investigación es de tipo exploratoria y descriptiva, Según Ramírez, (2006) "...es exploratoria cuando su propósito es indagar acerca de una realidad poco estudiada..." Ya que no existe el diseño de una muestra requerida con arcilla calcinada y con las características expuestas por este trabajo de investigación. Y también tomando en cuenta que la investigación es de tipo descriptiva según Arias (Ob. cit), "Consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento" (p.24).se considera que en la presente investigación evaluara

el comportamiento del concreto tradicional utilizando diferentes porcentajes de arcilla calcinadas, el cual se corresponde al planteamiento antes descrito.

3.3 Diseño de Investigación

Según Fideas G. Arias (2006), define el diseño de la investigación como la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado.

Así mismo Fideas G. Arias (2006); la investigación documental se ha establecido de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en

Es por ello que el diseño del presente trabajo es de tipo documental, puesto que se basa en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales impresas, audiovisuales o electrónicas, con el fin de nuevos aportes en conocimientos. De acuerdo al objetivo planteado que es definir un análisis comparativo del comportamiento de muestras de concreto, utilizando arcillas calcinadas con muestras de concreto tradicional, en Venezuela.

3.4 Población y Muestra

Población

Según Arias (2012) define población como: “una investigación puede tener como propósito el estudio de un conjunto numeroso de objetos, individuos, e incluso documentos. A dicho conjunto se le denomina Población” (p.81), por su parte Palella y Martins (2010), hacen referencia a un conjunto de unidades de las que se debe obtener información, conjunto finito o infinito de elementos, personas o cosas pertinentes a una investigación.

Así, la población es, el conjunto de todas las cosas que concuerdan con un determinado grupo de especificaciones requeridas por el estudio. Al determinar la población o universo, se delimita también los alcances de la investigación, permitiendo establecer prioridades que contribuyan a establecer metas para el plan de trabajo y definir claramente los objetivos a alcanzar. Por consiguiente, la determinación de la población es el soporte fundamental del trabajo de investigación. En referencia a lo expuesto, en esta

investigación la población corresponderá a la comparación del comportamiento del concreto convencional con el concreto con arcillas calcinadas.

La presente investigación va referida a toda la industria de la construcción que se especialicen en el diseño de concreto especialmente las que utilizan materiales de Venezuela - Estado Carabobo para la realización de sus respectivas muestras.

Muestra

Diseño de muestra de concreto con arcilla calcinada con materiales adyacentes al Estado Carabobo.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las técnicas de recolección de datos, según Arias (2011), “son las distintas
Una vez que se ha realizado el plan de la investigación, se empieza a interactuar directamente con la realidad del objeto de la investigación o trabajo de campo, es entonces cuando se hace uso de las técnicas de recolección de información y/o datos, en esta se vale del empleo de instrumentos que facilitan la obtención de material bibliográfico necesario para poder desarrollar y poner en marcha el proyecto. Entre los instrumentos recurridos para obtener información para la ejecución del proyecto se encuentran:

Observación documental técnica que permite la recopilación de información para enunciar las teorías que sustentan el estudio de los documental a que hace referencia. esta es fundamental en todos los campos de la ciencia, consiste en el uso sistemático de los sentidos orientados a la captación de la realidad que se estudia. Concebida esta técnica, la observación consiste en estar a la expectativa frente al fenómeno, del cual se tomó y se registra la información para su posterior análisis, en ella se apoyó el investigador para obtener el mayor número de datos.

Internet: es actualmente la herramienta de recaudación de información más usada en todo el mundo su empleo es muy versátil y cubre una vasta gama de áreas entre ellas la planificación.

Análisis documental: de acuerdo con Arias (ob.cit), se basa en la “realización de una exploración de documentos para el acopio de la información necesaria y que, según el criterio establecido de indagación pudiera servir para el desarrollo de la investigación y en serie de documentos que permitieron extraer ideas y comentarios de los diferentes autores e instituciones que tratan el tema sobre el análisis del concreto convencional con el concreto con arcillas expansivas en la construcción.

Revisión de Textos: Los libros, revistas y folletos se presentan como una de las herramientas más adecuadas en el propósito de encontrar o conseguir la información necesaria acerca del proyecto.

Técnicas de análisis: El análisis: es la descomposición de un todo en sus elementos. El análisis, es la observación y examen de un hecho en particular. Es necesario conocer la naturaleza del fenómeno y objeto que se estudia y comprender su esencia. El método analítico es aquel método de investigación que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos.

Paráfrasis: q

contrastar y comparar las ideas del autor citado con respecto a las opiniones interpretativas de los investigadores.

El fichaje:

libros o medios impresos y digitales sobre aspectos importantes relacionados con el análisis comparativo entre el concreto convencional con el concreto con arcillas calcinadas en la construcción.

Citas o fuentes de información: para esta investigación se utilizaron diccionarios, libros de texto, artículos publicados en prensa escrita e Internet, boletines informativos publicados en revista electrónica, monografías publicadas en Internet, libros de texto. Todas estas fuentes y citas consultadas, mostraron información en torno al análisis del tema seleccionado.

Meta-análisis: es un método de revisión sistemática, el cual permite realizar una evaluación y combina estadísticamente los resultados de investigaciones previas sobre el mismo tema.

3.6 Fases metodológicas.

Fase I Diseño de mezcla requerida de concreto convencional, con arcillas calcinadas.

Mediante el uso de la base de datos bibliográficos multidisciplinarios del grupo Elsevier, llamada Science Direct se llevó a cabo la búsqueda de la literatura que fue analizada. Posteriormente se realizó la caracterización de los materiales, se elaboró el diseño de la mezcla de concreto convencional del concreto utilizado por la empresa

Fase II Análisis comparativo entre muestras de concreto convencional y arcillas calcinadas.

Una vez realizada la fase anterior se efectuará un análisis comparativo entre la muestra de concreto tradicional y la muestra de concreto agregando diferentes porcentajes de arcillas calcinadas (10,15 y 30 %) , procediendo a elaboración de la mezcla y la toma de los cilindros correspondientes.

Fase III Evaluación de resultados ensayos de fractura a compresión en muestras de concreto con arcillas calcinadas y costos de los materiales

En esta fase se ejecutó los ensayos correspondientes con ayuda de una prensa ubicada en el laboratorio de concreto de la empresa Premezclado Venezolano ubicada al final de la Av. Henry Ford, Local S/N, Industrial Caracaritas, Los Guayos para realizar análisis comparativos de resistencia entre las diferentes probetas analizadas, graficando resultados

Igualmente se valoró el costo de los materiales utilizados para la elaboración de las probetas con concreto tradicional con aditivos y el elaborado con arcillas calcinadas para así obtener conclusiones pertinentes.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se presenta el análisis e interpretación de los resultados definido por Hurtado (2010) “Son las técnicas de análisis que se ocupan de relacionar, interpretar y buscar significado a la información expresada” los cuales fueron ordenados de acuerdo a las fases establecidas anteriormente cuya duración del proceso fue aproximadamente de 4 meses, iniciando en el mes de septiembre y finalizando en diciembre del año 2019, logrando la caracterización de los agregados fino y grueso mediante pruebas de laboratorio Premezclado Venezolano RIF J-306355715 suministrado por la empresa, para determinar la calidad de los agregados a utilizar en la mezcla de concreto, ver anexo A.

Luego se procedió a realizar el diseño de mezcla y finalmente los ensayos e interpretación

Fase I Diseño de mezcla requerida de concreto convencional, con arcillas calcinadas.

I.1 Caracterización de los materiales

-Arena lavada de minas:

Procedente de Tinaquillo estado Cojedes, de la pila de almacenamiento de Materiales Taguanes, cuyo ensayo granulométrico basado en la Norma COVENIN 277-93 suministrado por la empresa Premezclado Venezolano ubicada al final de la Av. Henry Ford, Local S/N, Industrial Caracaritas, Los Guayos, ver anexo B.

-Agregado grueso

Originario de la procesadora de agregados (piedra numero 1) ubicada cerca del puente sobre el rio Acarigua según estudio Geotécnico, cuyo material existente en el depósito aluvional presenta una porcentaje de desgaste en la máquina de los ángeles de 32 % este valor se considera muy aceptable, siendo el máximo permisible del 50 % , además se indica que los peñones y cantos son bastantes resistentes a la abrasión indicando que este material es apto para la fabricación de concretos especialmente los premezclados, especificado en el anexo C , asi como en la figura se observa la distribución de agregados de la empresa.



Figura 7. Distribuciones materiales grueso y finos

Fuente. Premezclado Venezolano



Figura 8.Figura. Elaboración mezcla

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)

- Aditivo

El aditivo utilizado para el concreto premezclado es el DARATAR 515 L, suministrado por la empresa Specialty Construcción Products Venezuela S.a , de fecha septiembre del 2019, el cual se detalla en el anexo D

- Cemento

Las características del cemento es Portland Tipo III cuyo análisis físico químico cumple con las Normas COVENIN 28 vigente detallado en el anexo E.

- Arcilla calcinada

La arcilla calcinada fue extraída de la planta de fabricación de bloques de arcilla, trincotes y piñatas de la Alfarería la Monumental C.A, ubicada en la carretera Nacional Los Guayos , en la cual se solicitó el polvillo que generan los bloques de arcilla al ser sometidos al proceso de calorimetría, los que hacen que estos obtengan mayor resistencia, rigidez y durabilidad en el tiempo.

La extracción de este polvillo se realizó por medio de una aspiradora que maneja el personal especializado de la empresa, esta aspiradora posee grandes recipientes en donde es depositado todo el polvillo y partículas de arcilla provenientes de los ladrillos rojos calcinados.

Cabe destacar que la arcilla obtenida paso por un ciclo calorimétrico (proceso de cocción) en los hornos especiales de la empresa mencionada, durante un periodo de cuatro (4) días a una temperatura de 900 °C grados centígrados después de haber sido cocinada como ladrillo, luego se extrajo y se guardó en recipientes a fin de evitar su contaminación.

Las partículas recolectadas fueron tamizadas y se utilizó el pasa 200 (fondo) para la realización de los ensayos , este pasa 200 para lograr hacerlo más fino lo introdujimos en la máquina de los ángeles existente en el Laboratorio de la Universidad Jose Antonio Páez durante 3 horas aproximadamente, obteniendo así el resultado final del proceso de recolección de la misma para luego iniciar con el proceso de realización de las muestras de concreto utilizando diferentes porcentaje de arcilla calcinada al 10 %, 15 % y 30 %.

El peso de la arcilla calcinada es de 2,49 Kg/Lts o 2490 Kg/m³

I.2 Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla seleccionado para la investigación es el establecido en la norma COVENIN 1753-2006 Proyecto y Construcción de obras en Concreto estructural, el cual fue suministrado por la Empresa Premezclado Venezolano para una resistencia de 210 Kg/cm² el cual fue el siguiente:

Relación: $w = 0,45$

310 kg de Cemento

825 kg de piedra

1175 kg de Arena

140 Lts de Agua

1 Lt de aditivo

Igualmente se realizó el diseño de mezcla utilizando el método del ACI y una resistencia para el concreto 210 kg/c

Cálculo del Contenido de aire

Tamaño máximo nominal de la piedra: 1", tenemos que el contenido de aire igual 1.0% de acuerdo al cuadro 7

Cuadro 7. Contenido de aire atrapado

| Tamaño maximo nominal del agregado gueso | Aire atrapado |
|--|---------------|
| 3/8" | 3 % |
| 1/2" | 2,5 % |
| 3/4" | 2% |
| 1" | 1,5 % |
| 1 1/2" | 1 % |
| 2" | 0,5 % |
| 3" | 0,3 % |
| 4" | 0,2 % |

Fuente: Comité 211 de la ACI

Calculo del contenido de agua

| Agua en l/m ³ , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicada. | | | | | | | | |
|--|------|------|------|-----|--------|-----|-----|-------|
| Asentamiento | 3/8" | 1/2" | 3/4" | 1" | 1 1/2" | 2" | 3" | 6" |
| Concreto sin aire incorporado | | | | | | | | |
| 1" a 2" | 207 | 199 | 190 | 179 | 166 | 154 | 130 | 113 |
| 3" a 4" | 228 | 216 | 205 | 193 | 181 | 169 | 145 | 124 |
| 6" a 7" | 243 | 228 | 216 | 202 | 190 | 178 | 160 | ----- |
| Concreto con aire incorporado | | | | | | | | |
| 1" a 2" | 181 | 175 | 168 | 160 | 150 | 142 | 122 | 107 |
| 3" a 4" | 202 | 193 | 184 | 175 | 165 | 157 | 133 | 119 |
| 6" a 7" | 216 | 205 | 197 | 184 | 174 | 166 | 154 | ----- |

Figura 9.Figura. Volumen unitario de agua

Fuente:Comité 211 de la ACI

Cálculo de contenido de agua = 181 lts/m³

Cálculo de la relación agua cemento usamos la resistencia promedio

| f'c (Kg/cm ²) | Relación agua/cemento en peso | |
|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | Concretos sin aire incorporado | Concretos con aire incorporado |
| 150 | 0.80 | 0.71 |
| 200 | 0.70 | 0.61 |
| 250 | 0.62 | 0.53 |
| 300 | 0.55 | 0.46 |
| 350 | 0.48 | 0.40 |
| 400 | 0.43 | |
| 450 | 0.38 | |

Figura 10..Relación Agua/cemento por resistencia

Fuente:Comité 211 de la ACI

Sin embargo se realizo un rediseño de la manera siguiente:

Para una resistencia promedio 210 kg/cm²

$\alpha = 0,62$; donde $\alpha = \frac{V_{ag}}{V_{con}}$

$C = 291.92 = 292 \text{ kg de cemento}$

Sabiendo que un saco de cemento pesa aproximadamente 42 kg se saca la siguiente relación: Factor Cemento = $292 \text{ kg} / 42\text{kg} = 6.95 = 7$ sacos de cemento

Cálculo del Peso del agregado grueso

| Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino. (b / b_s) | | | | |
|--|------|------|------|------|
| Tamaño máximo nominal del agregado grueso. | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 3 / 8 " | 0.50 | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 1 / 2 " | 0.59 | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 3 / 4 " | 0.66 | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 1 " | 0.71 | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 1 - 1 / 2 " | 0.76 | 0.74 | 0.72 | 0.70 |
| 2 " | 0.78 | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 3 " | 0.81 | 0.79 | 0.77 | 0.75 |
| 6 " | 0.87 | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

Tabla confeccionada por el comité 211 del ACI.

Figura 11. Peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto

Fuente: Comité 211 de la ACI

Módulo de fineza del agregado fino = 3.07

Tamaño máximo nominal = 1

Peso del agregado grueso

$\text{Peso A.G} = \text{Puc} \cdot \alpha$

Donde:

Peso A.G = peso de agregado grueso

Puc= peso unitario compactado

Peso A.G = 0.70 x 1710kg/ =1197kg

Cálculo del Volumen absoluto

cemento = _____

agua = _____ 0.181

aire = — 0.01

vol. A. Grueso= _____

Volumen absoluto =

Vol. Absoluto=

Vol. A. fino= 1 = 0.284

Cálculo del Peso del agregado fino

Peso A. Fino= 0.284 x 2590 kg/ =735.56 kg

Diseño en estado seco elaborado por el investigador es de

Cemento = 292 kg

Agregado fino = 735.56 kg

Agregado grueso = 1197 kg

Agua= 181 lts

Asentamiento de 4”

Fase II Análisis comparativo entre muestras de concreto convencional y arcillas calcinadas.

II.1 Elaboración de las mezclas antes mencionado

El procedimiento seguido para la elaboración de la muestra diseñada se resume a continuación:

1. Pesado de los materiales arena, piedra, cemento, agua y el aditivo.



Figura 12. Arcilla calcinada

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)



Figura 13. Arcilla calcinada

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)

2. Mezclado de la arena y la piedra hasta unirse.
3. Colocación del cemento
4. Incorporación del aditivo en el agua y agregamos a la composición anterior hasta unir todos los elementos.
5. Cronometrar tres minutos una vez acoplados todos los elementos,
6. Proceder al llenado de, las probetas



Figura 14. Mezclado del material

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)

II.2 Toma de los cilindros correspondientes.

De acuerdo a lo establecido en la Norma COVENIN 1896-82 “Métodos de Ensayo para determinar la resistencia a la Compresion de concreto y mortero liviano resumido de la manera siguiente:

- Preparación del molde de 15 cm de diámetro y de 30 cm de altura previamente lubricados para evitar la adherencia del concreto en los mismos.

- Llenado de cilindros (probetas) y (testigo), con la mezcla diseñada, en una secuencia de 3 capas es decir 1/3 compactadas por 25 golpes cada uno con la cabilla roma, repitiendo este proceso para las mezclas restantes.

- Enrasamiento de las probetas de manera que la superficie quedara suficientemente lisa y al ras con el borde del molde.



Figura 15. Toma de cilindros o probetas

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)



Figura 16. Toma de cilindros o probetas

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)

II.3 Curado de probetas

Una vez transcurrido las 24 horas después de la toma se realizó la inmersión en agua saturada de las probetas recién moldeadas como en laboratorio hasta la edad de ensayo.



Figura 17. Desencofrado de moldes

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)



Figura 18. Curado de probetas

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)



Figura 19. Curado de probetas

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)



Figura 20. Curado de probetas

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)

Fase III Evaluación de resultados ensayos de fractura a compresión en muestras de concreto con arcillas calcinadas y costos de los materiales

III.1 Resultados de los Ensayos correspondientes

A continuación se presenta los siguientes cuadros correspondiente a los resultados obtenidos de los ensayos a compresión, destacando el muestreo, número de las probetas, edades, peso y la resistencia obtenida. Los cuales se resumen en los cuadros 6 especificando los veintiséis (26) probetas realizados, siguiendo lo especificado en la Norma 1976-2003 con toma de dos Probetas 1 y su 1" en edades de 7 días, 14 y 28 días para ensayos de Compresión del Concreto elaborado con arcilla calcinada y concreto tradicional realizados en la empresa



Figura 21. Preparación de las probetas para la ruptura

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)



Figura 22. Preparación de los equipos

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)



Figura 23. Preparación de los equipos

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)



Figura 24. Ruptura a la compresión de probetas

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)



Figura 25. Ruptura a la compresión de probetas

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)



Figura 26. Ruptura a la compresión de probetas

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)

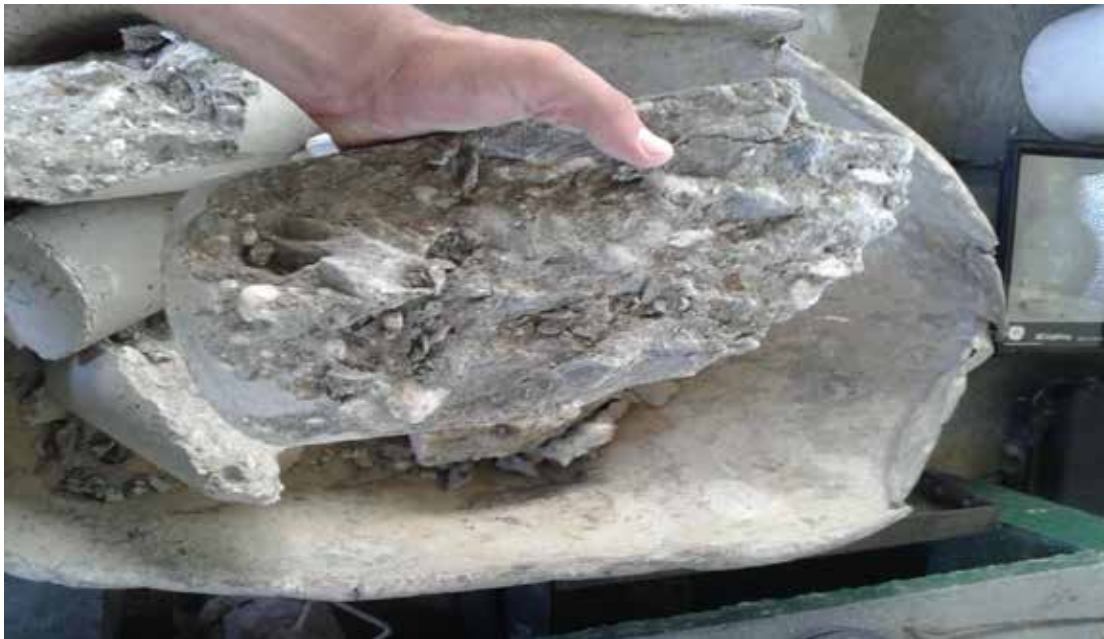


Figura 27. Rotura Ruptura a la compresión de probetas

Fuente. Premezclado Venezolano (2019)

Cuadro 8. Muestreos de probetas de edades 7, 14 y 28 días para ensayos de Compresión del Concreto con arcillas calcinadas al 10, 15 al 30% de resistencia 250

Fuente. El autor (2019)

| # MUESTRAS | FECHA DE TOMA | EDAD EN DIAS | CARGA EN TONELADAS Kg/cm ² | CARGA EN kg/cm ² | % DE RESIST. | OBSERVACIONES |
|------------|---------------|--------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------|
| 1 | 18/09/2019 | 7 | 31,3 | 177,12 | 87,03 | SIN ARCILLA |
| 1 | 18/09/2019 | 7 | 33,3 | 188,44 | | SIN ARCILLA |
| 2 | 18/09/2019 | 14 | 40,8 | 230,88 | 113,85 | SIN ARCILLA |
| 2 | 18/09/2019 | 14 | 41,5 | 234,84 | | SIN ARCILLA |
| 3 | 18/09/2019 | 28 | 45,7 | 258,61 | 118,7 | SIN ARCILLA |
| 3 | 18/09/2019 | 28 | 42,4 | 239,94 | | SIN ARCILLA |
| 1 | 09/10/2019 | 7 | 34,2 | 193,54 | 93,64 | 10% DE ARCILLA |
| 1 | 09/10/2019 | 7 | 35,3 | 199,77 | | 10% DE ARCILLA |
| 2 | 09/10/2019 | 14 | 41,3 | 233,72 | 115,97 | 10% DE ARCILLA |
| 2 | 09/10/2019 | 14 | 44,8 | 253,53 | | 10% DE ARCILLA |
| 3 | 09/10/2019 | 28 | 45,3 | 256,36 | 122,22 | 10% DE ARCILLA |
| 3 | 09/10/2019 | 28 | 45,7 | 258,363 | | 10% DE ARCILLA |
| 1 | 20/09/2019 | 7 | 28,9 | 163,55 | 78,41 | 15% DE ARCILLA |
| 1 | 20/09/2019 | 7 | 29,3 | 165,81 | | 15% DE ARCILLA |
| 2 | 20/09/2019 | 14 | 33,4 | 189,02 | 92,97 | 15% DE ARCILLA |
| 2 | 20/09/2019 | 14 | 35,6 | 201,47 | | 15% DE ARCILLA |
| 3 | 20/09/2019 | 28 | 39,2 | 221,84 | 102,8 | 15% DE ARCILLA |
| 3 | 20/09/2019 | 28 | 37,1 | 209,96 | | 15% DE ARCILLA |
| 1 | 25/09/2019 | 7 | 20,8 | 117,7 | 58,07 | 30% DE ARCILLA |
| 1 | 25/09/2019 | 7 | 22,3 | 126,19 | | 30% DE ARCILLA |
| 2 | 25/09/2019 | 14 | 24,3 | 137,51 | 65,07 | 30% DE ARCILLA |
| 2 | 25/09/2019 | 14 | 24 | 135,81 | | 30% DE ARCILLA |
| 3 | 25/09/2019 | 28 | 28,5 | 161,28 | 77,06 | 30% DE ARCILLA |
| 3 | 25/09/2019 | 28 | 28,7 | 162,41 | | 30% DE ARCILLA |

III.2 Graficación de resultados obtenidos

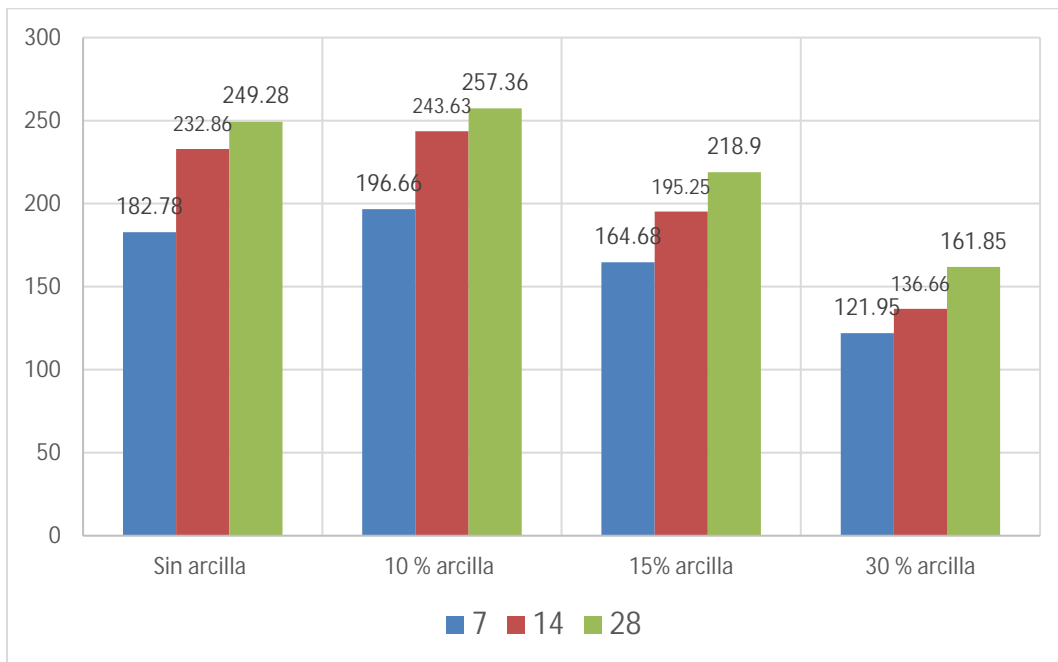


Figura 28. Variación de resistencia promedio de las probetas a los 7,14 y 28 días para ensayos de Compresión de 210 kg/cm² del Concreto convencional y Concreto con arcillas calcinadas en proporciones de 10, 15 y 30%

Fuente. Los autores (2019)

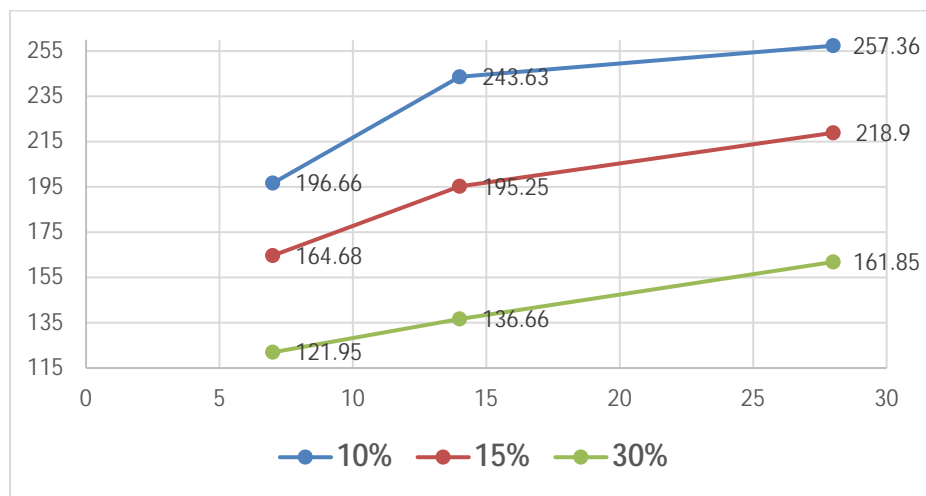


Figura 29. Variación de resistencia promedio de las probetas a los 7,14 y 28 días para ensayos de Compresión de 210 kg/cm² del Concreto con arcillas calcinadas en proporciones de 10, 15 y 30%

Fuente. El autor (2019)

Cabe destacar que se realizaron dos muestras por cada día en el laboratorio , o sea dos a los 7 días, dos a los 14 días y dos a los 28 días, y se promediaron los valores de resistencia a los 28 días, luego usamos ese promedio obtenido y lo introducimos como un valor de resistencia y tomamos dos valores por encima de ese número y dos por debajo de ese número , para así tener una campana más homogénea (este procedimiento se utilizó con las probetas tradicionales , probetas con 10% d, 15% y 30% de arcilla) .

III.3 Desviación estándar en concreto simple a los 28 días (S)

En el punto 7.4.1 de la Norma COVENIN 1976:2003 destaca que para estimar la desviación estándar entre sólo dos probetas compañeras el procedimiento más adecuado es del rango ponderado,

Cuadro 9. Desviación estándar del concreto sin arcilla a los 28 días

| # MUESTRAS | fc (kg/cm2) | X | (Xi-X) ^2 |
|------------|-------------|---------|-----------|
| 1 | 258.61 | 249,275 | 87,142225 |
| 2 | 239.94 | | 87,142225 |
| | | | 174,28445 |

Fuente. El autor (2019)

Donde:

X = resistencia promedio a los 28 días =249,275

Xi= fc (kg/cm2)

S= desviación estándar

$$S = \frac{\sqrt{174,28445}}{2} = 13,2$$

Fcr= resistencia prom. Requerida

$F_{cr} = 210 + 1,33 (S) = 227,556$ se selecciona el mayor valor

$F_{cr} = 210 + 2,33 (S) - 35 = 205,756$

III.4 Comprobación estadístico desviación

Cuadro 10. Desviación estándar del concreto sin arcilla a los 28 días

| # MUESTRAS | fc (kg/cm ²) | X | (Xi-X) ² |
|------------|--------------------------|--------|---------------------|
| 1 | 252,1 | 249,65 | 6,0025 |
| 2 | 250,36 | | 0,5041 |
| 3 | 249,27 | | 0,144 |
| 4 | 248,6 | | 1,102 |
| 5 | 247,92 | | 2,992 |
| | | | 10,7446 |

Fuente. El autor (2019)

Donde:

Promedio = 249,65

S=1,638

$F_{cr} = 210 + 1,33 (1,63) = 212,1679$

$F_{cr} = 210 + 2,33 (1,63) - 35 = 178,79$

Cuadro 11. Resistencia promedio, desviación, Valor máximo y mínimo sin arcilla

| Promedio | Desv | Max | min |
|----------|-------------|-------|--------|
| 249,65 | 1,639085111 | 252,1 | 247,92 |

Fuente. El autor (2019)

Cuadro 12. Cálculo
28 días sin arcilla

| | Distribución normal |
|-----|---------------------|
| 247 | 0,065873037 |
| 248 | 0,146642435 |
| 249 | 0,224988105 |
| 250 | 0,237907082 |
| 251 | 0,173381638 |
| 252 | 0,087085681 |
| 253 | 0,030146599 |

distribución normal a los

Fuente. El autor (2019)

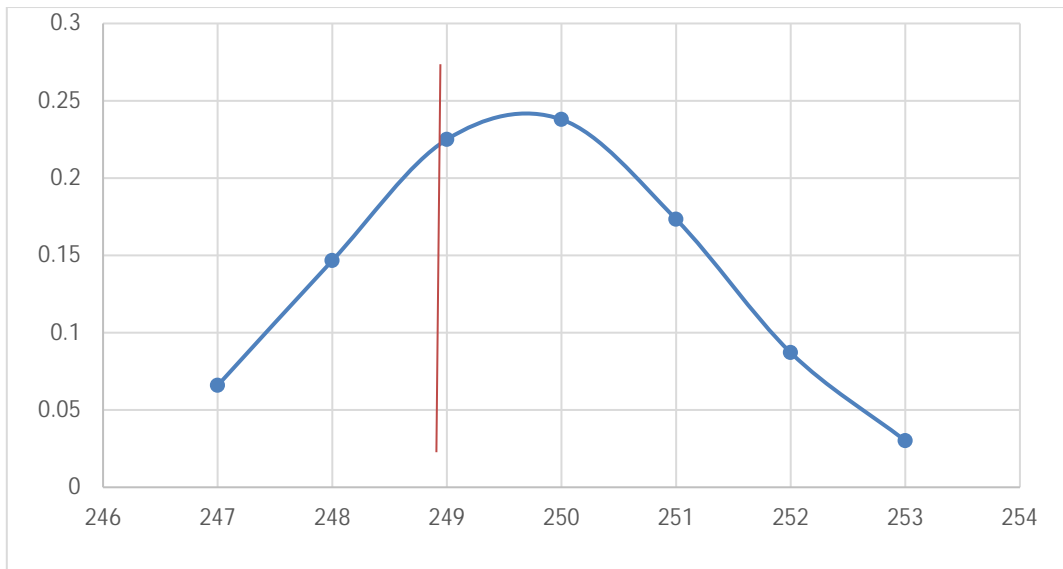


Figura 30. Distribución normal del concreto de Resistencia 210 kg/cm² a la compresión sin arcilla

Fuente: El autor (2019)

III.5 Comprobación estadística desviación estándar del concreto con el 10 % de arcilla calcinada

Cuadro 13. Concreto de resistencia a la compresión con el 10 % de arcilla calcinada

| # MUESTRAS | fc (kg/cm ²) | X | (Xi-X) ² |
|------------|--------------------------|---|---------------------|
| | | | |

| | | | |
|---|--------|--------|---------|
| 1 | 260,1 | 257,59 | 6,3001 |
| 2 | 258,21 | | 0,3844 |
| 3 | 257,36 | | 0,0529 |
| 4 | 256,4 | | 1,4161 |
| 5 | 255,89 | | 2,89 |
| | | | 11,0435 |

Fuente: El autor (2019)

Donde:

Promedio = 257,59

Desviacion S= 1,66

Fcr= 210 + 1,33 (1,66) = 212,2078

Fcr=210 + 2,33 (1,66) - 35 = 178,86

Cuadro 14. Resistencia promedio, desviación, Valor máximo y mínimo con el 10 % de arcilla calcinada

| promedio | desv | max | min |
|----------|-------------|-------|--------|
| 257,592 | 1,661586591 | 260,1 | 255,89 |

Fuente: El autor (2019)

Cuadro 15.Calculo distribución normal a los 28 días con el 10% de arcilla calcinada

| intervalos | distribución normal |
|------------|---------------------|
| 255 | 0,07111614 |
| 256 | 0,151721481 |
| 257 | 0,225331798 |
| 258 | 0,232966998 |
| 259 | 0,167672884 |
| 260 | 0,08400938 |

| | |
|-----|-------------|
| 261 | 0,029301458 |
|-----|-------------|

Fuente: El autor (2019)

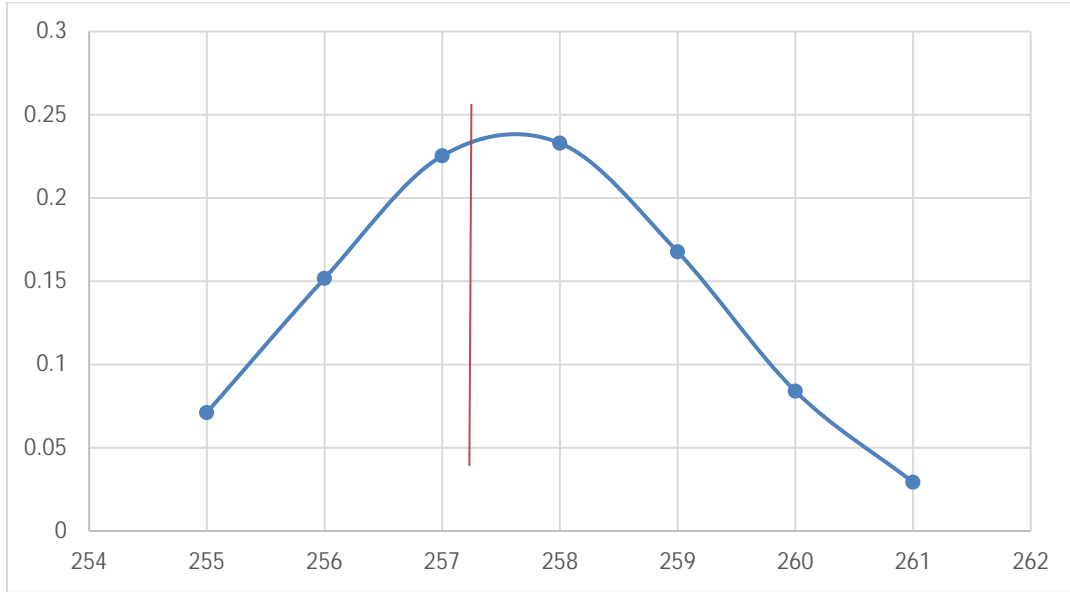


Figura 31. Distribución normal del concreto de Resistencia 210 kg/cm2 a la compresión con el 10% de arcilla calcinada

Fuente: El autor (2019)

III.6 Comprobación estadístico desviación estándar del concreto con el 15 % de arcilla calcinada

Cuadro 16. Concreto de resistencia a la compresión con el 15 % de arcilla calcinada

| # MUESTRAS | fc (kg/cm2) | X | (Xi-X)^2 |
|------------|-------------|--------|----------|
| 1 | 217,3 | 215,84 | 2,1316 |
| 2 | 216,4 | | 0,3136 |
| 3 | 215,9 | | 0,0036 |
| 4 | 215,3 | | 0,2916 |
| 5 | 214,9 | | 0,8836 |

Fuente. El autor (2019)

Donde:

$$\text{Promedio} = 215,84$$

$$S = 0,95$$

$$Fcr = 210 + 1,33 (3,5298) = 211,26$$

$$Fcr = 210 + 2,33 (3,5298) - 35 = 177,2135$$

Cuadro 14

Cuadro 17. Resistencia promedio, desviación, Valor máximo y mínimo con el 15 % de arcilla calcinada

| promedio | desv | max | min |
|----------|-------------|-------|-------|
| 215,96 | 0,942337519 | 217,3 | 214,9 |

Fuente: El autor (2019)

Cuadro 18. Calculo distribución normal a los 28 días con el 15% de arcilla calcinada

| intervalos | distribución normal |
|------------|---------------------|
| 214 | 0,048674022 |
| 215 | 0,25196485 |
| 216 | 0,422972689 |
| 217 | 0,230257789 |
| 218 | 0,040648636 |

Fuente: El autor (2019)

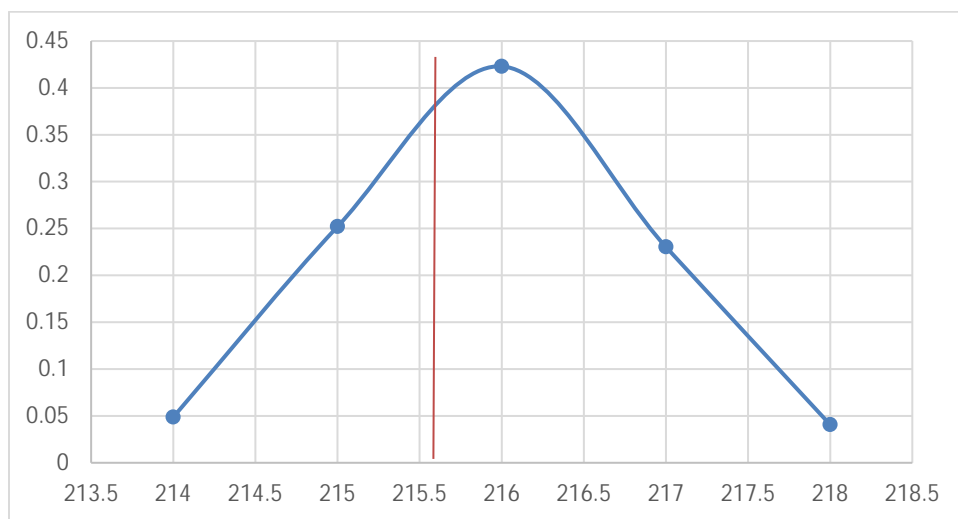


Figura 32.. Distribución normal del concreto de Resistencia 210 kg/cm2 a la compresión con el 15% de arcilla calcinada

Fuente: El autor (2019)

III.7 Comprobación estadístico desviación estándar del concreto con el 30% de arcilla calcinada

Cuadro 19. Concreto de resistencia a la compresión con el 30 % de arcilla calcinada

| # MUESTRAS | fc (kg/cm2) | X | (Xi-X)^2 |
|------------|-------------|---------|----------|
| 1 | 166,1 | 162,329 | 14,22 |
| 2 | 163,6 | | 1,615 |
| 3 | 161,845 | | 0,234 |
| 4 | 160,2 | | 4,532 |
| 5 | 159,9 | | 5,9 |
| | | | 26,501 |

Fuente: El autor (2019)

Donde:

Promedio = 162,329

S=2,573

Fcr= 210 + 1,33 (2,573) = 213,422

Fcr=210 + 2,33 (2,573) - 35 = 180,9950

Cuadro 20. Resistencia promedio, desviación, Valor máximo y mínimo con el 30 % de arcilla calcinada

| promedio | desv | max | min |
|----------|-------------|-------|-------|
| 162,329 | 2,574044483 | 166,1 | 159,9 |

Fuente. El autor (2019)

Cuadro 21. Calculo distribución normal a los 28 días con el 30% de arcilla calcinada

| intervalos | distribución normal |
|------------|---------------------|
| 159 | 0,067156909 |

| | |
|-----|-------------|
| 160 | 0,10292548 |
| 161 | 0,135646377 |
| 162 | 0,153725738 |
| 163 | 0,149809055 |
| 164 | 0,125540148 |
| 165 | 0,090464939 |
| 166 | 0,056057154 |

Fuente: El autor (2019)

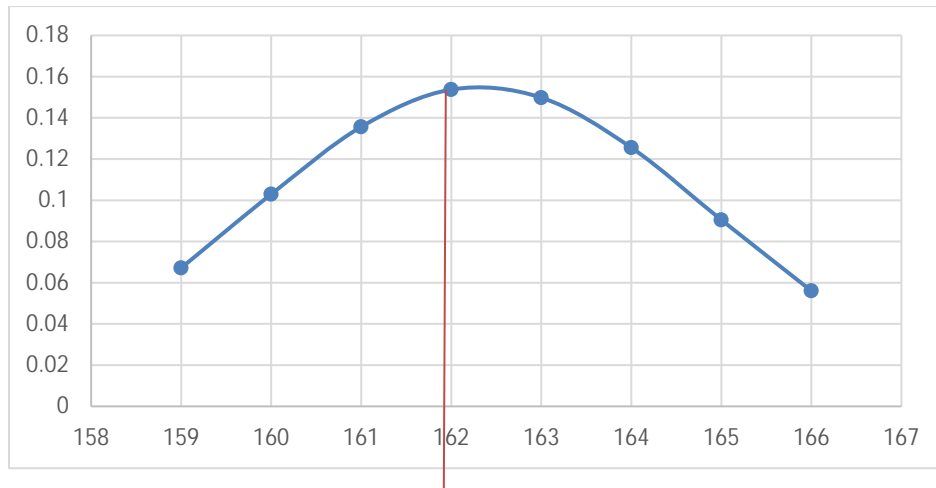


Figura 33. Distribución normal del concreto de Resistencia 210 kg/cm² a la compresión con el 15% de arcilla calcinada

Fuente: El autor (2019)

III.8 Factibilidad del concreto utilizando Arcillas Calcinadas En Muestras De Concreto tradicional, En Venezuela.

Se estudia y se compara el costo de preparación de 1 m³ de material respecto a un diseño de mezcla convencional para pavimentos, estos precios se encuentran ajustados a la fecha 30 de noviembre de 2019.

Cuadro 22. Precios unitarios de los materiales

| Materiales | Precios unitarios | | |
|------------|-------------------|---------------------|--------|
| | Bs./saco. | bs. /m ³ | bs./l. |
| Cemento | 320.000,00 | - | - |
| Arena | - | 760.000,00 | - |
| Piedra | - | 1.000.000,00 | - |

| | | | |
|------------|---|---|------------|
| Aditivo | - | - | 753 |
| Aditivo CP | - | - | 240,000,00 |

Fuente: Premezclado venezolano C.A. (2019).

Cuadro 23. Costo total del concreto convencional

| Diseño de mezcla de concreto convencional | | | |
|---|------------|------|--------------|
| Materiales | Cantidades | | Total (bs.) |
| | kg. | l. | |
| Cemento | 292 | - | 2.198.588,00 |
| Arena | 735,56 | - | 310.000,00 |
| pedra | 1197 | - | 665.000,00 |
| Aditivo | - | 1,00 | 240.000,00 |
| Costo total del concreto f'c = 210 kg/cm ² (bs.) | | | 3.413.588,00 |

Fuente: Premezclado Venezolano, C.A. (2019)

Cuadro 24. Costo total de concreto normal a los 28 días de resistencia 210 kg/cm² con el 10% de arcilla calcinada

| Diseño de mezcla de concreto normal a los 28 días de resistencia 210 kg/cm ² con el 10% de arcilla calcinada | | | |
|---|------------|------|-----------------|
| Materiales | Cantidades | | Total (bs.) |
| | kg. | l. | |
| Cemento | 262,80 | - | 1.978.729,41,00 |
| Arena | 735,56 | - | 310.000,00 |
| Piedra | 1197 | - | 665.000,00 |
| Aditivo | - | 1,00 | 240.000,00 |
| Costo total del concreto permeable (bs.) | | | 3.193.729,41 |

Fuente: Premezclado Venezolano(2018)

Debido a la actual situación económica y la alta inflación se puede interpretar los costos través de diferencia de precios expresados en porcentaje ya que esto es lo que se mantiene constante a través del tiempo.

$$Dc (\%) = \frac{CCP}{CCV} * 100$$

Donde:

Dc: Diferencia de costos (%).

CCP: Costo total del normal a los 28 días de resistencia 210 kg/cm² con el 10% de arcilla calcinada (**bs.**)

CCV: Costo total del concreto convencional f'c=210 kg/cm².

$$Dc (\%) = \text{—————} * 100$$

$$Dc (\%) = 106,88 = 107 \%$$

Se puede

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Entre las principales conclusiones que se derivan del presente estudio podemos destacar las siguientes:

Los materiales empleados para la producción de la mezcla de concreto con arcilla calcinada cumplieron con las especificaciones y requisitos mínimos que estipulan las norma COVENIN, con incorporación del aditivo Daratar 515 L ayudando a retardar de esta manera controlada el fraguado del concreto con el objeto de obtener un producto de calidad y cuyo peso específico de la arcilla calcinada es de 2,49 Kg/Lts o 2490 Kg/m³

El valor promedio de la resistencia del concreto a la compresión alcanzado a las 28 días sin arcilla 249,28 Kg/cm², con arcilla calcinada al 10 % la resistencia fue 257,36 Kg/cm², con arcilla calcinada al 15 % la resistencia fue 218.9 Kg/cm² y finalmente con arcilla calcinada al 30 % fue 161,85 Kg/cm², donde esta última no alcanzo la resistencia de diseño, mientras menos arcilla tenga mejor se comporta el concreto.

La resistencia a la Compresion de 210 Kg/cm² del concreto con arcilla calcinada al 10 %, 15% y 20 % realizada de manera experimental en los laboratorios de la empresa Premezclado Venezuela se ajusta a la distribución Normal (Campana de Gauss) la cual es simétrica respecto a la media y asintótica respecto al eje de las abscisas y la forma y tamaño depende de la desviación estándar según la edad del concreto a las 7, 14 y 28 días y para diferentes proporciones de arcilla calcinada de 10, 15 y 30 % cuya mezcla optima fue la del 10 % , pudiéndose utilizar como material en la elaboración del concreto con materiales desechables de productos de arcilla.

El costo de elaboración del concreto normal a los 28 días de resistencia 210 kg/cm² con el 10% de arcilla calcinada es un 7 % más barato que el concreto convencional.

Recomendaciones

Partiendo de las conclusiones anteriormente expuestas, se pudo establecer un conjunto de recomendaciones:

A medida que los países se desarrollan, aumenta la demanda de vivienda e infraestructura, por consiguiente, es necesario evaluar la escasez de materia prima en el concreto y buscar alternativas de reemplazo como la arcilla.

Estudiar los nuevos materiales cementicios suplementarios que surgen al mercado ya que, desde el punto de vista ambiental, son bastante factibles debido a su reducción de emisiones de CO₂ a la atmosfera.

Implementar fuentes alternas para la producir concreto con menores emisiones de CO₂ y que mantenga sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Utilizar las arcillas ya que abundan en la corteza terrestre, siendo materia prima alternativa para el concreto debido a que mantiene su producción de calor y además su resistencia en comparación al convencional.

Tener en cuenta que la parte final de la arena fina puede ser sustituida hasta un 80% por las arcillas calcinadas.

Emplear materiales como la escoria de los altos hornos y la ceniza volante como sustitutos del Clinker, ya que en otros países emplean esta técnica.

Considerar el LC3 como una solución sostenible a largo plazo ya que puede utilizar las arcillas de caolín inadecuadas para la mayoría de las industrias y ampliamente disponibles en muchas partes del mundo.

Adoptar nuevas tecnologías suplementarias en el cemento garantizando menores costos de producción.

Aplicar la calorimetría isotérmica para evaluar las arcillas debido a que son complejas y altamente reactivas. Dicho a prueba es la más sensible para evaluarlas.

Definir con qué tipo de arcilla se va a trabajar en el concreto debido, en tal sentido que la mejor en sus propiedades es la caolinita.

Verificar mediante otros métodos la resistencia a compresión ya que se ve influenciada con la porosidad entre las partículas.

Estudiar la gráfica acumulada de flujo de calor debido a que nos garantiza datos más precisos respecto a las propiedades de los componentes del cemento.

Evaluar las diferentes proporciones menores al 5% para lograr la mezcla optima de rendimiento – costos. Ya que en la presente investigación se analizó la muestra con un 10,25% y 30 % de arcilla calcinadas, por lo cual se sugiere realizar investigaciones con menores porcentajes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Emmanuel, A.C., Parashar, A. & Bishnoi, S., 2015. *The role of calcined clay cement vis a vis construction practices in india and their effects on sustainability*,

Fernandez, R., Martirena, F. & Scrivener, K.L., 2011. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. *Cement and Concrete Research*, 41(1), pp.113–122.

Bishnoi, S. et al., 2014. Pilot scale manufacture of limestone calcined clay cement : The Indian experience. *Indian Concrete Journal*, 88(7), pp.22–28.

Juenger, M.C.G. & Siddique, R., 2015. Recent advances in understanding the role of supplementary cementitious materials in concrete. *Cement and Concrete*

Souza, P.S.L. & Dal Molin, D.C.C., 2005. Viability of using calcined clays, from industrial by-products, as pozzolans of high reactivity. *Cement and Concrete Research*, 35(10), pp.1993–1998

Snellings, R. & Scrivener, K.L., 2016. Rapid screening tests for supplementary cementitious materials: past and future. *Materials and Structures*, 49(8), pp.3265–3279. Available at: <http://link.springer.com/10.1617/s11527-015-0718-z>

Scrivener, K., Snellings, R. & Lothenbach, B., 2016. *A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials*,


Lothenbach, B., Scrivener, K. & Hooton, R.D., 2011. Supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Research*, 41(12), pp.1244–1256.

Avet, F. et al., 2016. Development of a new rapid, relevant and reliable (R3) test method to evaluate the pozzolanic reactivity of calcined kaolinitic clays. *Cement and Concrete Research*, 85, pp.1–11.

Anexo A. Registro de información fiscal (RIF)

| | | | |
|---|------------------------------------|--------------------------------|------------|
| | | | |
| N° COMPROBANTE: 201610K0000029747201 | | | |
| REGISTRO ÚNICO DE INFORMACIÓN FISCAL (RIF) | | | |
| J306355715 PREMEZCLADOS VENEZOLANOS, C. A. | | FECHA DE INSCRIPCIÓN: | 16/06/2000 |
| DOMICILIO FISCAL CALLE OESTE CASA PARCELA NRO F5-A F5-B URB INDUSTRIAL LAS CARACARITAS LOS GUAYOS CARABOBO ZONA POSTAL 2010 | | FECHA DE ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN: | 15/04/2019 |
| | | FECHA DE VENCIMIENTO: | 15/04/2022 |
| DIVISIÓN DE CONTRIBUYENTES ESPECIALES (VALENCIA) | 3306355715-ZDX FIRMA AUTORIZADA | | |
| <p>Condición: Contribuyente Ordinario del IVA y Agente de Retención del IVA: La condición de este contribuyente requiere la retención del 75% del impuesto causado, salvo que incurra en los supuestos establecidos para la retención del 100%.</p> <p>La validez de este Comprobante debe verificarse a través de la dirección www.seniat.gob.ve, Sistemas en Línea mediante la opción 'Consulta Comprobante Digital RIF'. No requiere sello húmedo.</p> | | | |

Anexo B. Granulometría Arena Lavada de río


SERVI CONCRETO VALENCIA, S.R.L.

RESULTADOS DE ENSAYOS A LOS AGREGADOS

| | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| INFORME N°: 02-2003 | FECHA: 15/09/2003 |
| SOLICITANTE: MATERIALES TAGUANES C.A. | OBRA: PLANTA DE AGREGADOS |

| INFORMACIÓN DE LA MUESTRA | |
|---|--------------------------------|
| TIPO DE AGREGADO: ARENA LAVADA DE RÍO | FECHA DE TOMA: 15/09/2003 |
| PROCEDENCIA: TINAQUILLO EDO. COJEDOS | TOMADO POR: O. GUTIERREZ G. |
| SITIO DE TOMA: PILA DE ALMACENAMIENTO (MATERIALES TAGUANES) | ENTREGADO POR: JOSE P. CORTANA |

GRANULOMETRÍA

| TAMICES | % RETENIDO | RETENIDOS ACUMULADOS | PASANTES ACUMULADOS |
|---------|------------|----------------------|---------------------|
| 1/2" | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| 3/8" | 0.7 | 0.7 | 99.3 |
| 1/4" | 2.3 | 3.0 | 97.0 |
| #4 | 6.2 | 6.2 | 90.8 |
| #8 | 14.2 | 22.4 | 76.6 |
| #16 | 26.6 | 41.2 | 58.8 |
| #30 | 22.5 | 53.7 | 36.3 |
| #50 | 11.5 | 75.2 | 24.8 |
| #100 | 15.0 | 90.2 | 9.8 |
| PN#100 | 9.8 | 100.0 | 0.0 |

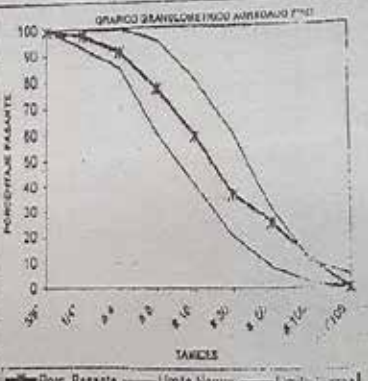



GRÁFICO GRANULOMÉTRICO ARENA LAVADA DE RÍO


—●— Porc. Pasante — Límite Norma — Límite Norma

| | |
|--|--|
| PESO UNITARIO SUELTO: 1.650 Kg/m ³ | ABSORCIÓN: 1.52% |
| PESO UNITARIO COMPACTO: 1.710 Kg/m ³ | PASANTE TAMIZ Nº200 (75micras): 2.25% |
| PESO ESPECÍFICO SAT. S.S.: 2.590 Kg/m ³ | PARTÍCULAS MENORES DE 20 MICRAS: 2.75% |
| PESO ESPECÍFICO REAL: Kg/m ³ | DESGASTE-MADURINA DE LOS ANGELES: 1% |
| IMPUREZAS ORGÁNICAS: COLOR 1 | CLORUROS Y SULFATOS: NEGATIVOS |
| MODULO DE FINURA: 3.07 | |


OBSERVACIONES: ESPECIFICACIONES DE AGREGADOS PARA CONCRETO COVENIN N° 277-93



MATERIALES VENEZOLANOS C.A.
RIF: J-3083571-5



SERVI CONCRETO VALENCIA, S.R.L.
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



SERVI CONCRETO VALENCIA S.R.L.
OSWALDO A. GUTIERREZ G.

Anexo C: Estudio granulométrico agregado Grueso

Agregados Río Acarigua, C.A.

2.2 Trabajo de Laboratorio *

El trabajo del laboratorio fue orientado específicamente a ensayos granulométricos por tamizado y en la determinación de los límites de consistencia para los suelos finos, estos ensayos se realizaron siguiendo las mismas y especificaciones establecidas por el Comité Venezolano de Normas Industriales (COVENIM). Las planillas del Laboratorio contienen los resultados de los ensayos efectuados, además se anexan dos perfiles litológicos de cada calicata, y una correlación estratigráfica del subsuelo.

3. CARACTERISTICAS GEOTECNICAS:

El subsuelo en la profundidad estudiada (4.0 M), corresponde a un depósito aluvional del período reciente, formado por peñones y cantos de areniscas y cuarzo, subangulares a subredondos, superficies lisas arugosas, resistentes, con intercalaciones de arenas limosas de granos finos a gruesos, limos orgánicos de baja plasticidad gris oscuro capa vegetal. El perfil del subsuelo se puede definir con más detalles tal como se indica a continuación:

Calicata No. 1 Progresiva 0 + 650

De la profundidad de 0.00 a 0.20 m arena limosa de granos finos a medios, presencia de raíces capa vegetal (SM).



PREMEZCLADOS VENEZOLANOS C.A.
RIF. J-30635571-5

Agregados Río Acarigua, C.A.

De 0.20 - 4.00 M gravas limpias mal gradadas, muy arenosas, formada por peñones y cantos de areniscas subangulares a subredondos, resistentes, finos, no plásticos, color marrón claro a grisáceos (GP).

Calicato No. 2 Progresiva 0 + 850 M

De 0.00 M a 0.20 M limo orgánico muy arenoso de baja plasticidad, gris oscuro, presencia de raíces, capa vegetal OL.

De 0.20 - 4.00 M gravas limpias mal gradadas, muy arenosas, formada por peñones y cantos de areniscas subangulares a subredondos, resistentes, finos, no plásticos, color marrón claro a grisáceos (GP).

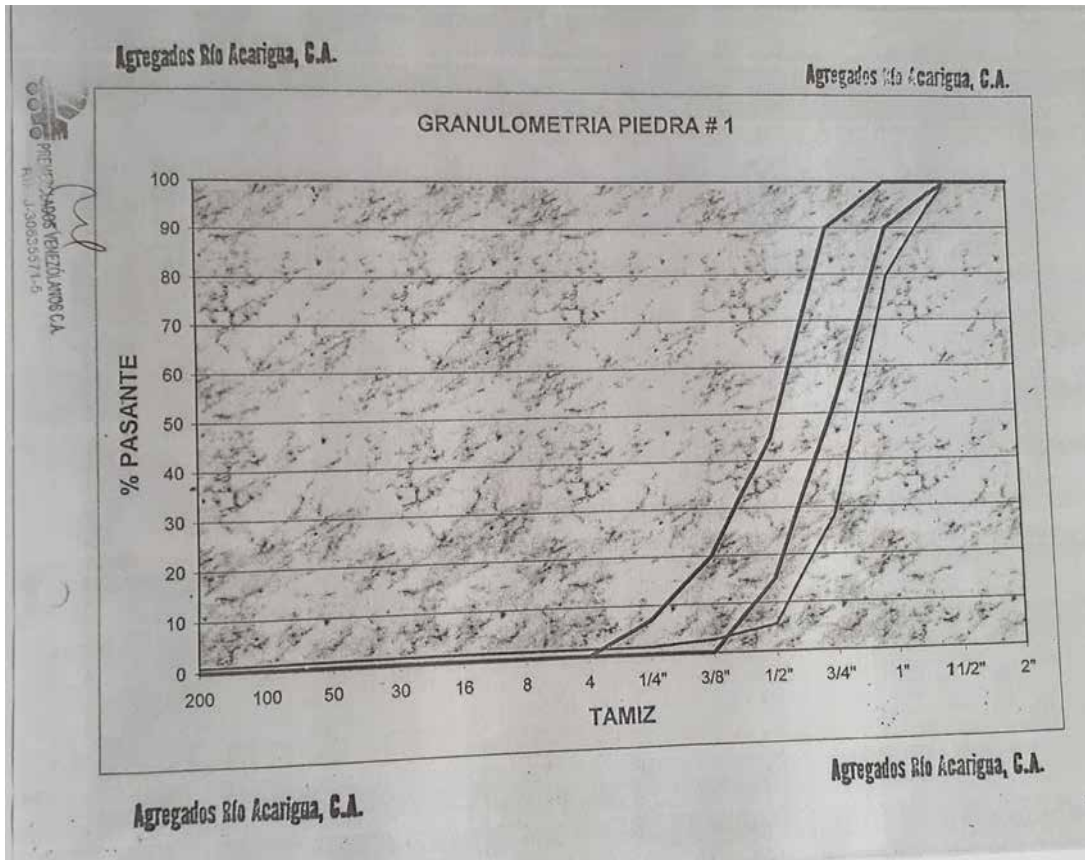
CONCLUSIONES:

El material granular existente en el depósito aluvional del río Acarigua, hasta la profundidad alcanzada, 4.0 mts. presenta un porcentaje de desgaste en la máquina de los angeles del 32%, este valor se considera muy aceptable, siendo el máximo permisible del 50%, además nos indica que los peñones y cantos son bastantes resistentes a la abrasión, por lo consiguiente este material debidamente seleccionado (Piedra No. 1, y arena lavada) son aptos para la fabricación de concretos especialmente los premezclados. Se anexa planilla del ensayo al desgaste.

Por: 
PABtour
Laboratorio de Control de Calidad
TORRES ORLANDO S.R.L.
Gilberto Ordaneta
Técnico Geólogo




PREMEZCLADOS VENEZOLANOS C.A.
RIF: J-30836571-5



Anexo D. Certificado de calidad de aditivo utilizado

Specialty Construction Products Venezuela, S. A.
 RIF J-410529644
 Av. Prolongación Michelena c/c Norte Sur edif #3 Piso PB
 Of Nro. 65-101 Zona Industrial Norte Valencia
 Valencia Carabobo Zona Postal 2003
 Cel 0414 413 1803

CERTIFICADO DE CALIDAD

CLIENTE: PREMEZCLADOS VENEZOLANOS

PRODUCTO: DARATARD 525 L

LOTE: VIC09-01

TIPO DE ENVASE: Granel

PESO NETO:

FECHA: Septiembre 2019

| CARACTERÍSTICAS | MÉTODO | ESPECIFICACIONES | RESULTADOS |
|--------------------------------|-----------|----------------------------------|------------------------------|
| Apariencia | Visual | Líquido limpio sin sedimento | Líquido limpio sin sedimento |
| Color | Visual | Marrón oscuro | Marrón oscuro |
| Sólido Totales(125 °C x 25min) | GCP B-27C | (52,50 - 55,50) % | 53,25 |
| Gravedad Específica @ 25°C | GCP B-33 | (1,21 - 1,24) gr/cm ³ | 1,24 |
| pH @ 25°C | GCP B-73 | (9,30 10,70) | 9,33 |

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

CERTIFICAMOS que los resultados informados fueron obtenidos empleando métodos de ensayos establecidos sobre una muestra representativa del producto al momento de su manufactura.

Más información sobre el producto puede ser obtenida en nuestro Boletín Técnico y Hoja de Seguridad



PREMEZCLADOS VENEZOLANOS C.A.
 RIF J-410529644

Anexo E Certificado de calidad del cemento

ANALISIS Y ENSAYOS

INFORME DE LABORATORIO
(DESPACHO DE CEMENTO)

MUESTRA DE CEMENTO: PORTLAND GRIS TIPO III - VENCEMOS PREMIUM
MIN: LOLLAND CEMENT DESPACHO: 06/07/2011

Certificado N° CLM-25
Fecha: 06/10/2011

ANALISIS QUIMICO:

| | | | | | | | |
|-------|---------|------------|--------|------------------|------|-------------------|------|
| SiO2 | 20,05 % | SO3 | 2,95 % | C3S | 62,7 | Módulo Silíceo | 2,27 |
| Al2O3 | 5,19 % | P.F. | 1,06 % | C2S | 10,2 | Módulo Ferrico | 1,43 |
| Fe2O3 | 3,63 % | R.I | — % | C3A | 7,6 | Módulo Hidráulico | 2,17 |
| CaO | 64,74 % | K2O | 0,58 % | C4AF | 11,0 | Saturación | 97,3 |
| MgO | 1,28 % | Na2O | 0,13 % | CaSO4 | 5,0 | | |
| | | Alcalis T. | 0,50 % | (Na2O+0,658*K2O) | | | |

ENSAYOS FISICO:

FINEZAS

| | |
|----------------------|--------|
| 45 um (Tamiz N°325): | 90,0 % |
| 75 um (Tamiz N°200): | 98,6 % |

SUPERFICIE ESPECIFICA

BLAINE 357,0 m2/Kg

ESTABILIDAD DE VOLUMEN AL AUTOCLAVE _____ %

CONTENIDO DE AIRE EN MORTERO _____ %

FALSO FRAGUADO 77,4 %

CALOR DE HIDRATACION

7 Dias _____ Cal/gr

FRAGUADO.

Agua para consistencia normal: 75,6 %

GILLMORE.

Inicial: 140 min.
Final: 235 min.

VICAT.

Inicial: 125 min.
Final: 210 min.

RESISTENCIAS.

COMPRESION
(COVENIN 484-89 ASTM C109-01)

| | | | | |
|---------|-----|--------|------|-----|
| 1 Dia | 176 | Kg/cm2 | 17,3 | MPa |
| 3 Dias | 178 | Kg/cm2 | 27,3 | MPa |
| 7 Dias | | Kg/cm2 | | MPa |
| 28 Dias | | Kg/cm2 | | MPa |

[1Kg/cm2 = 0.098066 MPa]

Clasificación: TIPO: III Cumple con los requisitos de la Norma COVENIN 28 Vigente.
Observaciones: DESTINO: TERMINAL DE CEMENTOS CATIA LA MAR

ing. Rebeca Meneses de Muñoz
firmado el original

Gerente Calidad Y Ambiente

P-GAC-C-03-F7



