



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS
CONCRETOS UTILIZANDO CEMENTO BLANCO “TOLTECA”
Y CEMENTO GRIS “SOL”**

PRESENTADA POR

**FERNANDO JAVIER GALLO CUBAS
ALONSO JONATHAN SAAVEDRA CASTRO**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2015



**Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada
CC BY-NC-ND**

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTIN DE PORRES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS
CONCRETOS UTILIZANDO CEMENTO BLANCO “TOLTECA”
Y CEMENTO GRIS “SOL”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR

**GALLO CUBAS, FERNANDO JAVIER
SAAVEDRA CASTRO, ALONSO JONATHAN**

LIMA – PERÚ

2015

El presente trabajo lo dedico a Dios, quien me inspiró para arribar a la conclusión de esta tesis. A mis padres, y a mis hermanos, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida. A mi esposa e hijos por estar conmigo y apoyarme siempre. Los quiero mucho.

F. Gallo

El presente trabajo lo dedico a mis padres y a mis hermanos por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

A. Saavedra

Agradecimientos

Al Ingeniero Gonzalo Fano Mirano, por ser nuestro asesor y brindarnos los criterios técnicos para el desarrollo de la investigación.

A los ingenieros Carlos Chavarry V. y Alexis Samohod R. por ilustrarnos con criterios metodológicos para el desarrollo de la investigación.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Objetivos	4
1.4 Justificación e importancia	5
1.5 Alcances y limitaciones	7
1.6 Viabilidad	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes de la investigación	8
2.2 Bases teóricas	10
2.3 Marco Conceptual	64
2.4 Hipótesis	66
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	68
3.1 Tipo de investigación	68

3.2 Nivel de investigación	68
3.3 Diseño de investigación	69
3.4 Variables	69
CAPÍTULO IV. PRESENTACION DE RESULTADOS	74
4.1 Contrastación de hipótesis	74
4.2 Análisis e interpretación de la investigación	78
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	130
CONCLUSIONES	133
RECOMENDACIONES	135
FUENTES DE INFORMACIÓN	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes Químicos del cemento Portland de producción nacional	12
Tabla 2. Componentes químicos del cemento portland de producción nacional.	17
Tabla 3. Compuestos químicos del cemento portland de producción nacional	18
Tabla 4. Principales minerales en el cemento Blanco	27
Tabla 5. Composición Química del Clinquer Blanco y Gris del cemento Portland	32
Tabla 6. Requisitos de Granulometría para agregados finos	35
Tabla 7. Requisitos de Granulometría para agregados gruesos	39
Tabla 8. Límites permisibles para el agua de mezcla y curado según la norma NTP 339.088	43
Tabla 9. Numero de capas requeridas en la elaboración de vigas	54
Tabla 10. Trabajabilidad y revenimiento de concretos con tamaño máximo de agregado entre ¾" a 1 ½".	63
Tabla 11. Operacionalización de variables – Variable dependiente	70
Tabla 12. Análisis granulométrico agregado fino	78
Tabla 13. Peso unitario suelto del agregado fino	80
Tabla 14. Peso unitario compactado del agregado fino	81
Tabla 15. Peso específico de masa y absorción del agregado fino	83
Tabla 16. Contenido de humedad del agregado fino	84
Tabla 17. Análisis granulométrico agregado grueso	85

Tabla 18. Peso unitario suelto agregado grueso	87
Tabla 19. Peso unitario suelto agregado grueso	88
Tabla 20. Peso específico de masa y absorción del agregado grueso	89
Tabla 21. Contenido de Humedad del Agregado Grueso	90
Tabla 22. Características de los cementos para el diseño de mezcla	92
Tabla 23. Características del agua y agregados para el diseño de mezcla	92
Tabla 24. Calculo de resistencia f'_{cr}	93
Tabla 25. Cantidad de agua requerida para el diseño de mezcla	93
Tabla 26. Cantidad de aire atrapado	94
Tabla 27. Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto	95
Tabla 28. Volúmenes Absolutos del cemento, agua, aire y agregados gruesos	96
Tabla 29. Pesos secos de los materiales para el diseño de mezcla	96
Tabla 30. Pesos secos de los materiales para el diseño de mezcla	97
Tabla 31. Pesos para una tanda de 54 Kg	98
Tabla 32. Ensayos para la obtención de consistencia plástica usando cemento Blanco Tolteca	99
Tabla 33. Diseños de mezcla usando cemento Blanco Tolteca para diferentes a/c y una tanda de 54 Kg	100
Tabla 34. Ensayos para la obtención de consistencia plástica usando cemento Blanco Tolteca	101
Tabla 35. Resumen de diseños de mezcla para tandas de 54 Kg	102
Tabla 36. Asentamiento para los diferentes diseños de mezcla de concreto empleado	103
Tabla 37. Consistencia del concreto	104
Tabla 38. contenido de aire atrapado para los diferentes diseños de mezcla de concreto empleados	105
Tabla 39. contenido de aire del concreto	106
Tabla 40. Factor de compacidad para los diferentes diseños de mezcla de concreto empleados	107
Tabla 41. Factor de compacidad del concreto	108
Tabla 42. Peso unitario para los diferentes diseños de mezcla de concreto empleados	109
Tabla 43. Peso unitario del concreto	110

Tabla 44. Resistencia a la compresión para los diseños de mezcla empleados y a/c 0.45	111
Tabla 45. Resistencia a la compresión para los diseños de mezcla empleados y a/c 0.55	112
Tabla 46. Resistencia a la compresión para los diseños de mezcla empleados y a/c 0.60	113
Tabla 47. Resistencia a la compresión del concreto a los 3 días	115
Tabla 48. Resistencia a la compresión del concreto a los 7 días	115
Tabla 49. Resistencia a la compresión del concreto a los 14 días	115
Tabla 50. Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días	116
Tabla 51. Resistencia a la flexión para los diseños de mezcla empleados y a/c 0.45	117
Tabla 52. Resistencia a la flexión para los diseños de mezcla empleados y a/c 0.55	118
Tabla 53. Resistencia a la flexión para los diseños de mezcla empleados y a/c 0.60	119
Tabla 54. Resistencia a la flexión del concreto a los 3 días	121
Tabla 55. Resistencia a la flexión del concreto a los 7 días	121
Tabla 56. Resistencia a la flexión del concreto a los 14 días	121
Tabla 57. Resistencia a la flexión del concreto a los 28 días	122
Tabla 58. Variación de Temperatura del concreto	123
Tabla 59. Temperatura del concreto	125
Tabla 60. Grado de trabajabilidad	126
Tabla 61. Tiempo Inicial y final de fraguado	126
Tabla 62. Tiempo de fraguado del concreto	127
Tabla 63. Grado de trabajabilidad	128
Tabla 64. Resultados de Asentamiento del Cono de Abrams	128
Tabla 65. Trabajabilidad del Concreto	129

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Obtención y Preparación de Materia Prima	12
Gráfico 2. Homogeneización y Molienda Crudo	13
Gráfico 3. Homogeneización y Molienda Crudo	14
Gráfico 4. Fabricación de Clinker – Horno.	15
Gráfico 5. Fabricación de Clinker – Enfriado	15
Gráfico 6. Molienda del Clinker	16
Gráfico 7. Expedición	17
Gráfico 8. Primera capa para la determinación del asentamiento del concreto	46
Gráfico 9. Llenado en el troncocónico para la determinación del asentamiento del concreto	46
Gráfico 10. medición del Slump para determinar el asentamiento del concreto	47
Gráfico 11. Compacimetro de Glanville.	49
Gráfico 12. Ensayo de Resistencia a la flexión	55
Gráfico 13. Instrumento Aguja de Vicat.	61
Gráfico 14. Análisis granulométrico agregado fino	79
Gráfico 15. Análisis granulométrico agregado grueso	86
Gráfico 16. Resistencia a la compresión a/c=0.45	114
Gráfico 17. resistencia a la compresión a/c=0.55	114
Gráfico 18. resistencia a la compresión a/c 0.60	115
Gráfico 19. resistencia a la flexión a/c=0.45	120
Gráfico 20. resistencia a la flexión a/c=0.55	120

Gráfico 21. resistencia a la flexión $a/c=0.60$	121
Gráfico 22. Tiempo vs Temperatura del Concreto Fresco	124

RESUMEN

El trabajo de investigación denominado Análisis comparativo del comportamiento de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y cemento Gris Sol consistió en una investigación con metodología de tipo descriptiva. El diseño de investigación es experimental, prospectivo longitudinal y las variables son de tipo cualitativo ordinal. Tiene como objetivo realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y cemento Gris Sol; para determinar sus propiedades más significativas en estado fresco y endurecido. Se estudiaron las propiedades de los agregados y de los cementos; normas técnicas peruanas e internacionales. Conocimientos que se utilizaron para determinar el comportamiento de los concretos en estudio luego de haber sido interpretados a través de tablas y gráficos de acuerdo a normas nacionales e internacionales.

Finalmente, la investigación determina que el comportamiento del concreto con cemento Blanco Tolteca es mejor que la del concreto con cemento Gris Sol en consistencia, compacidad, peso unitario, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y trabajabilidad; pero no en contenido de aire, temperatura y tiempo de fraguado.

Palabras claves: cemento Portland, cemento Portland Blanco, Diseño de Mezcla del Concreto y Normas Técnicas Peruanas

ABSTRACT

The research called comparative analysis of the behavior of the using Blanco Tolteca cement and Gris Sol cement, research consisted of a descriptive methodology. The research design is experimental, prospective longitudinal and ordinal variables are qualitative. It aims to make a comparative analysis of the concrete using cement and cement Grey White Tolteca Sun; to determine their most significant properties in fresh and hardened state. Were studies the properties of the aggregates and cements; Peruvian and international technical standards. Knowledge that were used to determine the behavior of concrete under study after being played through tables and graphs according to national and international standards.

Finally, the investigation determines that the behavior of concrete with cement White Tolteca is better than concrete with cement Grey Sun consistency, compactness, unit weight, compressive strength, flexural strength and workability; but not in air content, setting time and temperature.

Keywords: Portland cement, Portland cement white, Concrete Mix Design and Peruvian Technical Standards

INTRODUCCIÓN

El cemento portland blanco es un aglomerante poco utilizado en el sector de la construcción peruano esto debido a que se tiene poca información de sus beneficios con respecto hacia los cementos portland tradicionales.

La decisión de escoger el concreto con cemento Blanco Tolteca se basa principalmente por ser un material relativamente nuevo con un precio competitivo con respecto a otros productos del mercado peruano.

El objetivo de la investigación es realizar el análisis comparativo del comportamiento de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y cemento Gris Sol; para determinar sus propiedades en estados fresco y endurecido. Se han planteado 9 objetivos específicos:

- Medir las consistencias normales al realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.
- Medir el contenido de aire en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.
- Medir los factores de compacidad en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.
- Medir los pesos unitarios en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.
- Medir las resistencias a las compresiones al realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.

- Medir las resistencias a las flexiones al realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.
- Medir las temperaturas en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.
- Medir los tiempos de fraguado para su interpretación en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.
- Medir las trabajabilidades al realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.

La motivación para la elaboración de esta tesis es identificar el problema en estudio y describir los objetivos a seguir que corresponde al Capítulo I, en el segundo, se abordan las bases teóricas del concreto así como las de sus componentes, en el tercero, siguiendo la metodología el tipo de estudio, en el cuarto, se analizan los datos obtenidos en campo de forma gráfica y se contrastan entre sí, en el quinto, se afirma o niega lo propuesto en la tesis y expresa los resultados, además como complemento se adicionarán fuentes de información y datos técnicos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Aparte de la minería, la industria de la construcción, en el Perú, se ha convertido en uno de los sectores más dinámicos de la economía. Sin duda, en su crecimiento influye la expansión de la demanda interna como consecuencia del aumento de la población y el crecimiento de la economía, asimismo, por el aumento de la inversión privada, bien secundada por la pública.

El sector construcción ha crecido a tasas superiores al 10%, vale decir a ritmos mayores que la tasa de crecimiento del PBI global. Tanto es así desde el año 2006 creció en más del 14% anual, excepto en el 2009 cuando cayó al 6% causado por la crisis financiera internacional, pero inmediatamente se recuperó hasta alcanzar en el año 2010 una tasa superior al 17%. Los años subsiguientes continuó creciendo, aunque con menor velocidad, tal como puede corroborarse en las estadísticas oficiales del INEI y del BCRP.

En el crecimiento sectorial destacan las obras relacionadas con la edificación de viviendas y centros comerciales, favorecidos por las condiciones de acceso al financiamiento a través de créditos hipotecarios promovidos por el estado y otras fuentes privadas del sistema financiero.

En los últimos años se construyeron, ampliaron o mejoraron decenas de miles de viviendas en el país, las que fueron colocadas predominantemente en el sector de la clase media en evidente ascenso.

Dentro de los materiales básicos y de mayor uso en estas obras civiles, están los aglomerantes, que en estado pastoso y con consistencia variable, tienen la propiedad de poderse moldear, y adherir fácilmente a otros materiales, endurecer y alcanzar resistencias mecánicas considerables.

Estos materiales son de vital importancia en la construcción, forman parte de casi todos los elementos de la misma.

En el Perú la industria de cemento produce diferentes tipos y clases de cemento que son requeridos en el mercado nacional, según las características de los diferentes procesos que comprende la construcción de la infraestructura necesaria para el desarrollo, la edificación y las obras de urbanización que llevan a una mejor calidad de vida.

Las diferentes marcas de cemento que hoy se encuentran en el mercado deben cumplir estrictamente con las normas nacionales e internacionales. De esta manera existe una gran variedad de este material (cemento), de distintos componentes, productores y precios, pero casi todos con la misma finalidad.

Los cementos que tienen participación en el Mercado Peruano son los siguientes: cemento Lima, cemento Andino, cemento Sol, cemento Pacasmayo, cemento Yura, cemento Sur y cemento Selva. También encontramos cementos residentes de otros países como es el cemento Quisqueya, y para nuestro proyecto de tesis el cemento Blanco Tolteca-Cemex.

CEMEX Perú S.A. inició operaciones en abril de 2007, dedicándose a la importación y comercialización de cemento gris y blanco, y desde octubre

del año 2010 la producción y comercialización de agregados para la construcción.

Si bien es cierto, el cemento Blanco Tolteca a comparación de los cementos peruanos, estos tienen los mismos usos y siguen los mismos procesos constructivos. Pero, la presente tesis se estudió el comportamiento de este cemento de origen mexicano “cemento Blanco Tolteca”, que en la actualidad se está utilizando en diversas obras en la ciudad de Lima.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son los resultados en el análisis comparativo del comportamiento de los concretos utilizando **cemento Blanco Tolteca** y **cemento Gris Sol**?

1.2.2 Problema específico

¿Cuáles son las **consistencias normales** en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol?

¿Cuáles es el **contenido de aire** en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol?

¿Cuáles son los **factores de compacidad** en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol?

¿Cuáles son los **pesos unitarios** en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol?

¿Cuáles son las **resistencias a la compresión** en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol?

¿Cuáles son las **resistencias a la flexión** en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol?

¿Cuáles son las **temperaturas** en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol?

¿Cuáles son los **tiempos de fraguados** para su interpretación en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol?

¿Cuáles son las **trabajabilidades** en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando **cemento Blanco Tolteca** y **cemento Gris Sol**; para determinar sus propiedades más significativas en su estado fresco y endurecido; y evaluar sus desempeños para elegir con mejor elemento de juicio si es el más adecuado para una obra determinada.

1.3.2 Objetivos específicos

Medir las **consistencias normales** al realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.

Medir el **contenido de aire** en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.

Medir los **factores de compacidad** en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.

Medir los **pesos unitarios** en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.

Medir las **resistencias a las compresiones** al realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.

Medir las **resistencias a las flexiones** al realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.

Medir las **temperaturas** en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.

Medir los **tiempos de fraguados** para su interpretación en el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.

Medir las **trabajabilidades** al realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando cemento Blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.

1.4 Justificación e importancia

Hoy en día el cemento ha presentado en los últimos años una notable evolución que ha desterrado el concepto de cemento multipropósito, y hoy es posible hablar de cementos especializados, que difieren del propósito general de la producción masiva porque adaptan sus características a las necesidades específicas del usuario y del proyecto generando beneficios que permiten lograr resistencias estructurales adecuadas y acelerar los procesos constructivos.

Las características del concreto pueden variar en un grado considerable, mediante el control de sus ingredientes para una estructura específica, resulta económico utilizar un concreto que tenga las características exactas necesarias, aunque esté débil en otras.

Una variedad clasificada para “uso especial” es el cemento Blanco. Por lo tanto, se desea conocer las propiedades del cemento Blanco y evaluar su desempeño respecto del cemento Gris convencional; para este análisis comparativo del comportamiento de los concretos, se tomaron el cemento blanco Tolteca y el cemento Gris Sol.

Por lo tanto, este estudio del cemento Blanco Tolteca no solo le basta con obtener estructuras resistentes y durables, pues como sabemos además requiere conjugarse con el cumplimiento de previsiones igualmente eficaces en cuanto al diseño, especificación, construcción y mantenimiento de las propias estructuras.

Estas propiedades deben cumplir las siguientes normas:

ASTM C150 “Estándar Specification For Portland Cement” (Especificaciones Estándares para el cemento Portland), esta norma americana de uso internacional tiene requisitos químicos como por ejemplo: porcentaje de óxido de magnesio, porcentaje de pérdida por ignición, entre otros, y requisitos físicos como, por ejemplo, tiempo de fraguado, ensayo de vicat, entre otros. Esta norma reconoce ocho tipos de cemento Portland definidos como siguen: Tipo I; cemento de uso general adecuado para todas las aplicaciones en las que las características especiales de otro tipo no son necesarios, Tipo IA, Tipo II, Tipo IIA, Tipo III, Tipo IIIA, Tipo IV, Tipo V.

NTP 334.009 (Requisitos del cemento Portland), esta Norma Técnica Peruana establece los requisitos que deben cumplir los cinco tipos de cementos Portland definidos como sigue: Tipo I: para usos que no requieran propiedades especiales de cualquier otro tipo; Tipo II, Tipo III, Tipo IV, Tipo V.

El estudio se realizará en condiciones climáticas de Lima, utilizando agua y los agregados más utilizados en nuestro medio.

1.5 Alcances y limitaciones

La recolección de datos cuantitativos se obtendrá en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la USMP ubicado en la ciudad de Lima.

La presente investigación abarcará pruebas y ensayos en estado fresco y endurecido del concreto con **cemento Blanco Tolteca** y con **cemento Gris Sol** para obtener sus indicadores.

Los instrumentos proporcionados por el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la USMP para medir nuestros indicadores son:

- Cono de Abrams
- Aguja de Vicat
- Prensa hidráulica a la compresión
- Prensa hidráulica a la flexión
- Mezcladora de concreto de 3 pies cúbicos
- Balanza digital

1.6 Viabilidad

Fuentes de información relacionadas con el tema en investigación.

Acceso a la información de la Biblioteca de la Universidad De San Martín De Porres.

Autorización para realizar pruebas y ensayos en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad De San Martín De Porres.

Asesoramiento por el Ing. Gonzalo Fano Mirano, CIP: 38361.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Ríos Naranjo, E. (1986). cemento Portland Blanco. Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil.

El diseño de la investigación de la tesis, es experimental del tipo descriptivo, y tiene como objetivo presentar las principales propiedades del cemento blanco.

En esta investigación se presenta los aspectos históricos de la evolución de este material y la llegada a nuestro país. Posteriormente se realizó el estudio del comportamiento de los concretos utilizando el cemento Blanco Huascarán y el cemento Gris Sol, utilizando algunos de los principales ensayos del concreto y tomando para el análisis una sola relación de agua/cemento. Ríos Naranjo, E. (1986).

Esta tesis muestra el inicio a la presentación del cemento blanco para una futura consolidación como material de construcción en nuestro país. Asimismo se muestra una investigación bastante limitada, por lo que en su momento se recomienda en realizar ensayos más amplios para

conocer más detallado el comportamiento del concreto con cemento portland blanco utilizando diferentes diseños de mezclas y analizándolos en diferentes edades.

2.1.2 Chuquivilca, P. (2008) Características y Comportamiento del Concreto Utilizando cemento Quisqueya. Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil. Tesis para obtener el título de Ingeniería Civil.

El diseño de la investigación de la tesis, es experimental del tipo prospectivo descriptivo, y tiene como objetivo principal y fundamental comprobar el comportamiento de los concretos preparados con el cemento portland Quisqueya. Para ello en esta investigación miden algunas propiedades del concreto utilizando cemento Quisqueya en su estado fresco y endurecido. Chuquivilca, P. (2008).

Esta tesis se relaciona con la investigación, ya que muestra cómo debe estructurarse de una manera detallada la elaboración del comparativo de los concretos utilizando dos tipos de cemento, para este caso el cemento Quisqueya y cemento Sol, ambos de color gris. Asimismo esta tesis es tomada como referencia porque muestra de manera esquemática los procesos principales para la elaboración del análisis comparativo, iniciando los estudios desde la caracterización de los agregados hasta llegar a la obtención de resultados de los diversos tipos de ensayos o pruebas del concreto.

Adicionalmente en dar a conocer las propiedades del cemento Quisqueya y asegurar su compatibilidad de trabajar este en conjunto con los agregados; presenta la previsión de emplear el material potencialmente adecuado y cumplir con las normas ASTM y NTP.

2.1.3 Navarrete Anabalón, G. (2006) Caracterización del cemento Blanco. Chile. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela Ingeniería en Construcción. Tesis para obtener el título de Ingeniero Constructor.

El diseño de la investigación de la tesis, es experimental del tipo descriptivo, y tiene como objetivo determinar las propiedades del cemento blanco y evaluar su desempeño respecto del cemento gris convencional Navarrete Anabalón, G. (2006).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Cemento Portland Gris

a) Aspectos generales del Cemento Portland

El cemento es un material inorgánico finamente pulverizado, de color gris o blanco que, al agregarle agua, ya sea sólo o mezclado con arena, grava u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad. Cuando el cemento es mezclado con agua y arena forma mortero, y cuando es mezclado con arena y piedras pequeñas forma una piedra artificial llamada concreto.

Según Frederick el cemento es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes. (Frederik L., 1988).

En sentido genérico, el cemento se puede definir como un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le dan la capacidad de unir fragmentos sólidos, para formar un material resistente y durable. Esta definición incluye gran cantidad de materiales cementantes como las cales, los asfaltos, etc. No obstante, los cementos que más importan, desde el punto de vista de la tecnología del concreto, son los cementos calcáreos que tengan propiedades hidráulicas, es decir, que desarrollen sus propiedades (fraguado y adquisición de resistencia) cuando se encuentran en presencia de agua, como consecuencia de la reacción química entre los dos materiales.

Los cementos utilizados, en la construcción, se denominan en algunas ocasiones por su origen, como el cemento romano, o por su parecido con otros materiales como el caso del cemento Portland, que tiene cierta semejanza con la piedra de Portland, utilizada en Gran Bretaña para la construcción. Los cementos que resisten altas temperaturas se llaman cementos refractantes.

Neville relata que en el año 1824 Joseph Apsdin un constructor inglés, patenta un proceso de calcinación de caliza arcillosa que producía un cemento que al hidratarse adquiriría, según él, la misma resistencia que la piedra portland cerca del puerto de Dorset, con lo que se marca el punto de partida para el nacimiento de la tecnología del concreto. (Neville A., 1977).

En 1845, cuando se desarrolla el procedimiento industrial del cemento Portland moderno que con algunas variantes persiste hasta nuestros días y que consiste en moler rocas calcáreas con rocas arcillosas en cierta composición y someter este polvo a temperaturas sobre los 1300 °C produciéndose lo que se denomina el Clinker, constituido por bolas endurecidas de diferentes diámetros, que finalmente se muelen añadiéndoseles yeso para tener como producto definitivo un polvo sumamente fino.

b) Fabricación del cemento Portland

El punto de partida del proceso de fabricación lo constituye la selección y explotación de las materias primas para su procesamiento consiguiente.

Los componentes químicos principales de las materias primas para la fabricación del cemento y las proporciones generales en que intervienen son:

Tabla 1. Componentes Químicos del cemento Portland de producción nacional

	COMPONENTE QUIMICO	PROCEDENCIA USUAL
95%	Oxido de Calcio (CaO)	Rocas Calizas
	Oxido de Silice (SiO ₂)	Areniscas
	Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas
	Oxido de Fierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, Minerla de Hierro, Piritas
5%	Oxidos de Magnesio, Sodio	Minerales Varios
	Potasio, Titanio, Azufre,	
	Fosforo y Magnesio	

Fuente: Colegio de Ingenieros del Perú “Tópicos de Tecnología del Concreto”

- **Obtención y preparación de materia primas**

El proceso de fabricación del cemento comienza con la extracción de las materias primas que se encuentran en yacimientos, normalmente canteras a cielo abierto. Las canteras se explotan mediante voladuras controladas, en el caso de materiales duros como calizas y pizarras, mientras que en el caso de materiales blandos (arcillas y margas) se utilizan excavadoras para su extracción.

Una vez extraído y clasificado el material, se produce la trituración hasta obtener una granulometría adecuada para el producto de molienda y se traslada a la fábrica mediante cintas transportadoras o camiones para su almacenamiento en el parque de pre homogeneización.

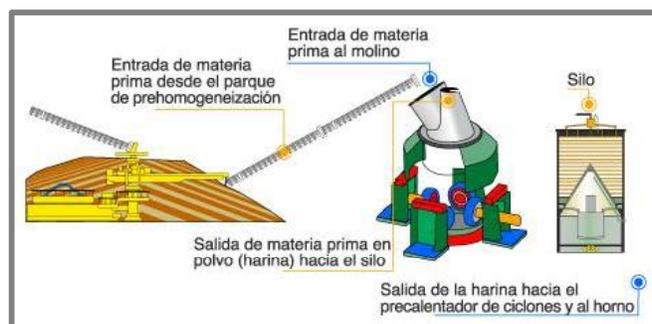


Gráfico 1. Obtención y Preparación de Materia Prima

Fuente: ASOCEM Cátedra de Concreto 2008

- **Homogeneización y molienda crudo**

En el parque de pre homogeneización, el material triturado se almacena en capas uniformes para ser posteriormente seleccionadas de forma controlada. La pre-homogeneización permite preparar la dosificación adecuada de los distintos componentes reduciendo su variabilidad.

Posteriormente, estos materiales se muelen en molinos verticales o de bolas para reducir su tamaño y favorecer así su cocción en el horno. En el molino vertical, se tritura el material a través de presión que ejercen sus rodillos sobre una mesa giratoria. A partir de ahí, la materia prima (harina o crudo) se almacena en un silo para incrementar la uniformidad de la mezcla.

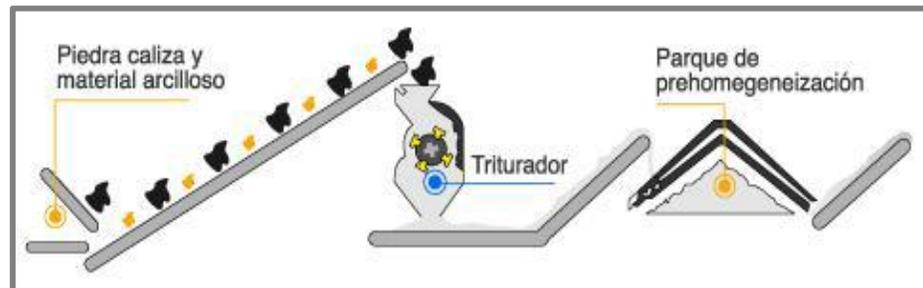


Gráfico 2. Homogeneización y Molienda Crudo

Fuente: ASOCEM Catedra de Concreto 2008

- **Pre-Calentador de ciclones**

En función de cómo se procesa el material antes de su entrada en el horno de Clinker, se distinguen cuatro tipos de procesos de fabricación: vía seca, vía semiseca, vía semi húmeda o vía húmeda. En la actualidad, la mayoría de las cementeras peruanas utilizan la vía seca. La alimentación del horno se realiza a través del pre calentador de ciclones, que calienta la materia prima para facilitar su cocción. La harina o crudo (materia prima molida) se introduce por la parte superior de la torre y va descendiendo por ella. Mientras tanto, los gases provenientes del horno, que están a altas

temperaturas, ascienden a contracorriente, precalentando así el crudo que alcanza los 1.000°C antes de entrar al horno.

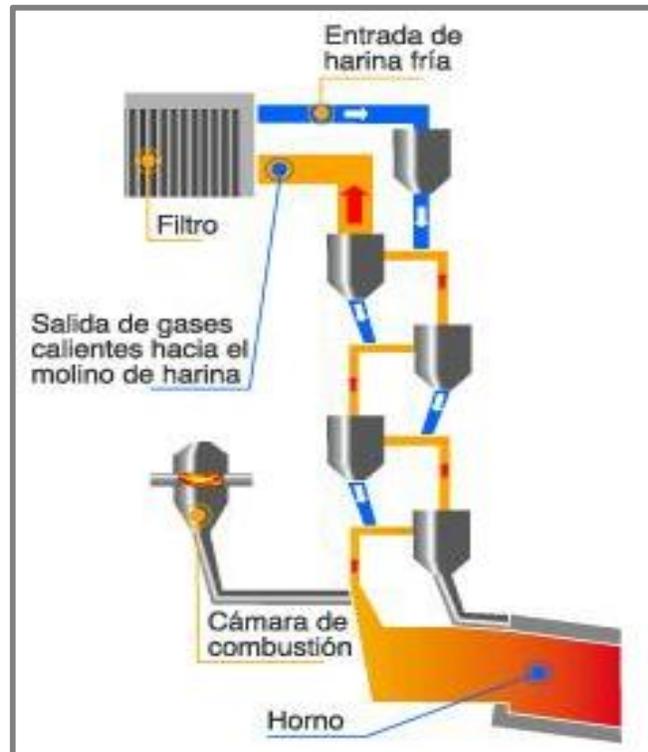


Gráfico 3. Homogeneización y Molienda Crudo

Fuente: ASOCEM Catedra de Concreto 2008

- **Fabricación de Clinker – Horno**

A medida que la harina va avanzando en el interior del horno, mientras está rota, la temperatura va aumentando hasta alcanzar los 1,500 °C a esta temperatura se producen complejas reacciones químicas que dan lugar al Clinker.

Para alcanzar las temperaturas necesarias para la cocción de las materias primas y la producción del Clinker, el horno cuenta con una llama principal que arde a 2,000 °C. En algunos casos, también hay una llama secundaria situada en la cámara de combustión, que se encuentra en la torre del pre calentador. Estas llamas se alimentan con combustibles tradicionales, como el carbón o el coque de

petróleo, o alternativos como los neumáticos o los lodos depuradora, entre otros.

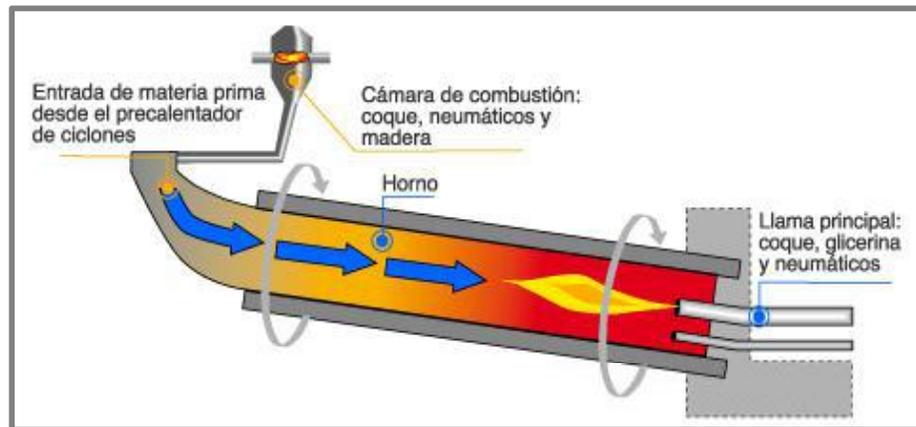


Gráfico 4. Fabricación de Clinker – Horno.

Fuente: ASOCEM Catedra de Concreto 2008

- **Fabricación de Clinker – Enfriado**

A la salida del horno, el Clinker se introduce en el enfriador, que inyecta aire frío del exterior para reducir su temperatura de los 1,400 °C a los 100 °C. El aire caliente generado en este dispositivo se introduce nuevamente en el horno para favorecer la combustión, mejorando así la eficiencia energética del proceso.

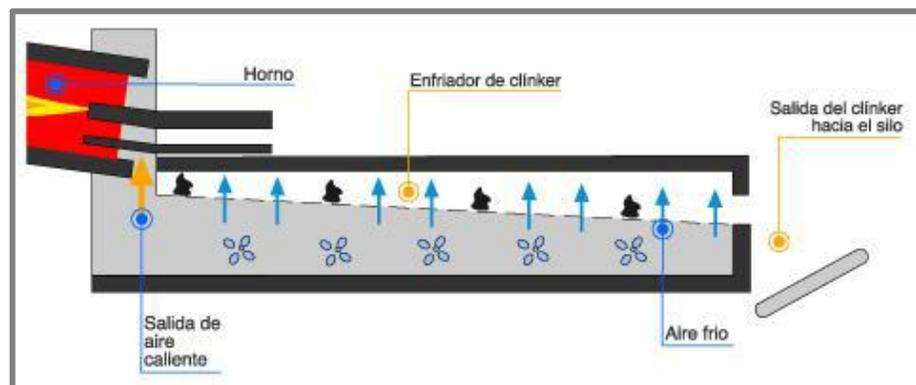


Gráfico 5. Fabricación de Clinker – Enfriado

Fuente: ASOCEM Catedra de Concreto 2008

- **Molienda del Clinker**

Una vez obtenido, el Clinker se mezcla con yeso y adiciones, en proporciones adecuadas, dentro de un molino de cemento. En su interior, los materiales se muelen, se mezclan y homogeneizan.

Los molinos pueden ser de rodillos (horizontales y verticales) y de bolas. Este último consiste en un gran tubo que rota sobre sí mismo y que contiene bolas de acero en su interior. Gracias a la rotación del molino, las bolas colisionan entre sí, triturando el Clinker y las adiciones hasta lograr un polvo fino y homogéneo, el cemento.

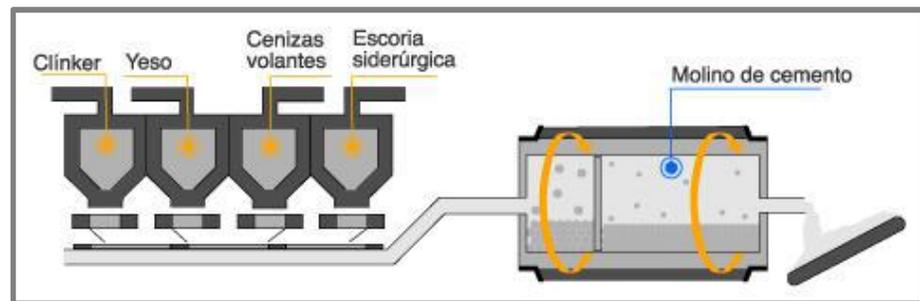


Gráfico 6. Molienda del Clinker

Fuente: ASOCEM Catedra de Concreto 2008

- **Expedición**

Por último, el cemento se almacena en silos, separado según sus clases, antes de ser descargado en un camión cisterna para su transporte por carretera o ferrocarril.

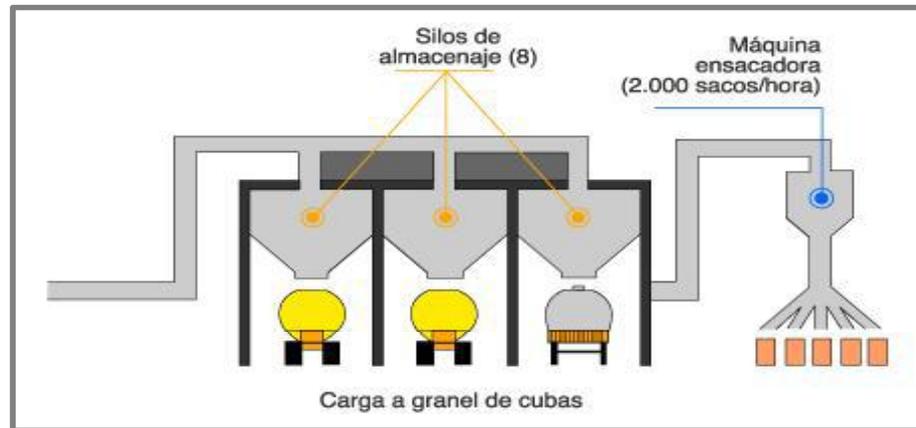


Gráfico 7. Expedición

Fuente: ASOCEM Catedra de Concreto 2008

Los componentes químicos del cemento Portland se expresa en porcentaje de óxidos que contienen. Los principales óxidos son: la cal, sílice, alúmina y el óxido férrico, siendo el total de estos del 95% al 97%, aproximadamente. En pequeñas cantidades, también se presentan otros óxidos: la magnesia, el anhídrido sulfúrico, los álcalis y otros de menor importancia. Así tenemos:

Tabla 2. Componentes químicos del cemento portland de producción nacional.

OXIDO COMPONENTE	PORCENTAJE TIPICO	ABREVIATURA
CaO	62.5% - 64.5%	C
SiO ₂	19% - 22%	S
AL ₂ O ₃	4% - 6%	A
Fe ₂ O ₃	3% - 3.5%	F
SO ₃	2.3% - 2.6%	
MgO	0.9% - 2.9	

Fuente: Boletín ASOCEM “Química del cemento”.

Los compuestos químicos formados por la combinación de los óxidos entre sí por la cocción a altas temperaturas y forman productos complejos. Los principales compuestos que constituyen, aproximadamente, el 95% del cemento, también se presentan en menores cantidades, otros compuestos secundarios.

Tabla 3. Compuestos químicos del cemento portland de producción nacional

DESIGNACION	FORMULA	ABREVIATURA	PORCENTAJE
Silicato tricalcico	$3CaO.SiO_2$	C3S	48% - 52%
Silicato dicalcico	$2CaO.SiO_2$	C2S	17% - 27%
Aluminato tricalcico	$3CaO.Al_2O_3$	C3A	6% - 10%
Ferro aluminato tetracalcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C4AF	9% - 11%

Fuente: Boletín ASOCEM “Química del cemento”.

Las propiedades de los compuestos principales son:

- **Silicato Tricalcico (C3S)**

Es el más importante de los compuestos del cemento.

Determina la rapidez o velocidad de fraguado.

Precisa la resistencia inicial del cemento.

Importancia en el calor de hidratación de los cementos.

Contribuye a una buena estabilidad de volumen.

Contribuye a la resistencia al intemperismo.

- **Silicato Dicálcico (C2S)**

Es el segundo en importancia.

Endurece con lentitud.

Alcanza elevada resistencia a la compresión a largo plazo (después de prolongado endurecimiento).

El valor de hidratación es equivalente a 63 cal/gr.

Contribuye a la resistencia al intemperismo junto al C3S.

Su contribución a la estabilidad de volumen es regular.

- **Aluminato Tricalcico (C3A)**

Es el primero en hidratarse. O sea fragua con mucha rapidez (hidratación violenta).

Posee poca resistencia mecánica (no incide en la resistencia a la compresión).

Tiene baja resistencia al intemperismo (acción del hielo y deshielo).

Posee mala estabilidad de volumen.

Escasa resistencia a la acción del ataque de los sulfatos y ataques químicos.

Calor de hidratación equivalente a 207 cal/gr.

- **Ferro Aluminato Tetra cálcico (C4AF)**

Tiene relativa trascendencia en la velocidad de hidratación (es relativamente rápida).

El calor de hidratación es equivalente a 100 cal/gr (moderado).

En la resistencia mecánica, no está definida su influencia.

La estabilidad de volumen es mala.

Nota: El Silicato Tricalcico (C3S) y el Silicato Dicálcico (C2S) ambos constituyen el 75% del cemento. Por lo que la resistencia mecánica se debe a estos dos compuestos.

c) **Composición del cemento Portland**

Obtención caliza (carbonato de calcio CaCO_3)

La caliza es una roca sedimentaria menos compacta que el mármol, compuesta, en su mayoría, por carbonato cálcico. Es muy abundante y su origen puede ser orgánico o químico. Otros componentes presentes en su composición son el óxido de hierro, fósiles y otros minerales. Estos componentes son necesarios para la formación del clínquer en las etapas posteriores.

Para obtener la caliza, existen diferentes métodos de extracción, ya sea a tajo abierto (sobre el manto terrestre), o como también por métodos subterráneos. Este último método es escaso y costoso, pero a diferencia del otro método (a tajo abierto), la caliza extraída es más pura, siendo de mejor calidad.

La caliza es la roca más importante en la fabricación del cemento proporcionando el óxido de calcio (CaO).

Arcillas (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃)

La arcilla es un mineral procedente de la descomposición de rocas que contienen feldespato por ejemplo granito, originada en un proceso natural que demora decenas de miles de años. Físicamente se considera un coloide de partícula extremadamente pequeña y superficie lisa. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es Al₂O₃-2SiO₂-2H₂O.

Se caracteriza por adquirir plasticidad al mezclarla con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800° C.

Las arcillas se forman esencialmente por sílice, por alúmina y por hierro. Su contenido es variable de una arcilla a otra. Las arcillas utilizadas están constituidas generalmente por varios minerales en proporciones variables. La arcilla proporciona SiO₂ y Al₂O₃.

Yeso

Piedra natural, muy suave, de color blanco y rica en sulfatos de calcio que, en pequeña proporción, se adiciona en la fabricación del cemento para que actúe como retardador de fraguado.

Correctores

Muchas veces es necesario equilibrar determinados componentes (óxidos) empleando otros materiales que contengan el óxido que se desea corregir.

d) Tipos de cemento y sus aplicaciones

i. Sin adición

Según la Norma técnica Peruana NTP 334.009 los cementos Portland están clasificados de acuerdo con sus propiedades específicas y son:

Tipo I: Para uso general que no requiera propiedades especiales de cualquier otro tipo.

Tipo II: Para uso general, y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.

Tipo III: Para ser utilizado cuando se requiere altas resistencias iniciales.

Tipo IV: Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.

Tipo V: Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

Nota: Algunos cementos son denominados con un tipo de clasificación combinada, como Tipo I/II, indicando que el cemento reúne los requisitos de los tipos señalados y es ofrecido como adecuado para uso cuando cualquiera de los dos tipos son deseados.

ii. **Con adición**

Cementos de especificaciones de la Performance (NTP 334.082): cemento adicionado para aplicaciones generales y especiales, donde no existe restricciones en la composición del cemento o sus constituyentes. Se clasifican por tipos basados en requerimientos específicos: Alta resistencia inicial, resistencia al ataque de sulfatos, calor de hidratación. Sus tipos son:

GU: De uso general. Se usa para cuando no se requiera propiedades especiales.

HH: De alta resistencia inicial.

MS: De moderada resistencia a los sulfatos.

HS: De alta resistencia a los Sulfatos.

MH: De moderado calor de hidratación.

2.2.2 Cemento Portland Blanco

a) Aspectos generales del cemento blanco

Ríos en su investigación de tesis, indica que la evolución histórica del cemento portland blanco está relacionado con el desarrollo del cemento Portland y con la industria del cemento en España ya que este país en 1973 con una producción del orden de las 600,000 Ton/año estaba considerando como el principal productor de este material en el mundo.

Se carece de información verificada acerca del país que fue el primer fabricante de cemento Portland Blanco. No obstante parece ser que en EE.UU de Norteamérica las dos grandes Sociedades LONESTAR y TRINITY con sus canteras en California, y a base de emplear mezclas de calcita y caolín, fueron las primeras productoras de cemento Portland Blanco a gran escala.

En 1907 la fábrica de cemento STER, en Finkerwalde así como LAFARGE en 1911, fabrica los primeros cementos portland blancos alemanes y franceses. Se debe tener presente que en aquel entonces se llamaban también cementos blancos a los yesos “mármol” magnesianos, etc. y que es por ello que parece ser que a CEMENTS

La fábrica Agregados Calcáreos S.A. con sede en Lima a la fecha es la única que produce el cemento blanco en nuestro país y que logra abastecer íntegramente nuestro mercado nacional y exporta a países tales como Chile, Ecuador y Panamá, parte de esta producción como principales compradores, habiéndose ampliado este mercado pero en menor escala a otros países sudamericanos Ríos Naranjo, E. (1986).

Se puede definir al cemento blanco como una variedad de cemento portland que se fabrica a partir de materias primas cuidadosamente seleccionadas de modo que prácticamente no contengan hierro, manganeso ni cromo, u otros materiales que le den color.

Sus ingredientes básicos son la piedra caliza, base de todos los cementos, el caolín (una arcilla blanca que no tiene ningún óxido de hierro, pero si mucha alúmina) y yeso. Esta diversa composición, sin embargo, no trajo ningún cambio en las características intrínsecas de este cemento, que continuó proporcionando las mismas capacidades de resistencia que un cemento gris.

Su color “blanco” se consigue por medio de un proceso de elaboración química. En dicho proceso, una selección severa de las materias primas y un método de producción tecnológicamente avanzado salvaguardan la blancura inicial de la caliza en el producto final: el cemento blanco.

El bajo contenido de álcalis en su composición química, le permite la utilización de agregados tales como el vidrio volcánico, y algunas rocas que normalmente reaccionan con los álcalis del cemento, y que traen consigo agrietamientos que desmerecen la apariencia y durabilidad del concreto; sus partículas, de menor tamaño que las de cemento gris, le otorgan una mejor capacidad de hidratación y propiedades específicas como menor tiempo de fraguado y una elevada resistencia a la compresión.

b) Fabricación del cemento Portland Blanco

El proceso de fabricación del cemento blanco es absolutamente similar al del cemento gris normal en lo que a etapas del proceso se refiere, la diferencia radica en las diferentes operaciones y tecnologías que se lleva a cabo, para controlar estrictamente todas las etapas, para evitar la posible contaminación y cambios indeseados.

Básicamente, este se define como un proceso químico que consiste en la transformación de las materias primas minerales (piedra caliza y arcilla caolín) constituyentes de la harina cruda en un nuevo producto: el clínker formado por minerales sintéticos diferentes:

fases de silicatos, aluminatos y ferritos de calcio que le darán las propiedades hidráulicas al cemento. En el caso del cemento blanco, las fases de ferritos son muy bajas, ya que para obtener el color blanco las materias primas deben estar exentas de hierro o contener cantidades insignificantes de este. Este proceso químico de clínquerización tiene lugar en el horno y tiene un paso previo de trituración y molienda de las primeras materias, y un proceso posterior de molienda del clínquer con yeso para obtener el producto final que es el cemento blanco.

En ocasiones, a esta mezcla de materias primas principales se le añaden otros productos, llamados correctores, que ayudarán a ajustar la composición química del crudo, a fin de regular la temperatura de sintetización de la mezcla y la cristalización de los minerales del clínquer.

i. Obtención y preparación de materia primas

La selección y preparación de las materias primas que intervienen en la fabricación del cemento blanco es mucho más estricta en comparación al cemento gris. Estas deben ser de naturaleza muy pura además de contener cantidades insignificantes de óxidos de hierro, manganeso y cromo (8 a 10 veces) menos que para el cemento gris, esta es la principal forma de asegurar que el producto acabado sea de color blanco. La piedra caliza debe contener menos de 0,15% de FeO_3 y menos de 0,015% de MnO ; la arcilla (caolín) debe contener 65 - 80% de SiO_2 , no más que 1,0% e FeO_3 y solamente rastros de MnO .

El uso del yeso como componente de la escoria también es eficaz dando por resultado un consumo de energía más bajo y un aumento en la resistencia. Cuando está utilizado en la composición de la escoria, sólo proporciona la sinterización en temperaturas más bajas, sino también cambia perceptiblemente las características ópticas del cemento final.

ii. Proceso de trituración

La trituración consiste en llevar las materias primas al estado pulverulento. La trituración de la caliza y el caolín se hace por un molidor de bolas de acero. El de la arena se hace por molidor de bolas.

La caliza es triturada mediante dos operaciones. Una trituración primaria que permite reducir la granulometría de 1000 mm. A la entrada hasta 100 mm. a la salida. Seguidamente y luego de verificar su composición química, pasa a la trituración secundaria, con la que se reduce la granulometría de los materiales hasta los 30 mm.

El caolín sufre una única trituración que reduce el tamaño de las partículas a 30 mm. Lo machacado se somete a continuación a una operación de separación en la cual la denegación se reciclará y la harina cruda pasa hacia el silo de almacenamiento y homogeneización.

iii. Molino de crudo

En esta etapa se dosifican las características químicas de la harina que se desea obtener. El sistema consta de básculas dosificadoras, cada una de ellas capaz de gobernar las proporciones de caliza y caolín que son incorporadas al molino de bolas o a las prensas de rodillos, hasta lograr que la mezcla adquiera la finura necesaria, convirtiéndose en un producto pulverulento homogéneo llamado harina cruda, al cual se le controla su granulometría y su composición química, esto último de forma automática, mediante un sofisticado sistema interactivo de análisis químico por Rayos X.

iv. Homogeneización

El material molido debe ser homogeneizado para garantizar la efectividad del proceso de clinquerización mediante una calidad constante. Este procedimiento se efectúa en silos de homogeneización por medio de una corriente de aire comprimido.

Un sistema de muestreo y análisis por fluorescencia X permite controlar la composición geoquímica. Para una cocción no perturbada y una buena calidad de clínquer, es necesario que los constituyentes machacados sutilmente estén distribuidos igualmente y que cada micro volumen presente la misma composición geoquímica que el del conjunto de la harina cruda para asegurar una cocción no perturbada y una buena calidad del clínquer.

v. Obtención del Clínquer - horneado

La harina cruda es introducida mediante sistema de transporte neumático y debidamente dosificada a un intercambiador de calor por suspensión de gases de varias etapas, en la base del cual se instala un moderno sistema de pre calcinación de la mezcla antes de la entrada al horno rotatorio donde se desarrollan las restantes reacciones físicas y químicas que dan lugar a la formación del clínquer. El intercambio de calor se produce mediante transferencias térmicas por contacto íntimo entre la materia y los gases calientes que se obtienen del horno, a temperaturas de 950 a 1100°C en un sistema de 4 a 6 ciclones en cascada, que se encuentran al interior de una torre de concreto armado de varios pisos, con alturas superiores a los cien metros.

vi. Cocción

La cocción reviste una importancia particular en la fabricación del cemento por cuatro razones:

- Es durante la cocción que se efectúa la transformación de la harina cruda en clínquer;
- Es la cocción que determina, en gran parte, la calidad del producto terminado;
- La cocción participa en razón de 30 al 60% al costo de producción del cemento;
- La cocción determina de una manera preponderante el consumo de energía.

vii. Enfriamiento del Clinquer

El clinquer sale del horno rotatorio en forma de granos pétreos, menudos, de color verde (característico del cemento blanco) a una temperatura de 1100 a 1200 °C, este calor se reduce en un recinto llamado enfriador. La descarga del horno se produce en forma continua, experimentando un enfriamiento (de 1000 a 100°C) que debe ser rápido, utilizándose para ello sistemas como enfriadores de tambor, enfriadores satélite, etc. Que mediante corrientes de agua absorben la energía calorífica de la pared del refrigerador por conducción.

Si el clinquer formado en el proceso de sinterización se enfría lentamente, puede invertirse el sentido de las reacciones. El clinquer consta esencialmente de cuatro (4) principales minerales señalados en la siguiente tabla:

Tabla 4. Principales minerales en el cemento Blanco

MINERAL	FORMULA	ABREVIACION	NOMBRE	FUNCION
Silicato Tricalcico	3CaOSiO ₂	C3S	Alita	Resistencia Iniciales
Silicato Dicalcico	2CaOSiO ₂	C2S	Belita	Resistencias a largo plazo
Aluminato Tricalcico	3CaOAl ₂ O ₃	C3A	Celita	Rapida formacion del cemento
Alumino ferrato Tetacalcico	4CaOAl ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C4AF	Felita, Ferrita	Sin efectos sobre la resitencia del cemento

Elaboración: Los autores.

El contenido en C4AF debería tender a cero en un clinquer de cemento blanco. Este ferrito y el aluminato, se denominan "Fundentes", y son los que funden a temperaturas más bajas, por lo que al casi no aparecer en la composición del cemento blanco hace necesario elevar la temperatura de cocción (fusión), para formar el clinquer blanco. Se suelen añadir otros compuestos que actúen como fundentes, que son guardados celosamente por las cementeras.

viii. Transformación del clínquer en cemento blanco

El clínquer es una piedra sintética con formas esféricas de tamaño variable, que por molienda se transforma en el producto final: cemento portland. La molturación del clínquer blanco se realiza conjuntamente con la adición de un pequeño porcentaje de yeso, para regular la fragua del cemento. La selección de un tipo apropiado de yeso con pureza elevada es muy importante en esta etapa. Sin esta adición, el cemento produciría un fraguado instantáneo con la mezcla de agua, por lo que impediría su trabajabilidad en las etapas iniciales de la preparación de morteros y hormigones.

ix. Blancura y graduación del cemento blanco

El color es un parámetro muy importante dentro del control de calidad en la industria del cemento blanco, la cual mantiene estándares terminantes para resolver necesidades de cliente. El color del cemento blanco depende de los materiales y del proceso de fabricación. Los óxidos de metal tales como hierro, manganeso, y otros influyen la blancura y el tono del material.

La blancura de los cementos blancos es una de sus características más importantes. La graduación siguiente se utiliza para especificar cementos por lo que se refiere a la blancura:

Grado 1: con la blancura no menos que 80%

Grado 2: con la blancura de 75-80%

Grado 3: con la blancura de 68-75%.

La constante investigación sobre la estructura química y física de los clínquer blancos industriales, han hecho posible obtener un excelente grado de blancura y garantizar su calidad permanente, estudios sobre la influencia de los componentes menores -los llamados tintes- y, en particular, el tratamiento de calor recibido por el clínquer. El clínquer blanco se produce tomando la precaución de limitar a no más del 0.15% el contenido de compuestos ferrosos y

otros compuestos metálicos pesados, cuyas presencias dan al cemento portland común su color gris distintivo. Para lograr esto, se empieza por seleccionar cuidadosamente las materias primas: únicamente se usan caolines y piedras calizas blancas, mineralógicamente, puras.

Se utilizan pruebas de control cromático tomando como referencia la forma de colorimetría de luz reflejada, usando materiales altamente reflectantes tales como el óxido de magnesio o el titanio. Los resultados de estas pruebas se ilustran en una cromografía, de acuerdo con el sistema ICI (International Commission on Illumination).

En pocas palabras, la calidad "blanca" del cemento se mide usando tres parámetros:

- **Pureza:** es decir, la intensidad del tono. La pureza se mide en porcentaje de color.

- **Longitud de onda dominante:** es decir, la tonalidad que acompaña y caracteriza cada superficie blanca (por esta razón, no todos los cuerpos blancos son iguales). La longitud de la onda dominante se encuentra entre el amarillo y el azul.

- **Brillantez:** es decir, el poder para reflejar la luz incidente (la característica más importante de los cuerpos blancos), expresada como la diferencia en porcentaje entre la luz reflejada por una superficie blanca y aquella reflejada por una superficie similar de óxido de magnesio, tradicionalmente considerado el cuerpo blanco ideal. En cualquier caso, en lo que respecta a los cementos, la característica colorimétrica puede representarse únicamente mediante los parámetros de brillantez y pureza. El parámetro longitud de onda básica, que normalmente se requiere para los

diferentes polvos en los cementos, permanece básicamente igual para cementos ordinales.

c) Composición del cemento Portland blanco

- **Caliza**

La caliza es el principal constituyente del cemento blanco (75-85%), es un tipo común de roca blanca sedimentaria, de gran pureza química (98%), compuesta principalmente por calcita (CaCO_3) (90%) y dolomita ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)$). Cuando se calcina, da lugar a la cal (óxido de calcio, CaO). Otros componentes presentes en su composición son el óxido de hierro, fósiles y otros minerales. Estos componentes son necesarios para la formación del clínquer en las etapas posteriores. La caliza es aglomerante, neutralizante, escorificante y fundente. Sus principales derivados son la cal, el carbonato de calcio y el cemento.

Caolín

Caolín (del chino, kaoling, 'cresta alta'), o arcilla china, es un tipo de arcilla muy pura (presenta un bajo contenido de hierro), blanda y blanca, con plasticidad variable, pero en general baja, que retiene su color blanco durante la cocción. Constituye el segundo componente en importancia en el crudo de cemento blanco (10-25 %) y aporta a éste la sílice necesaria. Su principal constituyente es el mineral caolinita, un silicato de aluminio hidratado, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, formado por la descomposición de otros silicatos de aluminio, en especial feldespato, esta descomposición se debe a los efectos prolongados de la erosión. En la actualidad, se extrae sobre todo en Malasia y en Cornualles (Inglaterra).

Yeso

El yeso es un mineral común, consistente en sulfato de calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Es un tipo ampliamente distribuido de roca sedimentaria, formado por la precipitación de sulfato de calcio en el agua del mar y está asociado con frecuencia a otras formas de

depósitos salinos, como la halita y la anhidrita, así como a piedra caliza y a esquisto. El yeso se origina en zonas volcánicas por la acción de ácido sulfúrico sobre minerales con contenido en calcio; también se encuentra en muchas arcillas como un producto de la reacción de la caliza con ácido sulfúrico.

El yeso utilizado en la fabricación del cemento blanco necesita ser muy puro, con valores que oscilen entre un (80 y 90%) de grado de pureza. La principal función que cumple con su adición al crudo es regular la hidratación y el fraguado del cemento, mediante una reacción con el aluminato tricálcico. Al formar el sulfoaluminato tricálcico, la mezcla se va hidratando poco a poco y además acelera la hidratación del silicato tricálcico.

d) Componentes químicos

Los compuestos que formarán la composición química del clínquer de cemento blanco proceden de la materia prima utilizada para formar el “crudo”, fundamentalmente calizas y arcillas (caolín), que aportarán una serie de óxidos de cal, sílice, aluminio y otros. Como consecuencia de las altas temperaturas que se generan en el horno, entre estos óxidos se producirán una serie de reacciones que darán lugar a la formación de compuestos complejos que tendrán una estructura más o menos cristalina o amorfa, dependiendo de la velocidad de enfriamiento del clínquer resultante. La composición química del clínquer del cemento blanco depende, pues, no sólo de las materias primas empleadas en su fabricación, sino también de su dosificación (proporción en que intervengan cada uno de los óxidos que aporta la materia prima) y de los procesos de cocción y de enfriamiento. Se debe realizar el análisis químico de la materia prima y obtener los porcentajes en masa de los óxidos y otros compuestos que contienen, para poder dosificar adecuadamente el crudo. En la composición química del clínquer de cemento blanco intervienen muchas sustancias; la mayor parte de ellas contienen tres o más elementos combinados, por lo que las fórmulas a que dan

lugar son bastante extensas. Por ello, para estudiar y analizar su composición se realizan las siguientes simplificaciones: por una parte, como la mayoría de estos elementos combinan con el oxígeno, se consideran los compuestos formados por óxidos, lo cual describe correctamente su composición química, aunque no contempla su composición estructural; sin embargo es el medio más común para representar una composición. Por otra parte, designando estos compuestos, no por su composición química, sino por su símbolo.

En esta tabla, se indica la composición química media de la materia prima necesaria para obtener un clínquer de cemento blanco y de cemento gris.

Tabla 5. Composición Química del Clínquer Blanco y Gris del cemento Portland

TIPO DE CEMENTO	COMPONENTES QUIMICOS PRINCIPALES %							COMPONENTES MINERALOGICOS PRINCIPALES %				
	CaO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	SO3	MgO	P.F	Na2O	C3S	C2S	C3A	C4AF
BLANCO	66	22.5	4.5	0.4	2.8	1.0	1.7	0.17	60	19	11	1
GRIS	64	20.5	5.4	2.6	3	2.1	1.4	1.4	54	18	10	8

Fuente: Concrete Technology Today, Portland Cement Association, April 1999.

2.2.3 Propiedades físicas y mecánicas de los cementos

Las propiedades físicas más importantes del cemento son:

a. Finura o fineza

Se refiere al grado de molienda del polvo, se expresa por la superficie específica, y sus unidades están en m^2/Kg . Se determina mediante los siguientes ensayos:

Permeabilímetro de Blaine

Turbidímetro de Wagner

Importancia de la propiedad: A mayor finura, crece la resistencia, pero aumenta el calor de hidratación y cambios de volumen.

b. Peso específico

Se refiere al peso del cemento por unidad de volumen, se expresa en gr/ [cm]^3 . Se determina mediante el siguiente ensayo:

Ensayo del Frasco de Le Chatelier (NTP 334.005)

Importancia de la propiedad: Usado en diseño de mezclas de concreto.

c. Tiempo de fraguado

Se denomina el tiempo entre el mezclado (agua con cemento) y la solidificación de la pasta, se expresa en minutos. Se presenta como: El tiempo de fraguado Inicial y El tiempo de fraguado Final. Se determina mediante los siguientes ensayos:

Agujas de Vicat: (NTP 334.006)

Agujas de Gillmore: (NTP 334.056)

Importancia de la propiedad: Fija la puesta correcta en obra y endurecimiento de los concretos y morteros.

d. Estabilidad de volumen

Representa la verificación de los cambios volumétricos por la presencia de agentes expansivos, se expresa en %. Se determina mediante el siguiente ensayo:

Ensayo de Autoclave: NTP (334.004)

e. Resistencia a la compresión

Mide la capacidad mecánica del cemento, se expresa en Kg/ [cm]². Se determina mediante el siguiente ensayo:

Ensayo de compresión en probetas cubicas de 5cm. (con mortero cemento-arena normalizada (NTP 334.051)

Se ensaya a diferentes edades: 1, 3, 7, y 28 días.

Importancia de la propiedad: Es una de las más importantes de las propiedades ya que decide la calidad de los cementos.

f. compresión contenido de aire

Indica la cantidad de aire atrapado o retenido en la mezcla (mortero), se expresa en % del volumen total. Se determina mediante el siguiente ensayo:

Pesos y volúmenes absolutos de mortero C-A en molde cilíndrico estándar (NTP 334.048)

Importancia de la propiedad: Concretos con aire atrapado disminuye la resistencia (5% del f'c por cada 1% de aire).

g. Calor de hidratación

Mide el calor desarrollado por la reacción exotérmica de la hidratación del cemento, se expresa en cal/gr. Se determina mediante el siguiente ensayo:

Ensayo del Calorímetro de Langavant o el de la Botella Aislante. Se emplea morteros estándar (NTP 334.064).

2.2.4 Agregado fino

Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg.) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.012.

a) Granulometría

Normas: NTP 400.012 – ASTM C136/C33

La importancia de la granulometría de los agregados radica, en que de estos dependerán las propiedades de los diferentes tipos de concreto, mayor estabilidad volumétrica, resistencia, y por esto conviene que los agregados ocupen la mayor masa del concreto, compatible con la trabajabilidad.

Tabla 6. Requisitos de Granulometría para agregados finos

REQUERIMIENTOS DE GRANULOMETRIA PARA AGREGADOS FINOS	
Malla	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8'')	100
4.75 mm (N°4)	95 - 100
2.36 mm (N°8)	80 - 100
1.18 mm (N°16)	50 - 85
600 μm (N°30)	25 - 60
300 μm (N°50)	10 _ 30
150 μm (N°100)	2 _ 10

Fuente: NTP 400.012.2004

Nota: se permite el uso que no cumplan con las gradaciones específicas, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá concretos con la calidad requerida.

La granulometría es la determinación más corriente y una de las más importantes que se realizan al agregado; y representa la distribución de los tamaños que posee el mismo.

La norma NTP 400.012 establece el procedimiento para efectuar el tamizado y determinar la granulometría de los áridos de densidad real normal.

La granulometría permite también obtener el módulo de finura del agregado y su expresión gráfica representada por la curva granulométrica.

Para determinar la granulometría del agregado se considera la masa de una muestra de ensayo; se tamiza la muestra e determina la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices. Se calculan los porcentajes parciales retenidos y se expresa la granulometría.

b) Módulo de fineza

Norma: NTP 400.012

Granulometrías que tengan iguales módulos de fineza independientemente, de la gradación de sus partículas requieren la misma cantidad de agua para obtener similares propiedades de trabajabilidad y resistencia. Se calcula de la siguiente manera:

Fórmula 1: Modulo de Fineza del Agregado Fino

$$M.F = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100}$$

Fuente: NTP 400.012

Según la Norma ASTM, la arena debe tener un módulo de fineza no menor de 2.3 ni mayor que 3.1.

Se estima que las arenas comprendidas entre los módulos 2.2 y 2.8 producen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación; y que las que se encuentran entre 2.8 y 3.1 son las más favorables para los concretos de alta resistencia.

c) Peso unitario Suelto (PUS)

Normas: NTP 400.017 – ASTM C29

Se denomina PUS cuando para determinarla se coloca el material seco suavemente en el recipiente hasta el punto de derrame y a continuación se nivela a ras una carilla. El concepto PUS es importante cuando se trata de manejo, transporte y almacenamiento de los agregados debido a que estos se hacen en estado suelto. Se usará invariablemente para la conversión de peso a volumen, es decir para conocer el consumo de áridos por metro cúbico de hormigón.

d) Peso unitario Compactado (PUC)

Normas: NTP 400.017 – ASTM C29

Se denomina PUC cuando los granos han sido sometidos a compactación incrementando así el grado de acomodamiento de las partículas de agregado y por lo tanto el valor de la masa unitaria. El PUC es importante desde el punto de vista de diseño de mezclas ya que con él se determina el volumen absoluto de los agregados por cuanto estos van a estar sometidos a una compactación durante el proceso de colocación del hormigón. Este valor se usará para el conocimiento de volúmenes de materiales apilados y que estén sujetos a acomodamiento o asentamiento provocados por él, tránsito sobre ellos o por la acción del tiempo. También el valor del peso unitario compactado, es de una utilidad extraordinaria para el cálculo de por ciento de vacíos de los materiales.

e) Peso unitario Compactado (PUC)

Normas: NTP 400.022 – ASTM C128

Peso específico (densidad) aparente.- Es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual

de agua destilada libre de gas. Si el material es un sólido, el volumen es aquel de la porción impermeable.

Peso específico (densidad) masa.- Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables, naturales del material) a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

Peso específico (densidad) de masa saturado superficialmente seco.- Es lo mismo que peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

f) Contenido de humedad

Normas: NTP 339.185 – ASTM C566

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla.

2.2.5 **Agregado Grueso**

Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (No. 4) proveniente de la desintegración natural o artificial de la roca, y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.012.

a) Granulometría

Normas: NTP 400.012 – ASTM C136/C33

La granulometría se realizó de acuerdo con las normas mencionadas y con los siguientes tamices 1'', ¾'', ½'', 3/8'', y ¼''. La tabla 7 representa los requisitos para los agregados gruesos.

Tabla 7. Requisitos de Granulometría para agregados gruesos

N° ASTM	Tamaño nominal	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
		100mm 4''	90mm 3 1/2''	75mm 3''	63mm 2 1/2''	50mm 2''	37.5mm 1 1/2''	25mm 1''	19mm 3/4''	12.5mm 1/2''	9.5mm 3/8''	4.75mm N°4	2.36mm N°8	1.18mm N°16
1	90 a 37.5mm (3 1/2'' a 1 1/2'')	100	90a 100		25 a 60		0 a 15	0 a 5						
2	63 a 37.5mm (2 1/2'' a 1 1/2'')			100	90a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 5						
3	50 a 25mm (2'' a				100	90a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
357	50 a 4.75mm (2'' a N°4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
4	37.5 a 19mm (1 1/2'' a 3/4'')					100	90a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			
467	37.5 a 4.75mm (1 1/2'' a N°4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
5	25 a 12.5mm (1'' a 1/2'')						100	90a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	25 a 9.5mm (1'' a 3/8'')						100	90a 100	40 a 85	10 a a40	0 a 15	0 a 5		
57	25 a 4.75mm (1'' a N°4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
6	19 a 9.5mm (3/4'' a 3/8'')							100	90a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	19 a 4.75mm (3/4'' a N°4)							100	90a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	12.5 a 4.75mm (1/2'' a N°4)								100	90a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	9.5 a 2.36mm (3/8'' a N°8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: NTP 400.012.2004

b) Módulo de Fineza

Norma: NTP 400.012

El módulo de fineza es un índice de la finura del agregado, entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado. Diferentes granulometrías de agregados pueden tener igual módulo de finura. El módulo de fineza del agregado fino es útil para estimar

las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto. Se calcula de la siguiente manera:

Fórmula 2: Modulo de Fineza del Agregado Grueso

$$M.F = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado } (1'', \frac{3}{4}'', \frac{1}{2}'', \frac{3}{8}'', \frac{1}{4}'')}{100}$$

Fuente: NTP 400.012

c) Peso unitario Suelto (PUS)

Norma: NTP 400.017 – ASTM C29

El procedimiento es el seguido por la norma mencionada, para la piedra usamos un recipiente metálico de 1/3 pie³, ya que el TMN del agregado grueso es de 3/4''.

d) Peso unitario Compactado (PUC)

Normas: NTP 400.017 – ASTM C29

El procedimiento es el seguido por la norma mencionada, para la piedra usamos un recipiente metálico de 1/3 pie³, ya que el TMN del agregado grueso es de 3/4''.

e) Peso Específico y Porcentaje de Absorción

Normas: NTP 400.022 – ASTM C128

Se calcula siguiendo los pasos de la norma en mención, se usa con ciertos cálculos para proporcionamientos de mezcla y control, por ejemplo en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. Ciertos agregados porosos exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo.

f) Contenido de humedad

Normas: NTP 339.185 – ASTM C566

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla.

2.2.6 Propiedades físicas de los agregados

a. Generalidades

La calidad de un concreto es un factor determinante en la seguridad de una estructura, pero esta no se obtiene únicamente con un concreto diseño de mezcla para una obra, un eficiente mezclado y colocación, porque aun cumpliendo con estos, los resultados de laboratorio muestran variaciones considerables en la resistencia de un concreto hecho bajo un mismo diseño.

Se considera que los agregados constituyen del 70% al 80% del volumen del concreto, se puede deducir que las variaciones de calidad en el tiempo de estos afectan en gran medida las propiedades finales del concreto.

Basados en las normas técnicas peruanas e internacionales NTP y ASTM, se evaluarán las propiedades de los agregados para concreto, con lo que se determinará si estos se mantienen dentro de los límites aceptables.

b. Tipo y procedencia de los materiales

El agregado fino es arena gruesa y proviene de la cantera Trapiche; el agregado grueso es piedra chancada y proviene de la cantera La Gloria.

2.2.7 Agua

a. Conceptos generales

Las aguas potables y aquellas que no tengan sabores u olores pueden ser utilizadas para preparar concreto, sin embargo algunas aguas no potables también pueden ser usadas si cumplen con algunos requisitos, en nuestro país es frecuente trabajar con aguas no potables sobre todo cuando se tratan de obras en las afueras de las ciudades.

El estudio de las características del agua a utilizar en la mezcla del concreto adquiere gran importancia ya que este material interviene en la reacción química con el material cementante (cemento).

b. Requisitos de calidad

El agua empleada en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088 y ser de preferencia potable. No existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que va a emplearse.

La Norma Peruana NTP 339.088 considera aptas para la preparación y curado del concreto, aquellas aguas cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas están comprendidos dentro de los siguientes límites (ver Tabla 2.8).

Tabla 8. Límites permisibles para el agua de mezcla y curado según la norma NTP 339.088

DESCRIPCION	LIMITES PERMISIBLES		
sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5000	ppm	Máximo
Materia Orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaCHCO3)	1000	ppm	Máximo
Sulfatos (ion SO4)	600	ppm	Máximo
Cloruros (ion CL-)	1000	ppm	Máximo
PH	5 a 8		Máximo

Fuente: Torre A. (2004)

Recomendaciones adicionales:

- Si la variación de color es un requisito que se desea controlar, el contenido máximo de fierro, expresado en ion férrico, será de 1 ppm.
- El agua deberá estar libre de azúcares o sus derivados. Igualmente lo estará de sales de potasio o de sodio.
- Si se utiliza aguas no potables, la calidad del agua, determinada por análisis de laboratorio, deberá ser aprobada por la Supervisión.
- La selección de las proporciones de la mezcla de concreto se basará en resultados en los que se ha utilizado en la preparación del concreto el agua de la fuente elegida.

c. Utilización de aguas no potables

Cuando el agua a ser utilizada no cumpla con uno o varios de los requisitos indicados en la tabla anterior, se deberá realizar ensayos comparativos empleando el agua en estudio y agua destilada o potable, manteniendo similitud de materiales y procedimientos. Dichos ensayos se realizarán, de preferencia, con el mismo cemento que será usado. Dichos ensayos incluirán la determinación del tiempo de fraguado de las pastas y la resistencia a la compresión de morteros a edades de 7 y 28 días.

El agua no potable se usará cuando están libres y limpias de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser dañinas al concreto, acero de refuerzo o elementos embebidos.

El tiempo de fraguado no es necesariamente un ensayo satisfactorio para establecer la calidad del agua empleada ni los efectos de la misma sobre el concreto endurecido. Sin embargo, la Norma NTP 339.084 acepta que los tiempos de fraguado inicial y final de la pasta preparada con el agua en estudio podrán ser hasta 25% mayores o menores, respectivamente, que los correspondientes a las pastas que contienen el agua de referencia.

Los morteros preparados con el agua en estudio y ensayados de acuerdo a las recomendaciones de la Norma ASTM C 109 deben dar a los 7 y 28 días, resistencias a la compresión no menores del 90% de la de muestras similares preparadas con agua potable.

Es recomendable continuar los estudios a edades posteriores para certificar que no se presentan reducciones de la resistencia.

2.2.8 Ensayos y pruebas del concreto

2.2.8.1 Consistencia normal

Normas: NTP 339.035 – ASTM C143

El ensayo de consistencia, llamado también de revenimiento o “Slump test”, es utilizado para caracterizar el comportamiento del concreto fresco. Esta prueba, desarrollada por Duft Abrams, fue adoptada en 1921 por el ASTM y revisada finalmente en 1978.

El ensayo consiste en consolidar una muestra de concreto fresco en un molde troncocónico, midiendo el asiento de la mezcla luego de desmoldado.

El comportamiento del concreto en la prueba indica su “consistencia” o sea su capacidad para adaptarse al encofrado o molde con facilidad, manteniéndose homogéneo con un mínimo de vacíos.

La consistencia se modifica fundamentalmente por variaciones del contenido del agua de mezcla.

El equipo necesario para el ensayo, consiste en un tronco de cono. Los dos círculos de las bases son paralelos entre si midiendo 20 cm y 10 cm los diámetros respectivos, la altura del molde es de 30 cm.

Procedimiento de ensayo:

- El molde se coloca sobre una superficie plana y humedecida, manteniéndose inmóvil pisando las aletas. Seguidamente se vierte una capa de concreto hasta un tercio del volumen. Se apisona con una varilla, aplicando 25 golpes, distribuidos uniformemente.



Gráfico 8. Primera capa para la determinación del asentamiento del concreto

Fuente: IMCYC., 2007

- En seguida se colocan otras dos capas con el mismo procedimiento a un tercio del volumen y consolidando, de manera que la barra penetre en la capa inferior.
- La tercera capa se deberá llenar en exceso, para luego enrasar al término de la consolidación. Lleno y enrasado el molde, se levanta lenta y cuidadosamente en dirección vertical.

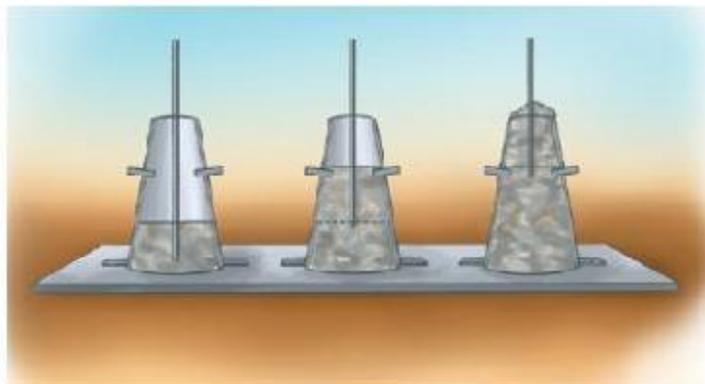


Gráfico 9. Llenado en el troncocónico para la determinación del asentamiento del concreto

Fuente: IMCYC., 2007

- El concreto moldeado fresco se asentará, la diferencia entre la altura del molde y la altura de la mezcla fresca se denomina **Slump**.

- Se estima que desde el inicio de la operación hasta el término no deben transcurrir más de 02 minutos de los cuales el proceso de desmolde no toma más de cinco segundos.



Gráfico 10. Medición del Slump para determinar el asentamiento del concreto

Fuente: MCYC., 2007

2.2.8.2 Contenido de aire

Normas: NTP 339.046 –ASTM C138

La inclusión de aire es necesaria en el concreto que estar expuesto a ciclos de congelación y deshielo y a químicos descongelantes. Los vacíos microscópicos de aire incluido aportan una fuente de alivio a la presión que se desarrollan cuando se forman los cristales de hielo en los poros y en los capilares del concreto. Sin el contenido de aire apropiado en el mortero del concreto, el concreto normal que está expuesto a ciclos de congelación y deshielo, se escamara y/o astillará, dando como resultado una falla en su durabilidad. Sin embargo, debemos ser cuidadosos de no tener demasiado aire incluido en el concreto.

En concretos diseñados para alcanzar 200 a 350 kg/cm², conforme se incrementa el contenido de aire en más de un 5%, habrá una reducción correspondiente en la resistencia del concreto.

Típicamente, esta reducción de resistencia será del orden del 3 al 5% por cada 1% de contenido de aire por arriba del valor del diseño. Por ejemplo, un concreto proporcionado para 5% de aire será aproximadamente de 15 al 25% menor en resistencia si el contenido de aire se eleva al 10%.

2.2.8.3 Factor de compacidad

Norma BS 1881 part. 3

Es la medida de la facilidad con que puede compactarse el concreto fresco.

La compacidad del concreto, hace referencia a la capacidad de acomodamiento que tienen las partículas de los ingredientes sólidos que lo componen.

Existen varios métodos que establecen el denominado “Factor de Compactación”, que evalúa la cantidad de trabajo que se necesita para la compactación total, y que consiste en el cociente entre la densidad suelta del concreto en la prueba, dividido entre la densidad del concreto compactado.

En nuestro país no es usual disponer no es usual disponer del equipo para la prueba estándar que es británica, no obstante no es muy difícil ni caro implementarlo ya que es muy útil en cuanto a la información que suministra.

La prueba consiste en llenar el cono superior con concreto depositándolo sin dejarlo caer, para que no haya compactación adicional. A continuación se abre la compuerta inferior para que caiga por su peso propio y llene el segundo cono con lo que se estandariza la condición de compactación inicial.

Finalmente, luego de enrasar el cono se abre la segunda compuerta y el concreto cae por su peso propio para llenar un molde cilíndrico estándar.

Se obtiene el peso unitario del concreto en el molde y el valor se divide entre el peso unitario obtenido con la prueba estándar en tres capas con 25 golpes cada una.

Hay que tener en claro que los valores obtenidos nos sirven para comparar diseños similares para elegir el óptimo, pero no nos dan un valor absoluto para comparar diseños con materiales diferentes.

En la medida que el factor de compacidad se acerque más a la unidad obtendremos el diseño más eficiente en cuanto a la compactibilidad.



Gráfico 11. Compacimetro de Glanville.

Fuente: Pasquel, E. (1999).

2.2.8.4 Peso unitario

Normas: NTP 339.046 –ASTM C138

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,240 y 2,400 Kg por metro cubico (Kg/m³). El peso unitario (DENSIDAD) del concreto varia, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado.

Para el diseño de estructuras del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa 2400 Kg/m³. Además del concreto convencional, existe una amplia variedad de otro concretos para hacer frente a diversas necesidades, variando desde concretos aisladores ligeros con pesos unitarios de 240 kg/m³, que se emplean para contrapesos o para blindajes contra radiaciones.

El peso unitario del concreto se emplea principalmente para:

- Determinar o comprobar el rendimiento de la mezcla.
- Determinar el contenido de materiales (cemento, agua y agregados) por metro cubico de concreto, así como el contenido de aire.
- Formarnos una idea de la calidad del concreto y de su grado de compactación.
- El concreto convencional tiene un peso unitario dentro del rango de 2240 y 2400 kg/m³.

El peso unitario del concreto se calcula como:

Fórmula: Peso unitario del concreto (kg/m³)

$$P. U. CONCRETO FRESCO = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

Fuente: Pasquel, E. (1999).

Cuando las mezclas de concreto experimentan incremento de aire, disminuye en el peso unitario.

Según **Pasquel** el control del peso unitario es muy útil para verificar la uniformidad del concreto y comprobar el rendimiento de la mezcla al comparar el peso unitario del diseño con el real de la obra.

Al depender el peso unitario del diseño teórico de la exactitud con que se hayan determinado las características físicas de los ingredientes, usualmente existe alguna diferencia entre éste y el real, que se cuantifica como el cociente del teórico entre el práctico. Mientras el valor este dentro del rango 0.98 a 1.02, el rendimiento es aceptable y no conviene hacer correcciones a las proporciones hasta obtener un valor estable, en cuyo caso por una regla de 3, se recalculan las proporciones para obtener 1 m³. (**Pasquel E., 1999**).

2.2.8.5 Resistencia a la compresión $f'c$

Normas: NTP 339.034 – ASTM C39

La resistencia del concreto no puede probarse en condición plástica, por lo que el procedimiento acostumbrado consiste en tomar muestras durante el mezclado las cuales después de curadas se someten a pruebas de compresión.

Se emplea la resistencia a la compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de propiedades del concreto mejoran al incrementarse esta resistencia. La resistencia a la compresión del concreto es la carga máxima para una unidad de área soportada por una muestra, antes de fallar por compresión (agrietamiento, rotura).

La resistencia a la compresión de un concreto ($f'c$) debe ser alcanzado a los 28 días, después del vaciado y realizado el curado respectivo.

Equipo en obra:

- Moldes cilíndricos, cuya longitud es el doble de su diámetro (6''x12'') o (4''x8'').
- Barra compactadora de acero liso. De 5/8'' de diámetro y aproximadamente 60 cm de longitud. La barra será terminada en forma de semiesfera.
- Cuchara para el muestreo y plancha de albañilería.
- Aceites derivados de petróleo, como grasa mineral blanca.

Los moldes deben ser de material impermeable, no absorbente y no reactivo con el cemento. Los moldes normalizados se construyen de acero. Eventualmente se utilizan de material plástico duro, de hojalata y de cartón parafinado.

2.2.8.6 Resistencia a la flexión

Norma ASTM C31, C78

El método para medir la resistencia a la flexión es usando una viga simplemente apoyada con carga en los tercios de la luz, aunque en algunas partes se emplea el método de la viga en voladizo o el de la viga simplemente apoyada con carga en el punto medio; los resultados obtenidos difieren con el método empleado.

El ensayo de la viga simplemente apoyada con carga en los tercios de la luz se realiza de acuerdo con la norma ASTM C31 y ASTM C78. El equipo empleado en el ensayo es el siguiente:

Probetas para ensayo: vigas rectangulares elaboradas y endurecidas con el eje mayor en posición horizontal. Los moldes deben cumplir los siguientes requisitos:

- Longitud > 3 profundidad en posición de ensayo + 5 cm.
- Ancho / profundidad (en la posición en que se elabora) <1,5

- Dimensión menor de la sección recta >3 tamaño máximo del agregado (para $T_M > 5\text{cm}$)

Los moldes más empleados tiene una sección de $15,2 * 15,2\text{ cm}$ y una longitud de $55,8\text{ cm}$ y se usará para concretos con agregado grueso de tamaño máximo $< 5\text{ cm}$.

Se pueden usar moldes de otras dimensiones pero que cumplan los requisitos antes vistos.

- Varilla compactadora: debe ser de acero estructural, cilíndrica, lisa, de 16 mm de diámetro y de longitud aproximada de 600 mm , la punta debe ser redondeada.

- Vibrador: puede ser vibración interna o externa, se debe cumplir con los mismos requisitos que para el ensayo de resistencia a la compresión.

La utilización de la varilla o el vibrador para compactar, se hace de acuerdo a los criterios del ensayo de resistencia a la compresión, a menos que las especificaciones de la obra indiquen lo contrario.

- Asentamiento $> 7,5\text{ cm}$ se debe utilizar varilla.
- Asentamiento $< 2,5\text{ cm}$ se debe utilizar vibrador.
- Asentamiento entre $2,5$ y $7,5\text{ cm}$ se puede utilizar varilla o vibrador, preferiblemente el método empleado en la obra.

Los moldes se deben aceitar y luego se procede a llenarlos por capas de acuerdo a la tabla 9.

ALTURA DEL MOLDE (cm)	FORMA DE COMPACTAR	No. DE CAPAS	ALTURA APROX. DE CADA CAPA
< 20	Varilla	2	Mitad de la altura
> 20	Varilla	3 o más	10 cm
< 20	Vibrador	1	Toda la altura
> 20	Vibrador	2 o más	20 cm

Tabla 9. Numero de capas requeridas en la elaboración de vigas

Fuente: (Rivera G., 1992).

Cada capa se compactará de la siguiente forma:

-Varilla: se dará un golpe por cada 14 cm² de sección horizontal.

-Vibrador: la duración requerida de la vibración es función de la trabajabilidad del concreto y de la efectividad del vibrador. Usualmente la vibración debe suspenderse inmediatamente después de que la superficie del concreto se haga relativamente suave (comience a fluir la pasta); se debe tener cuidado de no sobrevibrar porque produce segregación.

En la vibración interna se coloca el vibrador cada 15 cm a lo largo del eje longitudinal y se penetra ligeramente en la capa inferior; cuando las probetas tienen un ancho mayor de 15 cm debe introducirse el vibrador alternadamente a lo largo de 2 líneas de acción. En la vibración externa el molde debe colocarse rígidamente unido a la superficie vibrante.

Las vigas deben referenciarse. Los moldes con el hormigón, se deben colocar durante las primeras 16 horas como mínimo y máximo 24 horas, sobre una superficie rígida, libre de vibración u otras perturbaciones. Las vigas se deben almacenar en condiciones tales que se mantenga la temperatura entre 16 °C y 27 °C y se prevenga la pérdida de humedad de las mismas.

Las vigas para verificar diseño o para control de calidad deben removerse de los moldes después de 20+4 horas de haber sido moldeadas y deben almacenarse en condiciones de humedad tales

que siempre se mantenga agua libre en todas sus superficies a temperatura permanente de 23 ± 2 °C hasta el momento del ensayo. Las vigas no deben estar expuestas a goteras o corrientes de agua, si se desea almacenamiento bajo agua ésta debe estar saturada de cal.

Las vigas que se elaboran para conocer el tiempo en que se pueda dar al servicio el pavimento o para hacer el control de curado en la obra, se deben almacenar sobre la losa o tan cerca como sea posible al sitio donde se esté usando el concreto y deben recibir la misma protección. Para el ensayo de flexión deben sumergirse en agua las vigas por 24 ± 4 horas inmediatamente antes de la rotura para asegurar una condición uniforme de humedad.

Las vigas se deben probar a la edad especificada por el calculista, aunque se recomienda probar parejas de vigas antes y después de la edad especificada con el fin de determinar cómo ha sido el desarrollo de resistencia.



Gráfico 12. Ensayo de Resistencia a la flexión

Fuente: (Rivera G., 1992).

Las vigas deben ensayarse tan pronto como sea posible, en estado húmedo; se llevan a la máquina de ensayo, se giran 90o respecto a la posición de elaboración y se aplica carga a una velocidad constante (8,8 a 12,4 kg/cm2/min.), hasta que la viga falle.

La resistencia a la flexión se calcula así:

A-) Si la falla ocurre dentro del tercio central, el módulo de rotura se determina con la fórmula:

Fórmula 4: Modulo de Rotura de Viga

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Fuente: ASTM C31

Siendo:

MR = Módulo de rotura de la viga (kg/cm2).

P = Carga máxima aplicada en (kg.).

L = Distancia entre apoyos (cm).

b = Ancho de la viga en la posición de ensayo, en la sección de falla (cm).

d = Altura de la viga en la posición de ensayo, en la sección de falla (cm).

B-) Si la falla ocurre por fuera del tercio central, pero no está separada de él por más de una longitud equivalente al 5% de la luz libre o distancia entre apoyos, el módulo de rotura se determina con la ecuación siguiente:

$$MR = \frac{3 * P * a}{b * d^2}$$

Fórmula 5: Modulo de Rotura de Viga

Fuente: ASTM C31

Siendo

MR = Módulo de rotura (kg/cm²).

P = Carga máxima aplicada en kg.

a = Distancia entre la sección de falla y el apoyo más próximo medido sobre el eje longitudinal de la cara inferior de la viga en cm.

b = Ancho de la viga en la posición de ensayo, en la sección de falla (cm).

d = Altura de la sección en la posición de ensayo, en la sección de falla (cm).

C-) Si la falla ocurre por fuera del tercio medio de la viga y a una distancia mayor del 5% de la distancia entre apoyos, se debe descartar el resultado del ensayo.

La resistencia a la flexión del concreto se debe determinar como el promedio de al menos dos vigas probadas al mismo tiempo y con una aproximación a 0,1 kg/cm².

2.2.8.7 Temperatura

Norma NTP: 339.184 – ASTM C1064

En condiciones extremas de calor o frío, el concreto debe ser:

Manejado, colocado, compactado, acabado y curado cuidadosamente. Las condiciones extremas de calor o frío principalmente causan problemas de agrietamiento.

En el momento de la hidratación de la pasta de concreto, se forman en la superficie de sus granos cristales microscópicos que crecen entrelazándose y después se engranan como los dientes de un cierre.

Mientras más dura la reacción, más cristales se forman. De allí resulta la pasta de cemento endurecida, la cual recubre los agregados.

Cuanto más elevada es la temperatura durante este proceso de endurecimiento, más rápida es la formación de cristales, lo que, al principio es positivo para el desarrollo de la resistencia a la compresión. Pero debido a que los productos reaccionantes tienen una estructura poco ordenada, la pasta de concreto se vuelve más porosa y la resistencia a la compresión a 28 días se debilita cada vez más que con un concreto fresco, que se endurece aproximadamente 20°C. Es por eso que la pérdida de resistencia a 28 días es más de 10 por ciento cuando la temperatura del concreto fresco y la temperatura de endurecimiento pasan de 20 a 30°C.

En clima frío, el agua congelada o muy fría demora el tiempo de fraguado, lo que puede causar costosos retrasos.

El concreto a muy bajas temperaturas el agua se convierte en hielo. Se expande y puede agrietar el concreto endurecido. Para evitar esto se podría mantener todos los materiales calientes, cubrir el encofrado para mantenerlos libres del frío, usar aditivos aceleradores de fragua, mantener el concreto por encima de los 10°C los primeros días, curar el concreto cuidadosamente para mantenerlo tibio, se podría usar aditivo incluso de aire para prolongar durabilidad a largo plazo.

2.2.8.8 Tiempo de fraguado

Normas: NTP 334.006 – ASTM C 191

Fraguado y endurecimiento: El fraguado se refiere al paso en una pasta o mezcla, del estado fluido al rígido, esto suele malinterpretarse con el endurecimiento que es solo la ganancia de resistencia de la pasta o mezcla. Vemos dos tiempos de fraguados en el proceso en general:

Fraguado inicial: Tiempo que pasa desde que el cemento entra en contacto con el agua hasta que pierde fluidez y deja de ser plástica.

Fraguado final: Desde que termina el fraguado inicial hasta que comienza a ganar cierta resistencia (endurecimiento). Cuando el cemento entra en contacto con el agua inician las reacciones químicas en las cuales el cemento se transforma en un enlazante, en otras palabras con el paso del tiempo producen una masa firme y dura que envuelve a los componentes de la mezcla y los mantiene juntos.

Después del TFI no es recomendable colocar el concreto, ya que la resistencia del concreto tiende a disminuir.

El TFI del concreto convencional en Lima es de 150 minutos, al tener un clima templado, pero en ciudades donde la temperatura es mayor como Piura el TFI disminuye y por el contrario, en ciudades donde la temperatura es menor como Huancayo TFI aumenta.

El Tiempo de fraguado inicial y final tiene una transcendencia primordial en obra, ya que dará la pauta del tiempo que se dispone en el proceso constructivo para las operaciones de colocación y acabado.

Algunos factores que se ven involucrados en los tiempos de fragua son:

- Relación de agua/cemento: entre más líquida sea la pasta más tardará el tiempo de fraguado pues es muy fluida y tardará su tiempo en perder esa fluidez.
- Temperatura ambiente: entre más alta sea la temperatura más rápido se secará el agua de la pasta y perderá el componente que le da fluidez.
- Humedad relativa: si la saturación de humedad es baja, el ambiente intentará quitarle humedad a la pasta y se secará más rápido.

- Finura del cemento: el grado de finura afecta de manera que se necesita más agua para hidratar todas las partículas.

Es posible que se den 2 tipos diferentes de fenómenos durante el proceso de fraguado:

- fraguado relámpago: hay fraguado relámpago cuando la mezcla se vuelve rígida de manera muy rápida perdiendo toda su plasticidad sin poder recuperarla, esto se da debida a una deficiencia de yeso en la mezcla de cemento.
- fraguado falso: la pasta se vuelve rígida en los primeros 10 minutos después de mezclado pero no pierde plasticidad, puede volver a ser fluida solo con batirla sin añadir agua aunque puede perder un poco de la resistencia final, esto se produce posiblemente por malas condiciones de almacenamiento o la mezcla del yeso con Clinker caliente en la elaboración del cemento.

Determinación del tiempo de fraguado: Mantener la probeta en la cámara o cuarto húmedo, durante 30 min. Después del moldeo, sin perturbarla.

Determinar la penetración de la aguja de vicat de 1mm en ese momento y luego cada 15 min hasta que se obtenga una penetración de 25mm o menos.

Anotar los resultados de todos los ensayos de penetración y por interpolación, determinar el tiempo para determinar una penetración de 25mm. Este es el tiempo de fraguado inicial.

El tiempo de fraguado final será la primera medición de la penetración que no deje maraca visible la superficie de la pasta con una impresión circular completa. Verificar el tiempo final mediante la realización de dos mediciones de penetraciones adicionales en

diferentes áreas de la superficie de la muestra. Obtener mediciones de verificación dentro de los 90 s de la primera lectura final.



Gráfico 13. Instrumento Aguja de Vicat.

Elaboración: Los autores

2.2.8.9 Trabajabilidad

Normas: NTP 339.035/339.114 – ASTM C143/C94

Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas de proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian.

Está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido en la masa.

El concreto debe ser trabajable pero no se debe segregar excesivamente, ni exudarse durante estas operaciones. La exudación es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales Sólidos – cemento, arena y piedra dentro de la masa.

Debido a la tendencia del concreto recién mezclado a segregarse y exudar, es importante transportar y colocar cada carga lo más cerca posible de su posición final. El aire incluido mejora la trabajabilidad y reduce la tendencia del concreto fresco de segregarse y exudar.

No existe prueba alguna hasta el momento que permita cuantificar esta propiedad. Por lo general la trabajabilidad se ha medido por muchos años con el método del “Slump” o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto.

Tabla 10. Trabajabilidad y revenimiento de concretos con tamaño máximo de agregado entre ¾" a 1 ½".

GRADO DE TRAJABILIDAD	REVENIMIENTO		USO CONVENIENTE DEL CONCRETO
	mm	in	
Muy baja	0 - 25	0 - 1	En caminos vibrados por maquinarias de poder. En el final mas trabajable de este grupo, el concreto se puede compactarse en ciertos con maquinas manuales.
Baja	25 - 50	.1 - 2	En caminos vibrados con maquinas manuales. En el final mas trabajable de este grupo, el concreto se puede compactar manualmente en caminos usando agregado de forma redonda o irregular. Cimentaciones de concreto en masa sin vibracion o secciones reforzadas ligeramente con vibracion.
Media	50 - 100	.2 - 4	En el final menos trabajable de este grupo, se encuentran las losas planas compactadas manualmente que usan agregados triturados, concreto reforzado normal, compactado manualmente y secciones muy reforzadas con vibracion
Alta	100 - 75	.4 - 7	Para secciones con refuerzo aglomerado. Normalmente no es adecuado para ser vibrado

Fuente: NTP 339.035/339.114

2.3 Marco Conceptual

Cemento portland

El cemento es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes. **(Frederik L., 1988).**

Cemento portland blanco

Es el que se obtiene con materiales debidamente seleccionados que le confieren una coloración blanca; prácticamente cumple las especificaciones del cemento Portland tipo 1 **(Rivera G., 1992).**

Agregados

Material granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulicos **(ACI 318S).**

Concreto

Mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos **(ACI 318S).**

Resistencia a la compresión del concreto ($f'c$)

La resistencia a la compresión es la resistencia que se emplea como control de calidad del cemento. El ensayo se hace preparando un mortero hecho de una parte de cemento y 2,75 partes de agregados naturales, normalizada para el ensayo. **(Rivera G., 1992).**

Diseño de mezcla

Es dosificar una mezcla de concreto para determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento, agua y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las

características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción en que habrá de utilizarse (**Rivera G., 1992**).

Consistencia normal

La consistencia normal es la cantidad de agua en porcentaje con respecto a la masa de cemento usada (**Rivera G., 1992**).

Tiempo de fraguado

Fraguado se refiere al paso de la mezcla del estado fluido o plástico al estado sólido (**Rivera G., 1992**).

Trabajabilidad

La manejabilidad es una propiedad del concreto fresco que se refiere a la facilidad con que este puede ser: mezclado, manejado, transportado, colocado, compactado y terminado sin que pierda su homogeneidad (exude o se segregue) (**Rivera G., 1992**).

Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión es usando una viga simplemente apoyada con carga en los tercios de la luz (**Rivera G., 1992**).

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

El concreto preparado con **cemento Blanco Tolteca** se comporta mejor en sus principales propiedades en comparación que el concreto preparado con **cemento Gris Sol**.

2.4.2 Hipótesis específicos

Al medir la **consistencia normal** del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca es mejor que el concreto con cemento Gris Sol.

Al medir el **contenido de aire** del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca es más impermeable que el concreto con cemento Gris Sol.

Al medir el **actor de compacidad** del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca es mejor que el concreto con cemento Gris Sol.

Al medir el **peso unitario** del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca, tiene buena calidad y mayor rendimiento que el concreto con cemento Gris Sol.

Al medir la **resistencia a la compresión** del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca es mayor que el concreto con cemento Gris Sol.

Al medir la **resistencia a la flexión** del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca es mayor que el concreto con cemento Gris Sol.

Al medir la **temperatura** del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca es inferior que el concreto con cemento Gris Sol.

Al medir los **tiempos de fraguados** para su interpretación en el concreto utilizando cemento Blanco Tolteca, dispone de mayor tiempo en el proceso de colocación y acabado que el concreto con cemento Gris Sol.

Al medir la **trabajabilidad** del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca es mejor que el concreto con cemento Gris Sol.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación metodológica es:

Cuantitativa

De acuerdo en el tema se presenta incógnitas o preguntas de la cual se establece la hipótesis y se determina las variables; posteriormente, se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto (pruebas); se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de la hipótesis.

Descriptiva

La investigación es descriptiva puesto que describe y toma los datos de información tal como están en los libros, tesis y manuales sin alterarlos ni modificarlos.

3.2 Nivel de investigación

Descriptiva porque utilizará estadística aplicada para comparar los resultados obtenidos en los ensayos y pruebas ejecutados en el laboratorio de ensayos de materiales.

3.3 Diseño de investigación

Diseño de Investigación es:

Experimental

Es experimental puesto que se hizo uso del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad De San Martin De Porres para sustentar la investigación.

Prospectivos

Es prospectiva puesto que las pruebas y ensayos determinan la veracidad de la hipótesis general en un futuro cercano.

Longitudinal

Es longitudinal porque todas las pruebas y ensayos se realizan en laboratorio para obtener las características que sirvieron para diferenciar o asemejar los dos tipos de concretos.

3.4 Variables

Las variables dependientes en la investigación serán los dos tipos de concretos debido a que ambos poseen propiedades que se compararon entre sí, a fin de determinar cuál presenta mejores resultados.

3.4.1 Operacionalización de variables

Tabla 11. Operacionalización de variables – Variable dependiente

Variable	Indicadores	Índices	Instrumento
Cemento Blanco Tolteca y cemento Gris Sol	Consistencia normal	Ensayo de Consistencia Cono Abrams (pulg)	NTP 339.035 – ASTM C143
	Contenido de aire	Ensayo de contenido de aire Balanza digital (kg)	NTP 339 046 - ASTM C138
	Factor de compacidad	Ensayo de Factor de compacidad Balanza digital (kg)	Norma BS 1881 part. 3
	Peso unitario	Ensayo de Peso unitario Balanza digital (kg)	NTP 339 046 - ASTM C138
	Resistencia a la compresión	Ensayo a la Resistencia de la compresión Prensa para medir la resistencia compresión (kg/cm ²)	NTP 339.034 – ASTM C39
	Resistencia a la flexión	Ensayo a la Resistencia de la flexión Prensa para medir la resistencia a la flexión (kg/cm ²)	Norma ASTM C31, C78

	Temperatura	Ensayo a la Temperatura Termómetro Digital (°C)	NTP: 339.184 – ASTM C1064
	Tiempos de fraguados	Ensayo Tiempo de fraguado Aguja de Vicat (min)	NTP 334.006 – ASTM C 191
	Trabajabilidad	Ensayo de la Trabajabilidad Asentamiento del Cono Abrams (pulg)	NTP: 339.035

Elaboración: Los autores

Definición operacional de variables

- **Propiedades del concreto con cemento blanco tolteca**

Variable dependiente de tipo cuantitativa longitudinal

- **Propiedades del concreto con cemento gris sol**

Variable dependiente de tipo cuantitativa longitudinal

3.4.2 Técnicas de investigación

Para la presente investigación se empleó estadística aplicada, a fin de analizar los resultados obtenidos en las pruebas y ensayos siguientes:

- Ensayo para medir la consistencia (Cono de Abrams).
- Ensayo para determinar el porcentaje de contenido de aire.
- Ensayo para medir el factor de compacidad.
- Ensayo para medir el peso unitario.
- Resistencia a la compresión (Prensa hidráulica para ensayos a la compresión).
- Resistencia a la flexión (Prensa hidráulica para ensayos a la flexión).
- Ensayo para determinar la temperatura (Termómetro digital)

- Tiempo de fraguado (Aguja de Vicat).
- Ensayo para medir la trabajabilidad (Cono de Abrams).

Así mismo, la comparación se realizará mediante el programa Microsoft Excel con la construcción de tablas y gráficos.

3.4.3 Instrumentos de recolección de datos

Para determinar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido en la presente investigación, se aplicó como instrumentos los siguientes procedimientos:

- Consistencia normal
Indicador de prueba, medición del Slump a través del Cono de Abrams.
- Porcentaje de contenido de aire
Indicador de prueba, Balanza digital
- Factor de compacidad
Indicador de prueba, Balanza digital
- Peso unitario
Indicador de prueba, Balanza digital
- Resistencia a la compresión
Indicador de prueba, medición de la resistencia del concreto a la compresión a través de Prensa hidráulica.
- Resistencia a la flexión
Indicador de prueba, medición de la resistencia del concreto a la flexión a través de Prensa hidráulica.
- Temperatura
Indicador de prueba, medición de la temperatura del concreto a través de termómetro digital.

- Tiempo inicial y final de fraguado

Indicador de prueba, medición de la resistencia del concreto a la penetración a través de la aguja de Vicat para determinar el inicio y fin del fraguado.

- Ensayo para medir la trabajabilidad

Indicador de prueba, Tabla para determinar la Trabajabilidad relacionada con el Slump obtenido.

- Las pruebas y ensayos mencionados serán realizadas bajo los estándares normados por las NTP vigentes.

CAPÍTULO IV PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Contrastación de hipótesis

4.1.1 Hipótesis general

Hipótesis alterna (Ha):

El concreto preparado con cemento Blanco Tolteca **SE COMPORTA MEJOR** en sus principales propiedades en comparación que el concreto preparado con cemento Gris Sol.

Hipótesis Nula (Ho):

El concreto preparado con cemento Blanco Tolteca **NO SE COMPORTA MEJOR** en sus principales propiedades en comparación que el concreto preparado con cemento Gris Sol.

4.1.2 Hipótesis específicas

Hipótesis alterna 1 (H1):

Al medir la Consistencia normal del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **ES MEJOR** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis Nula 1 (H0):

Al medir la Consistencia normal del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **NO ES MEJOR** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis alterna 2 (H2):

Al medir el contenido de aire del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **ES MÁS IMPERMEABLE** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis Nula 2 (H0):

Al medir el contenido de aire del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **NO ES MÁS IMPERMEABLE** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis alterna 3 (H3):

Al medir el factor de compacidad del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **ES MEJOR** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis Nula 3 (H0):

Al medir el factor de compacidad del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **NO ES MEJOR** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis alterna 4 (H4):

Al medir el peso unitario del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca, **TIENE BUENA CALIDAD Y MAYOR RENDIMIENTO** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis Nula 4 (H0):

Al medir el peso unitario del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca, **NO TIENE BUENA CALIDAD, Y NO TIENE MAYOR RENDIMIENTO** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis alterna 5 (H5):

Al medir la resistencia a la compresión del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **ES MAYOR** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis Nula 5 (H0):

Al medir la resistencia a la compresión del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **NO ES MAYOR** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis alterna 6 (H6):

Al medir la resistencia a la flexión del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **ES MAYOR** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis Nula 6 (H0):

Al medir la resistencia a la flexión del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **NO ES MAYOR** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis alterna 7 (H7):

Al medir la Temperatura del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **ES INFERIOR** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis Nula 7 (H0):

Al medir la Temperatura del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **NO ES INFERIOR** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis alterna 8 (H8):

Al medir los tiempos de fraguados para su interpretación en el concreto utilizando cemento Blanco Tolteca, **DISPONE DE MAYOR TIEMPO** en el proceso de colocación y acabado que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis Nula 8 (H0):

Al medir los tiempos de fraguados para su interpretación en el concreto utilizando cemento Blanco Tolteca, **NO DISPONE DE MAYOR**

TIEMPO en el proceso de colocación y acabado que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis alterna 9 (H9):

Al medir la Trabajabilidad del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **ES MEJOR** que el concreto con cemento Gris Sol.

Hipótesis Nula 9 (H0):

Al medir la Trabajabilidad del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca **NO ES MEJOR** que el concreto con cemento Gris Sol.

4.2 Análisis e interpretación de la investigación

4.2.1 Agregado Fino

a. Granulometría

Normas utilizadas: NTP 400.012 – ASTM C136/C33

Establece el procedimiento para efectuar el tamizado y determinar la granulometría de los áridos de densidad real normal, permite obtener el módulo de finura del agregado y su expresión gráfica representada por la curva granulométrica.

Tabla 12. Análisis granulométrico agregado fino

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO (NTP 400.012 - ASTM C136/C33)					
Identificación de materiales					
	A. Fino				
Tipo	Arena Gruesa				
Procedencia	La Molina				
Muestra 1			Peso (gr) : 485.5		
Malla	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret.	% Ret. Acum	% Pasa
4	4.75	9.7	2.00	2.00	98.0
8	2.36	44.7	9.21	11.20	88.8
16	1.18	99.0	20.39	31.60	68.4
30	0.60	141.3	29.10	60.70	39.3
50	0.30	108.3	22.31	83.01	17.0
100	0.15	80.1	16.50	99.51	0.5
fondo		2.4	0.49	100.00	0.0
Σ		485.5			
% Error		0.00			
Modulo de Fineza		2.88			
Muestra 2			Peso (gr) : 485.5		
Malla	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret.	% Ret. Acum	% Pasa
4	4.75	12.1	2.50	2.50	97.5
8	2.36	56.8	11.70	14.20	85.8
16	1.18	119.9	24.70	38.90	61.1
30	0.60	132.5	27.30	66.20	33.8
50	0.30	112.6	23.20	89.40	10.6
100	0.15	50.5	10.40	99.80	0.2
fondo		1.0	0.20	100.00	0.0
Σ		485.5			
% Error		0.00			
Modulo de Fineza		3.11			
PROM. MODULO DE FINEZA		3.00			

Elaboración: Los autores

Para determinar la granulometría del agregado se considera la masa de una muestra de ensayo; se tamiza la muestra e determina la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices. Se calculan los porcentajes parciales tenidos se expresa la granulometría. Luego tenemos:

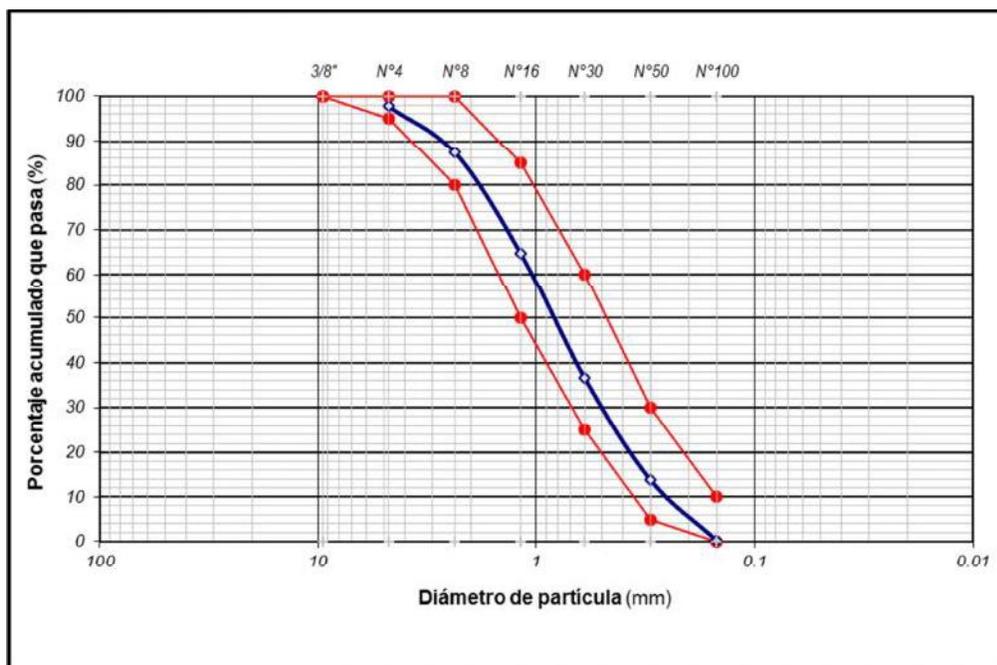


Gráfico 14. Análisis granulométrico agregado fino
Elaboración: Los autores

b. Peso unitario Suelto (PUS)

Normas utilizadas: NTP 400.017 – ASTM C29

Proceso por el cual es llenado de manera continua el agregado fino sin ejercer presión en un recipiente de volumen conocido. Para este ensayo se utilizó un recipiente metálico de $1/10 \text{ pie}^3$ de volumen, de acuerdo a las tablas indicadas en la norma mencionada.

Tabla 13. Peso unitario suelto del agregado fino

PESO UNITARIO SUELTO (NTP 400.017 - ASTM C29)				
		A. Fino		
Tipo	Arena Gruesa			
Procedencia	La Molina			
Agregado Fino:				
			Prueba 1	Prueba 2
A)	Peso de la muestra + Molde	gr	7064.5	7103
B)	Peso del Molde	gr	2727.5	2727.5
C)	Peso de la muestra (A-B)	gr	4337	4376
D)	Volumen del Molde	cm3	2739.08	2739.08
E)	Peso unitario suelto (C/D)	gr/cm3	1.58	1.60
		A. Fino	Peso Unitario Suelto	
		(gr/cm3)	Promedio (gr/cm3)	
1	1.58	1.59		
2	1.60			

Elaboración: Los autores

c. Peso unitario Compactado (PUC)

Normas utilizadas: NTP 400.017 – ASTM C29

La importancia de este ensayo radica en que a partir de los resultados obtenidos podemos clasificar el agregado en livianos, normales y pesados. Del resultado obtenido podemos clasificar a este agregado como normal, ya que el peso unitario compactado de este agregado lo califica como tal.

Tabla 14. Peso unitario compactado del agregado fino

PESO UNITARIO COMPACTADO (NTP 400.017 - ASTM C29)				
		A. Fino		
Tipo	Arena Gruesa			
Procedencia	La Molina			
Agregado Fino:				
			Prueba 1	Prueba 2
A)	Peso de la muestra + Molde	gr	7410	7449.5
B)	Peso del Molde	gr	2727.5	2727.5
C)	Peso de la muestra (A-B)	gr	4682.5	4722.00
D)	Volumen del Molde	cm ³	2739.08	2739.08
E)	Peso unitario suelto (C/D)	gr/cm ³	1.710	1.724
Prueba	A. Fino	Peso Unitario Suelto		
	(gr/cm³)	Promedio (gr/cm³)		
1	1.710	1.72		
2	1.724			

Elaboración: Los autores

d. Peso específico y porcentaje de absorción

Normas utilizadas: NTP 400.022 – ASTM C128

Peso específico (densidad) aparente.- Es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas. Si el material es un sólido, el volumen es aquel de la porción impermeable.

Peso específico (densidad) masa.- Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables, naturales del material) a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

Peso específico (densidad) de masa saturado superficialmente seco.- Es lo mismo que peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

Tabla 15. Peso específico de masa y absorción del agregado fino

PESO ESPECIFICO DE MASA Y ABSORCIÓN (NTP 400.022 - ASTM C128)											
A. Fino											
Tipo	Arena Gruesa										
Procedencia	La Molina										
Agregado Fino:			Dato				Dato				
N° Prueba	Peso frasco + Agua=(1)	Peso Suelo SSS (2)	Peso frasco + (1) + (2)=(3)	Peso frasco + agua + SSS=(4)	Vol, masa + Vol, vacíos=(5)	Peso Suelo Seco = (6)	Vol, de la masa 5-(5-6)=(7)	P.E. Aparente Bulk (6/5)	P.E. SSS (2/5)	P.E. Nominal (6/7)	Absorción (%) ((2-6)/6)*100
Prueba 1	1220.89	500	1720.89	1534.69	186.2	495.54	181.74	2.661	2.69	2.73	0.90
Prueba 2	1219.7	500	1719.70	1535.40	184.30	495.70	180.00	2.690	2.71	2.75	0.87
PROM. DE PESO ESPECIFICO A ABSORCION								2.68	2.70	2.74	0.88

Elaboración: Los autores

e. Contenido de humedad

Normas utilizadas: NTP 339.185 – ASTM C566

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla.

Tabla 16. Contenido de humedad del agregado fino

CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 339.185 - ASTM C70)				
			A. Fino	
Tipo	Arena Gruesa			
Procedencia	La Molina			
<u>Agregado Fino:</u>				
			Prueba 1	Prueba 2
A)	Peso de la muestra en estado natural	gr	500	500
B)	Peso de la muestra seca al horno	gr	485.5	485.8
C)	Peso del agua perdida (A-B)	gr	14.5	14.2
D)	contenido de humedad (C/B)*100	%	2.99	2.92
Prueba	A. Fino %	Contenido de Humedad Promedio (%)		
1	2.99	2.95		
2	2.92			

Elaboración: Los autores

4.2.2 Agregado grueso

a. Granulometría

Normas utilizadas: NTP 400.012 – ASTM C136/C33

La granulometría se realizó de acuerdo con las normas mencionadas y con los siguientes tamices 1'', ¾'', ½'', 3/8'', y ¼''. La tabla 3.2 representa los requisitos para los agregados gruesos.

Tabla 17. Análisis granulométrico agregado grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL Agregado Grueso (NTP 400.012 - ASTM C136/C33)					
Identificación de materiales					
A. Grueso					
Tipo	Piedra Chancada				
Procedencia	C. La Gloria				
Muestra 1	Peso (gr) : 2994	TM = 1''	TMN = 3/4''		
Malla	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret.	% Ret. Acum	% Pasa
3''	75,00				100.0
2''	50,00				100.0
1-1/2''	38,10				100.0
1''	25,00	251.50	8.40	8.40	91.6
3/4''	19,00	2047.90	68.40	76.80	23.20
1/2''	12,50	610.78	20.40	97.20	2.80
3/8''	9,50	77.84	2.60	99.80	0.20
fondo		3.00	0.10	99.90	0.10
Σ		2991.02			
% Error		0.10			
Modulo de Fineza		7.77			
Muestra 2	Peso (gr) : 2994	TM = 1''	TMN = 3/4''		
Malla	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	% Ret.	% Ret. Acum	% Pasa
3''	75,00				
2''	50,00				
1-1/2''	38,10				100.0
1''	25,00	266.47	8.90	8.90	91.1
3/4''	19,00	1937.12	64.70	73.60	26.40
1/2''	12,50	742.51	24.80	98.40	1.60
3/8''	9,50	44.91	1.50	99.90	0.10
fondo		3.00	0.10	100.00	0.00
Σ		2994.01			
% Error		0.00			
Modulo de Fineza		7.74			
PROM. MODULO DE FINEZA		7.75			

Elaboración: Los autores

b. Módulo de fineza

Norma utilizada: NTP 400.012

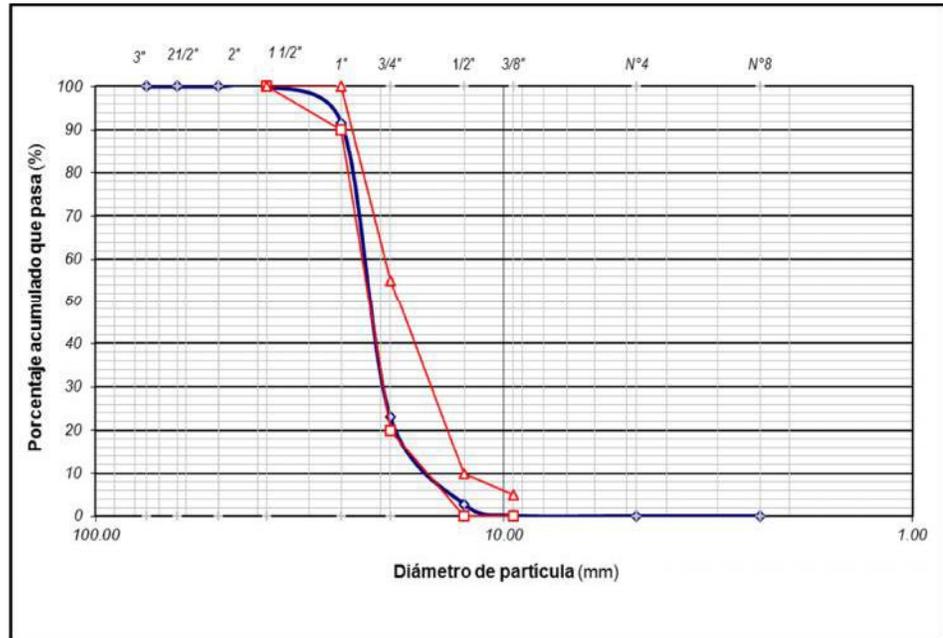


Gráfico 15. Análisis granulométrico agregado grueso

Elaboración: Los autores

c. Peso unitario suelto (PUS)

Norma utilizada: NTP 400.017 – ASTM C29

El procedimiento es el seguido por la norma mencionada, para la piedra usamos un recipiente metálico de 1/3 pie³, ya que el TMN del agregado grueso es de 1".

Tabla 18. Peso unitario suelto agregado grueso

PESO UNITARIO SUELTO (NTP 400.017 - ASTM C 29)				
	A. Grueso			
Tipo	Piedra Chancada			
Procedencia	C. La Gloria			
Agregado Grueso:				
			Prueba 1	Prueba 2
A)	Peso de la muestra + Molde	gr	28240	28360
B)	Peso del Molde	gr	8240	8240
C)	Peso de la muestra (A-B)	gr	20000	20120
D)	Volumen del Molde	cm ³	14076	14076
E)	Peso unitario suelto (C/D)	gr/cm ³	1.421	1.429
	Prueba	A. Grueso (gr/cm³)	Peso Unitario Suelto Promedio (gr/cm³)	
	1	1.421	1.425	
	2	1.429		

Elaboración: Los autores

f. Peso unitario compactado (PUC)

Normas utilizadas: NTP 400.017 – ASTM C29

El procedimiento es el seguido por la norma mencionada, para la piedra usamos un recipiente metálico de 1/3 pie³, ya que el TMN del agregado grueso es de 1”.

Tabla 19. Peso unitario suelto agregado grueso

PESO UNITARIO COMPACTADO (NTP 400.017 - ASTM C29)				
	A. Grueso			
Tipo	Piedra Chancada			
Procedencia	C. La Gloria			
Agregado Grueso:				
			Prueba 1	Prueba 2
A)	Peso de la muestra + Molde	gr	29660	29680
B)	Peso del Molde	gr	8240	8240
C)	Peso de la muestra (A-B)	gr	21420	21440.0
D)	Volumen del Molde	cm ³	14076	14076
E)	Peso unitario suelto (C/D)	gr/cm ³	1.522	1.523
Prueba	A. Grueso	Peso Unitario Suelto Promedio (gr/cm³)		
	(gr/cm³)			
1	1.522	1.52		
2	1.523			

Elaboración: Los autores

g. Peso específico y porcentaje de absorción

Normas utilizadas: NTP 400.022 – ASTM C128

Se calcula siguiendo los pasos de la norma en mención, se usa con ciertos cálculos para proporcionamientos de mezcla y control, por ejemplo en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. Ciertos agregados porosos exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo.

El porcentaje de absorción se calculó siguiendo los pasos de la norma mencionada, y se elaboró el siguiente cuadro.

Tabla 20. Peso específico de masa y absorción del agregado grueso

PESO ESPECIFICO DE MASA Y ABSORCIÓN (NTP 400.022 - ASTM C127)									
		A. Grueso							
Tipo		Piedra							
Procedencia		Chancada							
		C. La Gloria							
<u>Agregado Grueso:</u>									
N° Prueba	Peso Piedra Seca (1)	Peso Piedra SSS (2)	Peso Piedra Sumergido (3)	P.E. Aparente (1/(2-3))	P.E. Superficie Seca Saturada (2/(2-3))	P.E. Nominal (1/(1-3))	Absorción $\{(2-1)/1\} * 100$		
Prueba 1	2986.5	3000	1921	2.77	2.78	2.803	0.45		
Prueba 2	2988	3000	1916	2.76	2.77	2.787	0.40		
PROM. DE PESO ESPECIFICO A ABSORCION				2.76	2.77	2.80	0.43		

Elaboración: Los autores

h. Contenido de humedad

Normas utilizadas: NTP 339.185 – ASTM C566

El porcentaje de absorción se calculó siguiendo los pasos de la norma mencionada, y se elaboró el siguiente cuadro:

Tabla 21. Contenido de Humedad del Agregado Grueso

CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 339.185 - ASTM C70)				
			A. Grueso	
Tipo	Piedra Chancada			
Procedencia	C. La Gloria			
<u>Agregado Grueso:</u>				
			Prueba 1	Prueba 2
A)	Peso de la muestra en estado natural	gr	5000	5000
B)	Peso de la muestra seca al horno	gr	4990	4984
C)	Peso del agua perdida (A-B)	gr	10	16
D)	contenido de humedad (C/B)*100	%	0.200	0.321
Prueba	A. Grueso %	Contenido de Humedad Promedio (%)		
1	0.20	0.26		
2	0.32			

Elaboración: Los autores

4.2.3 Diseño de mezcla

Proporcionar o diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar las cantidades relativas de materiales que hay que emplear en la mezcla para obtener un concreto adecuado para un uso determinado.

El proporcionamiento puede ser: Puramente empírico (proporciones arbitrarias) basado en observación y cierta experiencia (no es adecuado).

Puede estar basado en consideraciones puramente teóricas (método de proporcionamiento basado en relaciones vacíos cemento o vacíos mortero) (no es adecuado). Método empírico directo respaldado por principios y consideraciones técnicas (método recomendado en la actualidad).

Este último método, consiste en proporcionar y hacer mezclas de prueba, basadas en un control de la relación agua-cemento y tomando en cuenta los factores que afectan al concreto resultante (cemento, granulometría y propiedades del agregado, etc.). Las propiedades del concreto se comprueban, prácticamente, y pueden hacerse después de los ajustes necesarios para obtener las mezclas de proporciones adecuadas que la calidad deseada.

Rivva, presenta en su libro de Tecnología del Concreto el procedimiento a desarrollar el Diseño de Mezcla realizándolo mediante el método del ACI, lo cual es tomada como referencia para este estudio. **(Rivva E., 1993).**

Método del ACI

i. Diseño de mezcla usando cemento Blanco Tolteca

Antes de dosificar una mezcla se debe recopilar información de las especificaciones técnicas:

- De los materiales
- Del elemento a vaciar, tamaño y forma de las estructuras.
- Resistencia a la compresión requerida.
- Condiciones ambientales durante el vaciado.
- Condiciones a la que está expuesta la estructura.

Se desarrolla el diseño de mezcla, por lo tanto se tiene:

Tabla 22. Características de los cementos para el diseño de mezcla

Cemento		
Marca y tipo	Sol	Tolteca
Procedencia	Cementos Lima	Cemex
Peso específico gr/cm ³	3.10	3.05

Fuente: Datos de los cementos: Guía práctica del cemento (cementos Lima)
Hoja técnica del cemento (CEMEX)

Tabla 23. Características del agua y agregados para el diseño de mezcla

Agua		
Agua potable de la red pública que abastece al Laboratorio de Ensayo de Materiales		
Peso específico Kg/m ³	1000	
Agregados		
	Fino	Grueso
Cantera	La Molina	La Gloria
Peso Unitario Suelto Kg/m ³	1590	1430
Peso Unitario Compactado Kg/m ³	1720	1520
Peso Específico Seco Kg/m ³	2680	2760
Modulo de Fineza	3.00	7.8
TMN	-	3/4''
% de absorción	0.88	0.43
Contenido de Humedad %	2.68	0.26

Elaboración: Los autores

a. Resistencia a la compresión f'c:

$$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

b. Determinación de la resistencia a la compresión requerida f'_{cr} :

Como no se tiene registro de resistencia de probetas correspondientes a obras y proyectos anteriores, se toma el f'_{cr} tomando en cuenta la siguiente tabla

Tabla 24. Calculo de resistencia f'_{cr}

NIVEL DE CONTROL f'_{cr}	
Regular o Malo	1.3 a 1.5 f'_c
Bueno	1.2 f'_c
Excelente	1.1 f'_c

Fuente: Rivva E. (1993). Diseño de Mezcla Lima-Perú: ACI 211

$$f'_{cr} = 210 * 1.2 = 252 \text{ Kg/cm}^2$$

c. Tamaño máximo nominal:

$$TMN = 3/4''$$

d. Asentamiento:

$$\text{Asentamiento} = 3'' \text{ a } 4''$$

e. Contenido de agua:

Está en función a las condiciones de trabajabilidad y el TMN del agregado grueso.

Tabla 25. Cantidad de agua requerida para el diseño de mezcla

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para los Tamaños Maximos de agregado grueso y consistencia indicados							
	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	1330	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	---

Fuente: Rivva E. (1993). Diseño de Mezcla Lima-Perú: ACI 211

Según tabla se tiene:

Agua = 205 Litros

f. Contenido de aire total:

En función del tamaño máximo nominal de agregado grueso y de la condición de exposición:

Tabla 26. Cantidad de aire atrapado

CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	
Tamaño Nominal Máximo	Aire Atrapado
3/8''	3.00%
1/2''	2.50%
3/4''	2.00%
1''	1.50%
1 1/2''	1.00%
2''	0.50%
3''	0.30%
6''	0.20%

Fuente: Rivva E. (1993). Diseño de Mezcla.

Lima-Perú: ACI 211

Según tabla se tiene:

Aire atrapado = 2.00 %

g. Relación de agua/cemento a/c:

Agua/cemento = 0.45

h. contenido de cemento:

cemento = Agua/0.45

cemento = 205/0.45

Cemento = 456 Kg

i. Selección del peso del agregado grueso:

Tabla 27. Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino (b/bo)			
	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

Fuente: Rivva E. (1993). Diseño de Mezcla. Lima-Perú: ACI 211

$$b_o = 1520$$

$$MF(\text{fino}) = 3.00$$

$$b/b_o = 0.6 \dots (\text{tabla})$$

Entonces:

$$b = 0.6 * 1520$$

$$b = 912 \text{ Kg}$$

j. Calculo de la suma de los volúmenes absolutos de todos los materiales sin considerar el agregado fino:

$$\text{cemento} = \frac{456}{(3.05 * 1000)} = 0.1494 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{205}{1000} = 0.2050 \text{ m}^3$$

$$\text{aire} = \frac{2.00}{100} = 0.0200 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{912}{2760} = 0.3304 \text{ m}^3$$

Tabla 28. Volúmenes Absolutos del cemento, agua, aire y agregado grueso

Material	Peso Seco	Peso Especifico	Volumen
Cemento (Kg)	456	3050	0.1495
Agua (lt)	205	1000	0.2050
Aire (%)	2.00		0.0200
A. grueso	912	2760	0.3304
TOTAL			0.7049

Elaboración: Los autores.

h. Calculo del volumen del agregado fino:

$$\text{Volumen de agregado fino} = 1 - 0.7049 = 0.2952 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agregado fino} = 0.2952 \text{ m}^3$$

i. Calculo del peso en estado seco del agregado fino:

$$\text{Agregado fino} = 0.2952 * 2680 = 791 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado fino} = 791 \text{ Kg}$$

j. Presentación de diseño en estado seco:

Tabla 29. Pesos secos de los materiales para el diseño de mezcla

MATERIAL	PESO SECO / m3
Cemento	456 Kg
Agua	205 lt
Agregado Fino	791 Kg
Agregado Grueso	912 Kg
Aire	2.00%
Total	2364.0 Kg

Elaboración: Los autores.

h. Corrección por humedad de agregados (Peso Húmedo):

$$\text{Agregado fino} = \frac{791}{(1 + 2.68 / 100)}$$

$$\text{Agregado fino} = 812 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{912}{(1 + 0.26)} \cdot 100$$

$$\text{Agregado grueso} = 914 \text{ Kg}$$

i. Humedad superficial de los agregados:

$$\text{Agregado fino} = 2.68 - 0.88 = 1.80$$

$$\text{Agregado grueso} = 0.26 - 0.43 = -0.17$$

j. Aporte de humedad de los agregados:

$$\text{Cantidad para el agregado fino} = \frac{791 * 1.80}{100} = 14.2 \text{ litros}$$

$$\text{Cantidad para el agregado grueso} = \frac{912 * -0.17}{100} = -1.6 \text{ litros}$$

$$\text{Cantidad total} = 14.2 + (-1.6) = 13 \text{ litros}$$

k. Agua de mezcla efectiva:

$$\text{Agua efectiva} = 205 + 13 = 218 \text{ litros}$$

l. Cantidad de materiales corregidas/m3:

Tabla 30. Pesos secos de los materiales para el diseño de mezcla

MATERIAL	PESO HUMEDO / m3
Cemento	456 Kg
Agua	218 lt
Agregado Fino	812 Kg
Agregado Grueso	914 Kg
Aire	2.00%
Total	2400.0 Kg

Elaboración: Los autores.

Para el diseño de una tanda de **54 kg**. Se obtiene en forma proporcional la cantidad de materiales.

Para ello se tomaran en cuenta los pesos de los materiales en estado húmedo, así como el valor del peso unitario Nominal (**PUN**) del concreto (suma de pesos húmedos), que en esta caso es de 2400.0 Kg.

Tabla 31. Pesos para una tanda de 54 Kg

MATERIAL	PESO HUMEDO / m3
Cemento = 428.89 x 54/PUN	10.26 Kg
Agua = 208.2 x 54/PUN	4.91 lt
Agregado Fino = 873.1 x 54/PUN	18.27 Kg
Agregado Grueso = 820.8 x 54/PUN	20.57Kg
Aire	2.00%
Total	54.0 Kg

Elaboración: Los autores.

Al realizar el ensayo de “Slump” con este diseño, se obtuvo un revenimiento de 2.5 cm, por lo que se tuvieron que modificar las cantidades de los materiales para mezcla, volviendo a realizar los cálculos, y siempre buscando un revenimiento entre 3’’ a 4’’ (7.60 cm a 10.15 cm).

Finalmente se obtuvo:

Tabla 32. Ensayos para la obtención de consistencia plástica usando cemento

Blanco Tolteca					
DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO BLANCO TOLTECA $a/c = 0.45$					
	MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA
ENSAYO 1 SLUMP = 2.5 cm	Cemento	Kg	456	42.50	10.29
	A. Fino	Kg	806	75.12	18.18
	A. Grueso	Kg	914	85.19	20.62
	Agua	lt	218	20.32	4.92
	Aditivo	%	0	0	0.000
	a/c	0.45			
ENSAYO 2 SLUMP = 4.8 cm	MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA
	Cemento	Kg	490	42.50	11.44
	A. Fino	Kg	760	65.92	17.75
	A. Grueso	Kg	830	71.99	19.39
	Agua	lt	232	20.12	5.42
	Aditivo	%	0	0	0.00
	a/c	0.45			
ENSAYO 4 SLUMP = 9.5 cm	MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA
	Cemento	Kg	517	42.50	12.22
	A. Fino	Kg	718	59.02	16.97
	A. Grueso	Kg	800	65.76	18.91
	Agua	lt	250	20.55	5.91
	Aditivo	%	0	0	0.00
	a/c	0.45			

Elaboración: Los autores.

Luego: el agua de diseño para esta mezcla es de 250 lt/m³ y Slump = 9.50 cm.

Análogamente repetimos el procedimiento para $a/c = 0.55$, $a/c = 0.60$ y se consolidó siguiente tabla:

Tabla 33. Diseños de mezcla usando cemento Blanco Tolteca para diferentes a/c y una tanda de 54 Kg

DISEÑO PATRON DE MEZCLA CON CEMENTO BLANCO TOLTECA					
a/c = 0.45 SLUMP = 9.5 cm	MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA
	Cemento	Kg	517	42.5	12.22
	A. Fino	Kg	718	59.02	16.97
	A. Grueso	Kg	800	65.76	18.91
	Agua	lt	250	20.55	5.91
	Aditivo	%	0		0.00
	a/c	0.45		agua de diseño (lt)	237
a/c = 0.55 SLUMP = 9.0 cm	MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA
	Cemento	Kg	390	42.50	9.30
	A. Fino	Kg	785	85.54	18.72
	A. Grueso	Kg	860	93.72	20.50
	Agua	lt	230	25.06	5.48
	Aditivo	%	0		0.00
	a/c	0.55		agua de diseño (lt)	217
a/c = 0.60 SLUMP = 8.8 cm	MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA
	Cemento	Kg	342	42.50	8.20
	A. Fino	Kg	815	101.28	19.53
	A. Grueso	Kg	875	108.74	20.97
	Agua	lt	221	27.46	5.30
	Aditivo	%	0		0.00
	a/c	0.6		agua de diseño (lt)	208

Elaboración: Los autores.

ii. Diseño de Mezcla usando cemento SOL

Se repite el mismo procedimiento usado para el cemento Tolteca pero esta vez, usando el cemento SOL, teniendo en cuenta que tiene un peso específico de 3.14 gr/cm³.

Se tiene:

Tabla 34. Ensayos para la obtención de consistencia plástica usando cemento Blanco Tolteca

DISEÑO PATRON DE MEZCLA CON CEMENTO GRIS SOL					
a/c = 0.45 SLUMP = 7.6 cm	MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA
	Cemento	Kg	515	42.50	12.25
	A. Fino	Kg	716	59.09	17.03
	A. Grueso	Kg	790	65.19	18.78
	Agua	lt	250	20.63	5.94
	Aditivo	%	0		0.00
	a/c	0.45		agua de diseño (lt)	237
a/c = 0.55 SLUMP = 8.0 cm	MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA
	Cemento	Kg	390	42.50	9.33
	A. Fino	Kg	780	85.00	18.65
	A. Grueso	Kg	858	93.50	20.52
	Agua	lt	230	25.06	5.50
	Aditivo	%	0		0.00
	a/c	0.55		agua de diseño (lt)	217
a/c = 0.60 SLUMP = 7.8 cm	MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA
	Cemento	Kg	342	42.50	8.27
	A. Fino	Kg	805.0	100.04	19.47
	A. Grueso	Kg	865.0	107.49	20.92
	Agua	lt	221	27.46	5.34
	Aditivo	%	0		0.00
	a/c	0.45		agua de diseño (lt)	208

Elaboración: Los autores.

Tabla 35. Resumen de diseños de mezcla para tandas de 54 Kg

DISEÑO PATRON DE MEZCLA CON CEMENTO BLANCO TOLTECA						
MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA		x TANDA
Cemento	Kg	517	42.5	12.22		12.22
A. Fino	Kg	718	59.02	16.97		16.97
A. Grueso	Kg	800	65.76	18.91		18.91
Agua	lt	250	20.55	5.91		5.91
Aditivo	%	0		0.00		0.00
a/c	0.45		agua de diseño (lt)	237		237
a/c = 0.45 SLUMP = 9.5 cm						
MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA		x TANDA
Cemento	Kg	390	42.50	9.30		9.30
A. Fino	Kg	785	85.54	18.72		18.72
A. Grueso	Kg	860	93.72	20.50		20.50
Agua	lt	230	25.06	5.48		5.48
Aditivo	%	0		0.00		0.00
a/c	0.55		agua de diseño (lt)	217		217
a/c = 0.55 SLUMP = 9.0 cm						
MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA		x TANDA
Cemento	Kg	342	42.50	8.20		8.20
A. Fino	Kg	815	101.28	19.53		19.53
A. Grueso	Kg	875	108.74	20.97		20.97
Agua	lt	221	27.46	5.30		5.30
Aditivo	%	0		0.00		0.00
a/c	0.6		agua de diseño (lt)	208		208
a/c = 0.60 SLUMP = 8.8 cm						

Elaboración: Los autores.

DISEÑO PATRON DE MEZCLA CON CEMENTO GRIS SOL						
MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA		x TANDA
Cemento	Kg	515	42.50	12.25		12.25
A. Fino	Kg	716	59.09	17.03		17.03
A. Grueso	Kg	790	65.19	18.78		18.78
Agua	lt	250	20.63	5.94		5.94
Aditivo	%	0		0.00		0.00
a/c	0.45		agua de diseño (lt)	237		237
a/c = 0.45 SLUMP = 7.6 cm						
MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA		x TANDA
Cemento	Kg	390	42.50	9.33		9.33
A. Fino	Kg	780	85.00	18.65		18.65
A. Grueso	Kg	858	93.50	20.52		20.52
Agua	lt	230	25.06	5.50		5.50
Aditivo	%	0		0.00		0.00
a/c	0.55		agua de diseño (lt)	217		217
a/c = 0.55 SLUMP = 8.0 cm						
MATERIAL	UNID	x 1m3	x BOLSA	x TANDA		x TANDA
Cemento	Kg	342	42.50	8.27		8.27
A. Fino	Kg	805.0	100.04	19.47		19.47
A. Grueso	Kg	865.0	107.49	20.92		20.92
Agua	lt	221	27.46	5.34		5.34
Aditivo	%	0		0.00		0.00
a/c	0.45		agua de diseño (lt)	208		208
a/c = 0.60 SLUMP = 7.8 cm						

4.2.4 Consistencia normal

Normas: NTP 339.035 – ASTM C143

Tabla 36. Asentamiento para los diferentes diseños de mezcla de concreto empleado

TIPO DE CEMENTO	RELACION a/c	PESO X TANDA DE 54 KG			VOLUMEN		PESO TOTAL MATERIALES	SLUMP	RANGO PLASTICO	RANGO PLASTICO	TOLERANCIA ASTM C94
		CEMENTO	PIEDRA	ARENA	DE AGUA	ADITIVO			cm	pulg	
		Kg	Kg	Kg	litros	litros	Kg	cm	cm	cm	cm
BLANCO TOLTECA TIPO I	0.45	12.22	18.91	16.97	5.91	0	54	9.50	[7.60 - 10.15]	[3" - 4"]	. +/- 2.54
	0.55	9.30	20.50	18.72	5.48	0	54	9.00	[7.60 - 10.15]	[3" - 4"]	. +/- 2.54
	0.60	8.20	20.97	19.53	5.30	0	54	8.80	[7.60 - 10.15]	[3" - 4"]	. +/- 2.54
SOL TIPO I	0.45	12.25	18.78	17.03	5.94	0	54	7.60	[7.60 - 10.15]	[3" - 4"]	. +/- 2.54
	0.55	9.30	20.50	18.72	5.48	0	54	8.00	[7.60 - 10.15]	[3" - 4"]	. +/- 2.54
	0.60	8.27	20.92	19.47	5.34	0	54	7.70	[7.60 - 10.15]	[3" - 4"]	. +/- 2.54

Elaboración: Los autores.

Tabla 37. Consistencia del concreto

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	125.00%	112.50%	114.29%

Elaboración: Los autores

Interpretación: De la Tabla 37 se interpreta que para la relación a/c 0.45, CBT es mayor en 25.00%; para la relación a/c 0.55, CBT es mayor en 12.50%; para la relación a/c 0.60, CBT es mayor en 14.29%.

El concreto con cemento Blanco Tolteca tiene mayor consistencia que el concreto con cemento Gris Sol, **se acepta la hipótesis alterna (H1)**.

4.2.5 contenido de aire

Normas ensayadas: NTP 339 046 - ASTM C138

Tabla 38. Contenido de aire atrapado para los diferentes diseños de mezcla de concreto empleados

TIPO DE CEMENTO	RELACION a/c	VOLUMEN ABSOLUTO DE CADA MATERIAL EN LA MEZCLA				TOTAL	REND TANDA	AIRE ATRAPADO
		CEMENTO	PIEDRA	ARENA	AGUA			
TOLTECA TIPO I	0.45	m3 0.170	m3 0.290	m3 0.269	m3 0.250	C m3 0.9790	D=A/B m3 0.9914	F=(D-C)/D 1.26
	0.55	0.128	0.310	0.291	0.230	0.9590	0.9772	1.87
	0.6	0.112	0.316	0.302	0.221	0.9510	0.9594	0.88
SOL TIPO I	0.45	0.169	0.285	0.265	0.250	0.9690	0.9798	1.10
	0.55	0.128	0.310	0.291	0.230	0.9590	0.9663	0.76
	0.6	0.112	0.312	0.298	0.221	0.9430	0.9503	0.77

Elaboración: Los autores

Tabla 39. Contenido de aire del concreto

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	113.70%	245.54%	113.98%

Elaboración: Los autores

Interpretación: De la Tabla 39 se interpreta que para la relación a/c 0.45, CBT es mayor en 13.70 %; para la relación a/c 0.55, CBT es mayor en 145.54%; para la relación a/c 0.60, CBT es menor en 13.98%.

El cemento Blanco Tolteca tiene mayor contenido de aire que el concreto con cemento Gris Sol, **se rechaza la hipótesis alterna (H2).**

4.2.6 Factor de compacidad
Norma BS 1881 part. 3

Tabla 40. Factor de compacidad para los diferentes diseños de mezcla de concreto empleados

TIPO DE CEMENTO	a/c	PESO DEL MOLDE CILINDRICO (A) Kg	P. MOLDE CILINDRICO + CONCRETO LLENO POR GRAVEDAD (B) Kg	P. MOLDE CILINDRICO + CONCRETO COMPACTADO ENERGICAMENTE (C) Kg	P. CONCRETO LLENO POR GRAVEDAD (D)=B-A m3	P. CONCRETO COMPACTADO ENERGICAMENTE (E)=C-A Kg	FACTOR DE COMPACIDAD (F)=D/E
BLANCO TOLTECA TIPO I	0.45	6.20	22.08	22.26	15.88	16.06	0.99
	0.55	6.20	22.17	22.32	15.97	16.12	0.99
	0.60	6.20	22.38	22.56	16.18	16.36	0.99
SOL TIPO I	0.45	6.20	22.17	22.42	15.97	16.22	0.98
	0.55	6.20	22.30	22.60	16.10	16.40	0.98
	0.60	6.20	22.39	22.64	16.19	16.44	0.98

Elaboración: Los autores

Tabla 41. Factor de compacidad del concreto

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	100.43%	100.92%	100.43%

Elaboración: Los autores

Interpretación: De la Tabla 41 se interpreta que para la relación a/c 0.45, CBT es mayor en 0.43%; para la relación a/c 0.55, CBT es mayor en 0.92%; para la relación a/c 0.60, CBT es mayor en 0.43%.

El cemento Blanco Tolteca tiene mayor factor de compacidad que el concreto con cemento Gris Sol, **se acepta la hipótesis alterna (H3)**.

4.2.7 pesos unitarios

Normas: NTP 339 046 - ASTM C138

Tabla 42. Peso unitario para los diferentes diseños de mezcla de concreto empleados

TIPO DE CEMENTO	RELACION a/c	PESO DE MOLDE + CONCRETO	PESO MOLDE	PESO CONCRETO	VOLUMEN DE MOLDE	PESO UNITARIO	PESO TOTAL		RENDIMIENTO
							MATERIALES		
		A Kg	B Kg	P=A-B Kg	V m ³	PU=(A-B)/V Kg/m ³	PT Kg		S=PT/PU m ³
BLANCO TOLTECA TIPO I	0.45	22.08	6.20	15.88	0.006890	2304.72	2285.00		0.99
	0.55	22.17	6.20	15.97	0.006890	2317.78	2265.00		0.98
	0.6	22.38	6.20	16.18	0.006890	2348.26	2253.00		0.96
SOL TIPO I	0.45	22.17	6.20	15.97	0.006890	2317.78	2271.00		0.98
	0.55	22.30	6.20	16.10	0.006890	2336.65	2258.00		0.97
	0.6	22.39	6.20	16.19	0.006890	2349.71	2233.00		0.95

Elaboración: Los autores

Tabla 43. Peso unitario del concreto

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	99.44%	99.19%	99.94%

Elaboración: Los autores

Interpretación: De la Tabla 43 se interpreta que para la relación a/c 0.45, CBT es menor en 0.56%; para la relación a/c 0.55, CBT es menor en 0.81%; para la relación a/c 0.60, CBT es menor en 0.06%.

El cemento Blanco Tolteca tiene menor peso unitario que el concreto con cemento Gris Sol, **se acepta la hipótesis alterna (H4).**

4.2.8 resistencia a la compresión

Normas: NTP 339.034 – ASTM C39

Tabla 44. Resistencia a la compresión para los diseños de mezcla empleados y a/c 0.45

a/c 0.45	edad (días)	3 DIAS					
	cemento ensayo d(cm) = A(cm ²) = F(kg) = f'c1(Kg/cm ²) = σ (desv. Est.) coef.variac. (%) max.coef.variac.%(ASTM C39)	TOLTECA			SOL		
		probeta 1	probeta 2	probeta 3	probeta 1	probeta 2	probeta 3
		10.20	10.21	10.20	10.21	10.21	10.20
		81.71	81.87	81.71	81.87	81.87	81.71
		18812	18608	18799	18063	18021	17129
		230.22	227.27	230.06	220.62	220.10	209.62
			1.35			5.07	
			0.59			2.34	
			7.8			7.8	
	f'c prom (Kg/cm²)	229.18			216.78		
a/c 0.45	edad (días)	7 DIAS					
	cemento ensayo d(cm) = A(cm ²) = F(kg) = f'c1(Kg/cm ²) = σ (desv. Est.) coef.variac. (%) max.coef.variac.%(ASTM C39)	TOLTECA			SOL		
		probeta 1	probeta 2	probeta 3	probeta 1	probeta 2	probeta 3
		10.21	10.20	10.21	10.21	10.20	10.21
		81.87	81.71	81.87	81.87	81.71	81.87
		22239	22733	21816	22626	22004	20619
		271.63	278.20	266.46	276.35	269.28	251.84
			4.80			10.30	
			1.77			3.88	
			7.8			7.8	
	f'c prom (Kg/cm²)	272.09			265.82		
a/c 0.45	edad (días)	14 DIAS					
	cemento ensayo d(cm) = A(cm ²) = F(kg) = f'c1(Kg/cm ²) = σ (desv. Est.) coef.variac. (%) max.coef.variac.%(ASTM C39)	TOLTECA			SOL		
		probeta 1	probeta 2	probeta 3	probeta 1	probeta 2	probeta 3
		10.21	10.10	10.21	10.21	10.10	10.21
		81.87	80.12	81.87	81.87	80.12	81.87
		23839	23534	24209	22952	22952	21711
		291.17	293.73	295.69	280.33	286.47	265.18
			1.85			8.95	
			0.63			3.23	
			7.8			7.8	
	f'c prom (Kg/cm²)	293.53			277.33		
a/c 0.45	edad (días)	28 DIAS					
	cemento ensayo d(cm) = A(cm ²) = F(kg) = f'c1(Kg/cm ²) = σ (desv. Est.) coef.variac. (%) max.coef.variac.%(ASTM C39)	TOLTECA			SOL		
		probeta 1	probeta 2	probeta 3	probeta 1	probeta 2	probeta 3
		10.12	10.10	10.08	10.20	10.20	10.15
		80.44	80.12	79.80	81.71	81.71	80.91
		25656	24587	26963	25003	24415	24639
		318.96	306.88	337.87	305.99	298.79	304.51
			12.75			3.10	
			3.97			1.02	
			7.8			7.8	
	f'c prom (Kg/cm²)	321.24			303.10		

Elaboración: Los autores

Tabla 45. Resistencia a la compresión para los diseños de mezcla empleados y a/c 0.55

	edad (días)	3 DIA					
		TOLTECA			SOL		
a/c 0.55	cemento						
	ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 3	probeta 1	probeta 2	probeta 3
	d(cm) =	10.20	10.21	10.20	10.20	10.20	10.21
	A(cm2) =	81.71	81.87	81.71	81.71	81.71	81.87
	F(kg) =	15771	15836	16113	14240	14649	14584
	f'c1(Kg/cm2) =	193.01	193.41	197.19	174.27	179.28	178.13
	σ (desv. Est.)		1.88			2.14	
	coef.variac. (%)		0.97			1.21	
	max.coef.variac.%(ASTM C39)		7.8			7.8	
	f'c prom (Kg/cm2)		194.54			177.23	
a/c 0.55	edad (días)	7 DIA					
		TOLTECA			SOL		
	cemento						
	ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 3	probeta 1	probeta 2	probeta 3
	d(cm) =	10.20	10.21	10.20	10.20	10.21	10.20
	A(cm2) =	81.71	81.87	81.71	81.71	81.87	81.71
	F(kg) =	18087	18992	18315	17854	17527	17023
	f'c1(Kg/cm2) =	221.35	231.96	224.14	218.49	214.08	208.32
	σ (desv. Est.)		4.49			4.16	
	coef.variac. (%)		1.99			1.95	
max.coef.variac.%(ASTM C39)		7.8			7.8		
f'c prom (Kg/cm2)		225.82			213.63		
a/c 0.55	edad (días)	14 DIAS					
		TOLTECA			SOL		
	cemento						
	ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 3	probeta 1	probeta 2	probeta 3
	d(cm) =	10.20	10.21	10.20	10.20	10.21	10.20
	A(cm2) =	81.71	81.87	81.71	81.71	81.87	81.71
	F(kg) =	19293	18817	19420	17515	18817	18415
	f'c1(Kg/cm2) =	236.11	229.83	237.66	214.35	229.83	225.36
	σ (desv. Est.)		3.39			6.50	
	coef.variac. (%)		1.44			2.91	
max.coef.variac.%(ASTM C39)		7.8			7.8		
f'c prom (Kg/cm2)		234.53			223.18		
a/c 0.55	edad (días)	28 DIAS					
		TOLTECA			SOL		
	cemento						
	ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 3	probeta 1	probeta 2	probeta 3
	d(cm) =	10.15	10.10	10.10	10.20	10.21	10.20
	A(cm2) =	80.91	80.12	80.12	81.71	81.87	81.71
	F(kg) =	20638	20933	21400	20636	19981	19922
	f'c1(Kg/cm2) =	255.06	261.28	267.10	252.54	244.04	243.81
	σ (desv. Est.)		4.92			4.06	
	coef.variac. (%)		1.88			1.65	
max.coef.variac.%(ASTM C39)		7.8			7.8		
f'c prom (Kg/cm2)		261.15			246.80		

Elaboración: Los autores

Tabla 46. Resistencia a la compresión para los diseños de mezcla empleados y a/c 0.60

a/c 0.60	edad (días)	3 DIA					
	cemento	TOLTECA			SOL		
	ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 3	probeta 1	probeta 2	probeta 3
	d(cm) =	10.20	10.21	10.20	10.20	10.21	10.20
	A(cm ²) =	81.71	81.87	81.71	81.71	81.87	81.71
	F(kg) =	15952	14830	15108	14994	14466	13530
	f'c1(Kg/cm ²) =	195.22	181.14	184.89	183.50	176.68	165.58
	σ (desv. Est.)		5.95			7.39	
	coef.variac. (%)		3.18			4.21	
	max.coef.variac.%(ASTM C39)		7.8			7.8	
	f'c prom (Kg/cm²)	187.08			175.25		
a/c 0.60	edad (días)	7 DIA					
	cemento	TOLTECA			SOL		
	ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 3	probeta 1	probeta 2	probeta 3
	d(cm) =	10.10	10.15	10.10	10.20	10.21	10.20
	A(cm ²) =	80.12	80.91	80.12	81.71	81.87	81.71
	F(kg) =	16054	16286	14718	16175	15235	14882
	f'c1(Kg/cm ²) =	200.37	201.27	183.70	197.95	186.09	182.12
	σ (desv. Est.)		8.08			6.73	
	coef.variac. (%)		4.14			3.56	
	max.coef.variac.%(ASTM C39)		7.8			7.8	
	f'c prom (Kg/cm²)	195.12			188.72		
a/c 0.60	edad (días)	14 DIAS					
	cemento	TOLTECA			SOL		
	ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 3	probeta 1	probeta 2	probeta 3
	d(cm) =	10.10	10.10	10.10	10.20	10.21	10.20
	A(cm ²) =	80.12	80.12	80.12	81.71	81.87	81.71
	F(kg) =	17058	15458	17556	15474	15873	15842
	f'c1(Kg/cm ²) =	212.91	192.93	219.13	189.37	193.87	193.87
	σ (desv. Est.)		11.17			2.12	
	coef.variac. (%)		5.36			1.10	
	max.coef.variac.%(ASTM C39)		7.8			7.8	
	f'c prom (Kg/cm²)	208.32			192.37		
a/c 0.60	edad (días)	28 DIAS					
	cemento	TOLTECA			SOL		
	ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 3	probeta 1	probeta 2	probeta 3
	d(cm) =	10.20	10.10	10.15	10.20	10.21	10.20
	A(cm ²) =	81.71	80.12	80.91	81.71	81.87	81.71
	F(kg) =	17513	19478	19164	15805	15912	16514
	f'c1(Kg/cm ²) =	214.32	243.11	236.85	193.43	194.35	202.10
	σ (desv. Est.)		12.36			3.89	
	coef.variac. (%)		5.34			1.98	
	max.coef.variac.%(ASTM C39)		7.8			7.8	
	f'c prom (Kg/cm²)	231.43			196.62		

Elaboración: Los autores



Gráfico 16. Resistencia a la compresión a/c=0.45
Elaboración: Los autores

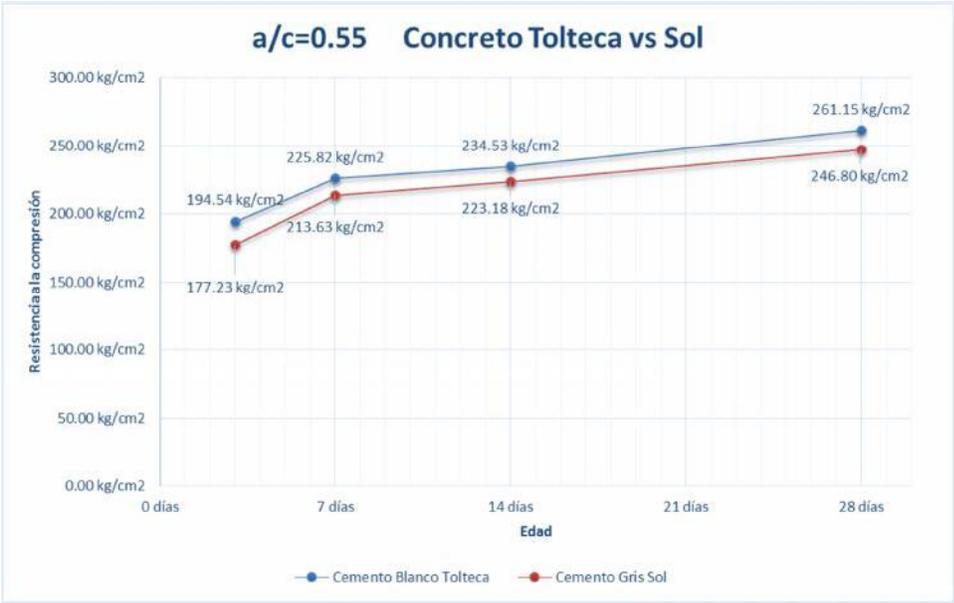


Gráfico 17. Resistencia a la compresión a/c=0.55
Elaboración: Los autores

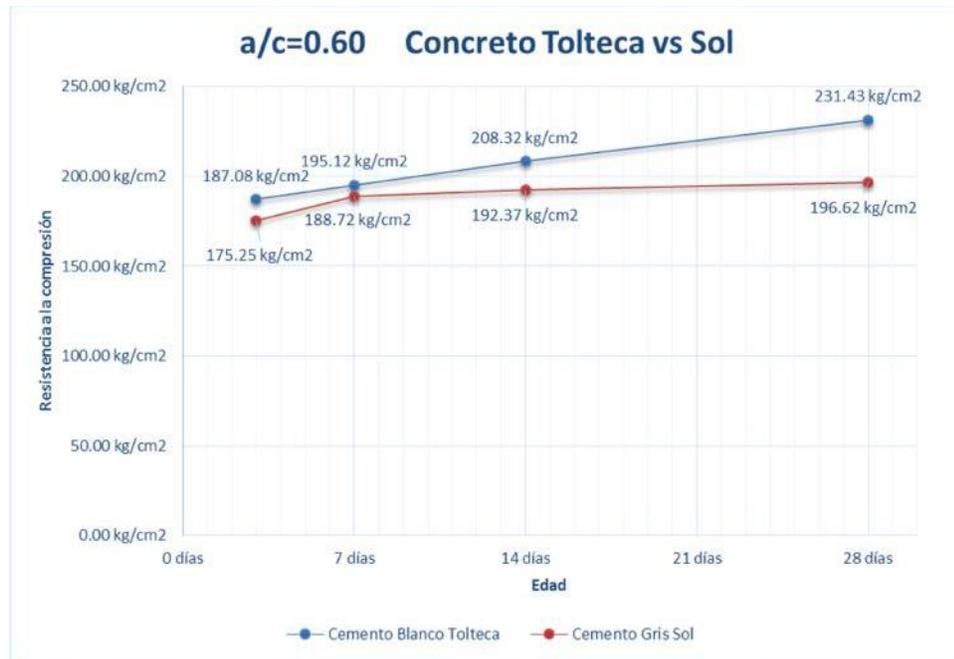


Gráfico 18. Resistencia a la compresión a/c 0.60

Elaboración: Los autores

Tabla 47. Resistencia a la compresión del concreto a los 3 días

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	105.72%	109.77%	106.75%

Elaboración: Los autores

Tabla 48. Resistencia a la compresión del concreto a los 7 días

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	102.36%	105.70%	103.39%

Elaboración: Los autores

Tabla 49. Resistencia a la compresión del concreto a los 14 días

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	105.84%	105.09%	108.29%

Elaboración: Los autores

Tabla 50. Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	105.99%	105.81%	117.70%

Elaboración: Los autores

Interpretación: De la Tabla 47 se interpreta que para el Día 3 la relación a/c 0.45, CBT es mayor en 5.72 %; para la relación a/c 0.55, CBT es mayor en 9.77%; para la relación a/c 0.60, CBT es menor en 6.75%.

Interpretación: De la Tabla 48 se interpreta que para el Día 7 la relación a/c 0.45, CBT es mayor en 2.36 %; para la relación a/c 0.55, CBT es mayor en 5.70%; para la relación a/c 0.60, CBT es mayor en 3.39%.

Interpretación: De la Tabla 49 se interpreta que para el Día 14 la relación a/c 0.45, CBT es mayor en 5.84 %; para la relación a/c 0.55, CBT es mayor en 5.09%; para la relación a/c 0.60, CBT es mayor en 8.29%.

Interpretación: De la Tabla 50 se interpreta que para el Día 28 la relación a/c 0.45, CBT es mayor en 5.99 %; para la relación a/c 0.55, CBT es mayor en 5.81%; para la relación a/c 0.60, CBT es mayor en 17.70%.

El cemento Blanco Tolteca tiene mayor resistencia a la compresión que el concreto con cemento Gris Sol, **se acepta la hipótesis alterna (H5).**

4.2.9 Resistencia a la flexión

Norma ASTM C31, C78

Tabla 51. Resistencia a la flexión para los diseños de mezcla empleados y a/c

0.45

a/c 0.45	edad (días)	3 DIAS			
	cemento	TOLTECA		SOL	
	ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 1	probeta 2
	carga máxima de rotura P(kg)=	2673	2465	2347	2465
	luz libre promedio L(cm)=	45.00	45.00	45.00	45.00
	ancho promedio b(cm)=	15.01	15.00	15.02	15.02
	altura promedio h(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	módulo de rotura Mr(kg/cm2)=	35.61	32.86	31.25	32.82
	σ (desv. Est.)	1.68		0.96	
	coef.variac. (%)	4.91		3.01	
	max.coef.variac.%(ASTM C78)	16		16	
	f' c prom (Kg/cm2)	34.24		32.03	
a/c 0.45	edad (días)	7 DIAS			
	cemento	TOLTECA		SOL	
	ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 1	probeta 2
	carga máxima de rotura P(kg)=	3223	3276	3001	2933
	luz libre promedio L(cm)=	45.00	45.00	45.00	45.00
	ancho promedio b(cm)=	15.00	15.00	15.10	15.10
	altura promedio h(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	módulo de rotura Mr(kg/cm2)=	42.97	43.68	39.74	38.85
	σ (desv. Est.)	0.44		0.55	
	coef.variac. (%)	1.01		1.40	
	max.coef.variac.%(ASTM C78)	16		16	
	f' c prom (Kg/cm2)	43.33		39.30	
a/c 0.45	edad (días)	14 DIAS			
	cemento	TOLTECA		SOL	
	ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 1	probeta 2
	carga máxima de rotura P(kg)=	3542	3435	3106	3015
	luz libre promedio L(cm)=	45.00	45.00	45.00	45.00
	ancho promedio b(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	altura promedio h(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	módulo de rotura Mr(kg/cm2)=	47.23	45.80	41.42	40.21
	σ (desv. Est.)	0.87		0.74	
	coef.variac. (%)	1.88		1.82	
	max.coef.variac.%(ASTM C78)	16		16	
	f' c prom (Kg/cm2)	46.52		40.81	
a/c 0.45	edad (días)	28 DIAS			
	cemento	TOLTECA		SOL	
	ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 1	probeta 2
	carga máxima de rotura P(kg)=	3728	3808	3318	3419
	luz libre promedio L(cm)=	45.00	45.00	45.00	45.00
	ancho promedio b(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	altura promedio h(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	módulo de rotura Mr(kg/cm2)=	49.71	50.78	44.24	45.59
	σ (desv. Est.)	0.66		0.82	
	coef.variac. (%)	1.31		1.83	
	max.coef.variac.%(ASTM C78)	16		16	
	f' c prom (Kg/cm2)	50.24		44.91	

Elaboración: Los autores

Tabla 52. Resistencia a la flexión para los diseños de mezcla empleados y a/c 0.55

	edad (días)	3 DIAS			
		TOLTECA		SOL	
a/c 0.55	cemento ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 1	probeta 2
	carga máxima de rotura P(kg)=	2315	2295	1955	1903
	luz libre promedio L(cm)=	45.00	45.00	45.00	45.00
	ancho promedio b(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	altura promedio h(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	módulo de rotura Mr(kg/cm2)=	30.87	30.60	26.06	25.38
	σ (desv. Est.)	0.17		0.42	
	coef.variac. (%)	0.55		1.63	
	max.coef.variac.%(ASTM C78)	16		16	
	f' c prom (Kg/cm2)	30.73		25.72	
	edad (días)	7 DIAS			
		TOLTECA		SOL	
a/c 0.55	cemento ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 1	probeta 2
	carga máxima de rotura P(kg)=	2517	2698	2318	2493
	luz libre promedio L(cm)=	45.00	45.00	45.00	45.00
	ancho promedio b(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	altura promedio h(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	módulo de rotura Mr(kg/cm2)=	33.56	35.98	30.91	33.24
	σ (desv. Est.)	1.48		1.43	
	coef.variac. (%)	4.26		4.44	
	max.coef.variac.%(ASTM C78)	16		16	
	f' c prom (Kg/cm2)	34.77		32.07	
	edad (días)	14 DIAS			
		TOLTECA		SOL	
a/c 0.55	cemento ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 1	probeta 2
	carga máxima de rotura P(kg)=	2764	2867	2521	2597
	luz libre promedio L(cm)=	45.00	45.00	45.00	45.00
	ancho promedio b(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	altura promedio h(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	módulo de rotura Mr(kg/cm2)=	36.85	38.22	33.61	34.62
	σ (desv. Est.)	0.84		0.62	
	coef.variac. (%)	2.24		1.81	
	max.coef.variac.%(ASTM C78)	16		16	
	f' c prom (Kg/cm2)	37.54		34.12	
	edad (días)	28 DIAS			
		TOLTECA		SOL	
a/c 0.55	cemento ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 1	probeta 2
	carga máxima de rotura P(kg)=	3168	3318	2738	2814
	luz libre promedio L(cm)=	45.00	45.00	45.00	45.00
	ancho promedio b(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	altura promedio h(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	módulo de rotura Mr(kg/cm2)=	42.23	44.24	36.51	37.51
	σ (desv. Est.)	1.23		0.62	
	coef.variac. (%)	2.84		1.67	
	max.coef.variac.%(ASTM C78)	16		16	
	f' c prom (Kg/cm2)	43.24		37.01	

Elaboración: Los autores

Tabla 53. Resistencia a la flexión para los diseños de mezcla empleados y a/c 0.60

	edad (días)	3 DIAS			
		TOLTECA		SOL	
a/c 0.60	cemento ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 1	probeta 2
	carga máxima de rotura P(kg)=	1979	2116	1812	1980
	luz libre promedio L(cm)=	45.00	45.00	45.00	45.00
	ancho promedio b(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	altura promedio h(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	módulo de rotura Mr(kg/cm ²)=	26.39	28.21	24.15	26.40
	σ (desv. Est.)	1.12		1.38	
	coef.variac. (%)	4.09		5.44	
	max.coef.variac.%(ASTM C78)	16		16	
	f'c prom (Kg/cm²)	27.30		25.28	
	edad (días)	7 DIAS			
		TOLTECA		SOL	
a/c 0.60	cemento ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 1	probeta 2
	carga máxima de rotura P(kg)=	2181	2318	2064	2004
	luz libre promedio L(cm)=	45.00	45.00	45.00	45.00
	ancho promedio b(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	altura promedio h(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	módulo de rotura Mr(kg/cm ²)=	29.08	30.90	27.52	26.72
	σ (desv. Est.)	1.12		0.49	
	coef.variac. (%)	3.72		1.79	
	max.coef.variac.%(ASTM C78)	16		16	
	f'c prom (Kg/cm²)	29.99		27.12	
	edad (días)	14 DIAS			
		TOLTECA		SOL	
a/c 0.60	cemento ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 1	probeta 2
	carga máxima de rotura P(kg)=	2399	2511	2063	2186
	luz libre promedio L(cm)=	45.00	45.00	45.00	45.00
	ancho promedio b(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	altura promedio h(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	módulo de rotura Mr(kg/cm ²)=	31.98	33.48	27.50	29.15
	σ (desv. Est.)	0.91		1.01	
	coef.variac. (%)	2.79		3.55	
	max.coef.variac.%(ASTM C78)	16		16	
	f'c prom (Kg/cm²)	32.73		28.32	
	edad (días)	28 DIAS			
		TOLTECA		SOL	
a/c 0.60	cemento ensayo	probeta 1	probeta 2	probeta 1	probeta 2
	carga máxima de rotura P(kg)=	2640	2597	2135	2294
	luz libre promedio L(cm)=	45.00	45.00	45.00	45.00
	ancho promedio b(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	altura promedio h(cm)=	15.00	15.00	15.00	15.00
	módulo de rotura Mr(kg/cm ²)=	35.20	34.62	28.47	30.58
	σ (desv. Est.)	0.35		1.29	
	coef.variac. (%)	1.01		4.38	
	max.coef.variac.%(ASTM C78)	16		16	
	f'c prom (Kg/cm²)	34.91		29.53	

Elaboración: Los autores

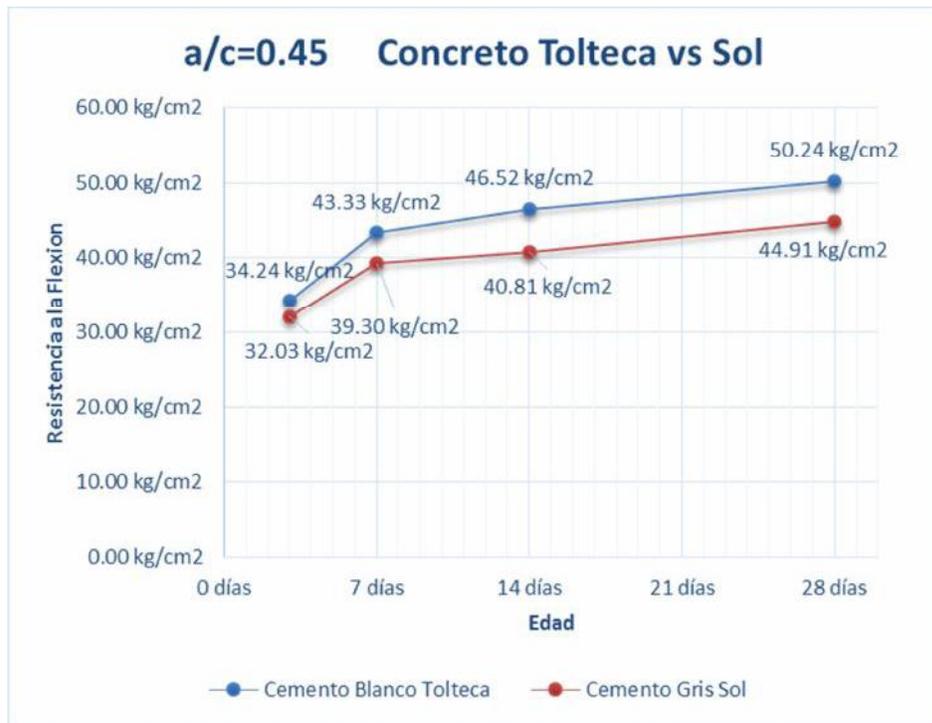


Gráfico 19. Resistencia a la flexión a/c=0.45

Elaboración: Los autores

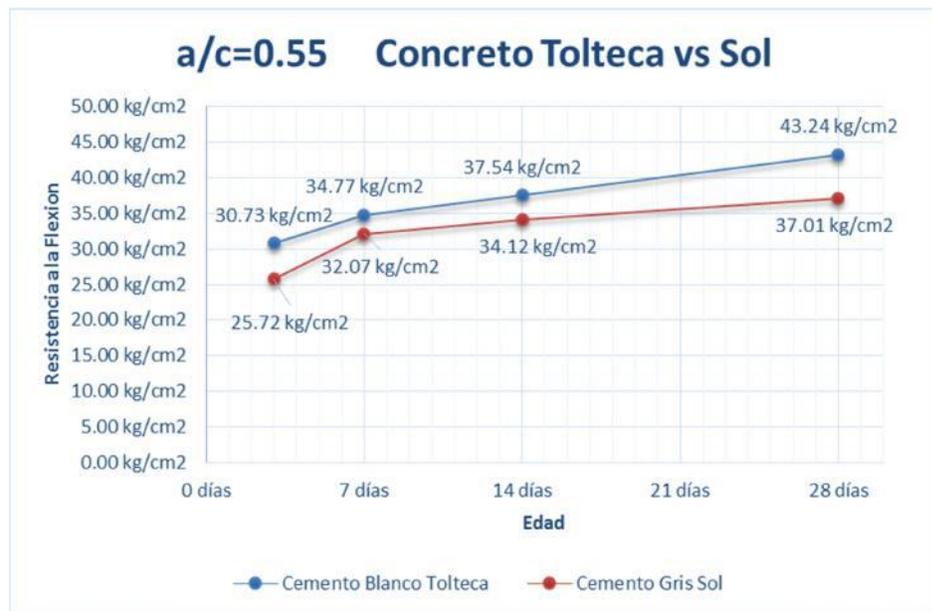


Gráfico 20. Resistencia a la flexión a/c=0.55

Elaboración: Los autores

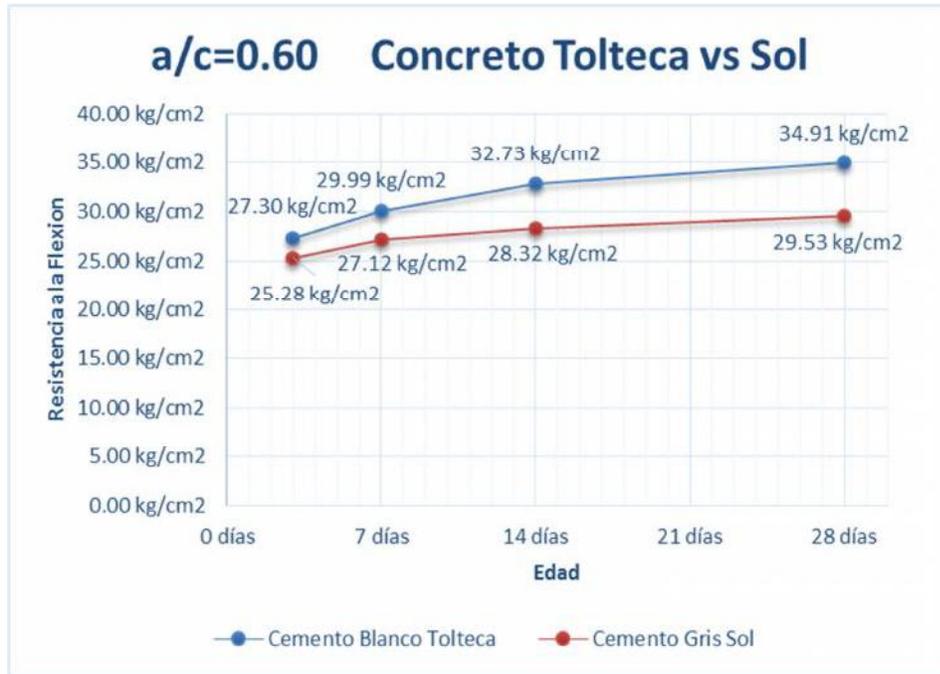


Gráfico 21. Resistencia a la flexión a/c=0.60

Elaboración: Los autores

Tabla 54. Resistencia a la flexión del concreto a los 3 días

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	106.88%	119.49%	108.00%

Elaboración: Los autores

Tabla 55. Resistencia a la flexión del concreto a los 7 días

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	110.25%	108.41%	110.58%

Elaboración: Los autores

Tabla 56. Resistencia a la flexión del concreto a los 14 días

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	113.98%	110.03%	115.56%

Elaboración: Los autores

Tabla 57. Resistencia a la flexión del concreto a los 28 días

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	111.86%	116.83%	118.23%

Elaboración: Los autores

Concreto de Referencia elaborado con cemento Gris SOL

Interpretación: De la Tabla 54 se interpreta que para el día 3: Para la relación a/c 0.45, CBT es mayor en 6.88 %; para la relación a/c 0.55, CBT es mayor en 19.49%; para la relación a/c 0.60, CBT es mayor en 8.00%.

Interpretación: De la Tabla 55 se interpreta que para el día 7: Para la relación a/c 0.45, CBT es mayor en 10.25%; para la relación a/c 0.55, CBT es mayor en 8.41%; para la relación a/c 0.60, CBT es mayor en 10.58%.

Interpretación: De la Tabla 56 se interpreta que para el día 14: Para la relación a/c 0.45, CBT es mayor en 13.98%; para la relación a/c 0.55, CBT es mayor en 10.03%; para la relación a/c 0.60, CBT es mayor en 15.56%.

Interpretación: De la Tabla 57 se interpreta que para el día 28: Para la relación a/c 0.45, CBT es mayor en 11.86%; para la relación a/c 0.55, CBT es mayor en 16.83%; para la relación a/c 0.60, CBT es mayor en 18.23%.

El cemento Blanco Tolteca tiene mayor resistencia a la flexión que el concreto con cemento Gris Sol, **se acepta la hipótesis alterna (H6).**

4.2.10 Temperatura

Norma NTP: 339.184 – ASTM C1064

Tabla 58. Variación de Temperatura del concreto

Tipo de Concreto	Relacion a/c	Temperaturas		Variación de la Temperatura del concreto en el Tiempo (°C)						
		Laboratorio	Agua	1 min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	
Concreto Blanco Tolteca	CBT 0.45	23.20	22.10	24.60	24.70	24.80	24.90	24.90	24.90	25.00
	CBT 0.55	23.90	22.70	23.90	24.10	24.40	24.50	24.60	24.60	24.60
	CBT 0.60	24.50	23.00	23.30	23.50	23.90	24.00	24.00	24.00	24.00
Concreto Gris Sol	CGS 0.45	23.40	22.40	23.80	23.80	23.90	23.90	23.90	24.00	24.10
	CGS 0.55	23.80	22.90	23.10	23.30	23.30	23.40	23.50	23.50	23.50
	CGS 0.60	24.60	22.90	21.90	22.20	22.40	22.50	22.60	22.60	22.70

Elaboración: Los autores



Gráfico 22. Tiempo vs Temperatura del Concreto Fresco

Elaboración: Los autores

Tabla 59. Temperatura del concreto

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	103.76%	104.28%	106.25%

Elaboración: Los autores

Concreto de Referencia elaborado con cemento Gris SOL

Interpretación: De la Tabla 59 se interpreta que para la relación a/c 0.45, CBT es mayor en 3.76 %; para la relación a/c 0.55, CBT es mayor en 4.28%; para la relación a/c 0.60, CBT es menor en 6.25%.

El cemento Blanco Tolteca tiene mayor temperatura que el concreto con cemento Gris Sol, **se rechaza la hipótesis alterna (H7).**

4.2.11 Tiempos de fraguados

Normas: NTP 334.006 – ASTM C 191

Datos:

% Agua Utilizable:	30%
Peso de cemento:	350 gr
Volumen de Agua:	115.5 ml

Tabla 60. Grado de trabajabilidad

CEMENTO GRIS SOL			CEMENTO BLANO TOLTECA		
N° LECTURA	TIEMPO minutos	PENETRACION (mm)	N° LECTURA	TIEMPO minutos	PENETRACION (mm)
1	30	40	1	30	40
2	45	40	2	45	40
3	60	40	3	60	40
4	75	40	4	75	40
5	90	40	5	90	40
6	105	40	6	105	39
7	120	40	7	120	32
8	135	39	8	135	30
9	150	38.5	9	150	25
10	165	37	10	165	19
11	180	31	11	180	12
12	195	20	12	195	5
13	210	13	13	210	1
14	225	5	14	225	0
15	240	2	15	240	-
16	255	1	16	255	-
17	270	0	17	270	-

Elaboración: Los autores**Tabla 61.** Tiempo Inicial y final de fraguado

Tipo	TFI	TFF
Cemento Gris Sol	188 min	270 min
Cemento Blanco Tolteca	250 min	225 min

Elaboración: Los autores

Tabla 62. Tiempo de fraguado del concreto

Tipo de concreto	Tiempo de Fraguado	
	TFI	TFF
Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%
Cemento Blanco Tolteca	79.79%	83.33%

Elaboración: Los autores

Concreto de Referencia elaborado con cemento Gris SOL

Interpretación: De la Tabla 62 se interpreta que para el tiempo de fraguado inicial, CBT es menor en 20.21 %; para tiempo de fraguado final, CBT es menor 16.67%.

El cemento Blanco Tolteca tiene menor tiempo de fraguado que el concreto con cemento Gris Sol, **se rechaza la hipótesis alterna (H8).**

4.2.12 Trabajabilidad

Norma NTP: 339.035

Materiales:

- Una bandeja metálica no absorbente
- Una varilla de acero lisa de 5/8" de diámetro, 2 pies de longitud y punta roma.
- Un molde de forma tronco cónico de 4" de diámetro en la base superior y de 8" de diámetro en la base inferior y de 12" de altura.

Procedimiento:

Debe humedecerse el tronco cónico y se colocara la bandeja metálica no absorbente previamente humedecida en la base mayor del tronco cónico.

Se mantendrá inmóvil el tronco cónico y se verterá la mezcla de concreto dentro de este de tal manera de llenarlo en tres capas que deberán ser compactadas con 25 golpes con la varilla, distribuida y aplicados uniformemente en toda la sección.

El molde se llena por exceso en la tercera capa y se compacta, luego se enrasa utilizando una plancha de albañilería.

Terminada la operación se levanta el molde cuidadosamente en la dirección vertical para luego medir el asentamiento determinado por la diferencia entre la altura del molde y la del centro de la cara superior del tronco de cono.

Tabla 63. Grado de trabajabilidad

GRADO DE TRABAJABILIDAD	REVENIMIENTO		USO CONVENIENTE DEL CONCRETO
	mm	in	
Muy baja	0 - 25	0 - 2	En caminos vibrados por maquinarias de poder. En el final mas trabajable de este grupo, el concreto se puede compactarse en ciertos con maquinas manuales.
Baja	25 - 50	2 - 3	En caminos vibrados con maquinas manuales. En el final mas trabajable de este grupo, el concreto se puede compactar manualmente en caminos usando agregado de forma redonda o irregular. Cimentaciones de concreto en masa sin vibracion o secciones reforzadas ligeramente con vibracion.
Media	50 - 100	3 - 4	En el final menos trabajable de este grupo, se encuentran las losas planas compactadas manualmente que usan agragdos triturados, concreto reforzado normal, compactado manualmente y secciones muy reforzadas con vibracion
Alta	100 - 75	4 - 7	Para secciones con refuerzo aglomerado. Normalmente no es adecuado para ser vibrado

Fuente: NTP 339.035

Tabla 64. Resultados de Asentamiento del Cono de Abrams

TIPO DE CEMENTO	RELACION a/c	SLUMP
		<i>mm</i>
BLANCO TOLTECA TIPO I	0.45	95.00
	0.55	90.00
	0.60	88.00
SOL TIPO I	0.45	76.00
	0.55	80.00
	0.60	77.00

Elaboración: Los autores

Tabla 65. Trabajabilidad del Concreto

Tipo de concreto	relacion a/c		
	0.45	0.55	0.60
(CGS) Cemento Gris Sol	100.00%	100.00%	100.00%
(CBT) Cemento Blanco Tolteca	125.00%	112.50%	114.29%

Elaboración: Los autores

Concreto de Referencia elaborado con cemento Gris SOL

Interpretación: De la Tabla 65 se interpreta que para la relación a/c 0.45, CBT son mayores en 25.00%; para la relación a/c 0.55, CBT es mayor en 12.50%; para la relación a/c 0.60, CBT es mayor en 14.29%.

El concreto con cemento Blanco Tolteca tiene mayor trabajabilidad que el concreto con cemento Gris Sol, **se acepta la hipótesis alterna (H9).**

CAPÍTULO V

DISCUSIONES

Esta investigación tuvo como propósito conocer el comportamiento del concreto utilizando cemento Blanco Tolteca, para posteriormente determinar qué tan eficiente es éste al compararlo con el concreto preparado con cemento Gris Sol. Como parte del proceso del análisis de la investigación se identificó el diseño de mezcla utilizando los mismos agregados para los dos tipos de concreto, luego se clasificaron las principales pruebas del concreto en estado fresco y endurecido.

Para afirmar o negar las hipótesis se realizaron ensayos del concreto en estado fresco como: consistencia normal, trabajabilidad, compacidad, peso unitario, contenido de aire y tiempo de fraguado para su interpretación en el concreto; y para el concreto endurecido se realizaron ensayos de resistencia a la compresión y flexión. Al finalizar los ensayos se recolectaron los resultados necesarios para poder notar las diferencias que existen entre el concreto con cemento Blanco Tolteca y el concreto con cemento Gris Sol.

En el ensayo de Consistencia y Trabajabilidad se utilizó el mismo instrumento de medición (Cono Abrams), lo cual se obtuvo como resultado que el concreto con cemento Blanco Tolteca tiene un valor positivo mayor en comparativo con el concreto con cemento Gris Sol. Por lo tanto; se constató que el concreto con cemento Blanco Tolteca requiere de una menor cantidad

de agua para obtener un mismo asentamiento respecto al concreto con cemento Gris Sol.

Según Maguiña I., Huansha D., y Cáceres F, interpreta que un concreto tiene mayor trabajabilidad y consistencia debido a (02) factores: El primero por la finura del concreto y el segundo por la textura del agregado. Maguiña I., Huansha D., y Cáceres F. (2010).

Para estos casos se da el primero ya que para los ensayos se utilizaron los mismos agregados (fino y grueso) y no se presentó ninguna variación en ellos. Por lo tanto, a mayor fineza, mayor trabajabilidad y consistencia.

Con respecto al Factor de compacidad en el concreto utilizando cemento Blanco Tolteca, se obtuvo una ligera superación con respecto al concreto gris. Lo cual, Pasquel concluye de acuerdo a su experiencia personal que los valores de revenimiento son directamente relacionados con las mediciones de factor de compactación. (Pasquel, E., 1999). A consecuencia de este resultado obtenido, se puede aseverar la conclusión dada por dicho autor.

En la finalización del ensayo de Peso unitario se obtuvo como resultado ser levemente más ligero el concreto con cemento Blanco Tolteca en comparativo con el concreto preparado con cemento Gris Sol. Esto es dado por el mayor contenido de aire que posee el concreto con cemento Blanco. Lo cual es verídico ya que posteriormente se afirma en el la obtención de resultados en el ensayo de contenido de aire.

Con respecto al antecedente propuesto por Ríos Naranjo, E. (1986), quien concluyó que el concreto con cemento Blanco tiene una resistencia menor que el concreto con cemento Gris; esta disminución es de 5 por ciento aproximadamente para una relación de agua/cemento de 0.60. A diferencia de nuestro análisis, el concreto con cemento Blanco Tolteca es mayor en un 6 por ciento aproximadamente para una relación de agua/cemento de 0.45 y 0.55; y es mayor en 18 por ciento para una relación de agua/cemento de 0.60.

Asimismo se debe tener en cuenta que este porcentaje puede tender a incrementar, ya que al querer igualar el revenimiento del concreto con cemento Gris Sol con respecto al concreto con cemento Blanco Tolteca, esté aumentara su cantidad de agua y a consecuencia su resistencia disminuye.

Adicionalmente, en el antecedente propuesto por Navarrete Anabalón, G. (2006) demostró que el cemento Blanco desarrolla elevadas resistencias a esfuerzos de compresión; Sus valores durante la última medición sobrepasan en un 69.3 por ciento a los cementos grises. A diferencia de nuestro análisis en el comparativo, obtenemos resultados casi aproximados. Es decir, el concreto con cemento Blanco Tolteca es mayor que el concreto con cemento Gris Sol en un 10 por ciento. Por lo tanto, sus resistencias no se encuentran muy disociados de uno con el otro.

En el ensayo de Tiempo de fraguado para su interpretación en el concreto, indica que el cemento Blanco comienzan a fraguar más tempranamente y que el proceso completo de fragüe, desde la mezcla de la pasta hasta el fin de fraguado, lo desarrollan en un tiempo ostensiblemente menor, en comparación con el cemento Gris. Esté va relacionado con el ensayo de Temperatura, ya que en el concreto con cemento Blanco Tolteca se tiene una mayor liberación calor de hidratación y consecuentemente se obtuvo una elevada resistencia inicial a esfuerzos de compresión.

Se ha observado que las características del concreto con cemento Blanco Tolteca pueden variar en un grado considerable, mediante el control de sus ingredientes para una estructura específica, resultando económico utilizar un concreto que tenga las características exactas necesarias, aunque esté débil en otras.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que la consistencia del concreto con cemento Blanco Tolteca tiende a aumentar en un 17.00% lo que indica que el concreto tiene mayor facilidad de adaptarse al encofrado a diferencia del concreto con cemento Gris Sol, se acepta la hipótesis de la investigación.
2. De la comparación obtenida, se concluye que el contenido de aire del concreto con cemento Blanco Tolteca tiende a aumentar en un 57.74% lo que indica que aumenta su permeabilidad y esto genera mayor exposición a los ataques químicos que causan un daño importante en el interior del concreto. Por lo tanto se rechaza la hipótesis de la investigación.
3. Luego de realizar el análisis comparativo, se llega a la conclusión que el factor de compactación del concreto con cemento Blanco Tolteca tiende a aumentar en 0.59% lo que indica que el concreto tiene un mayor grado de compactación una vez colocado en el encofrado a diferencia del concreto con cemento Gris Sol. Por lo tanto se acepta la hipótesis de la investigación.
4. Se concluye que el peso unitario del concreto con cemento Blanco Tolteca tiende a disminuir en 0.48% lo que indica que el concreto tiene mayor rendimiento por metro cubico a diferencia del concreto con cemento Gris Sol. Por lo tanto se acepta la hipótesis de la investigación.

5. Producto de la interpretación de resultados, se concluye que la resistencia a la compresión del concreto con cemento Blanco Tolteca tiende a aumentar en 6.87% lo que indica que alcanza mayores resistencias a los 3, 7, 14 y 28 días a diferencia del concreto con cemento Gris Sol. Por lo tanto se acepta la hipótesis de la investigación.
6. Del análisis comparativo entre los concretos, se concluye que la resistencia a la flexión del concreto con cemento Blanco Tolteca tiende a aumentar en 12.51% lo que indica que el concreto alcanza mayores resistencias a los 3, 7, 14 y 28 días a diferencia del concreto con cemento Gris Sol. Por lo tanto se acepta la hipótesis de la investigación.
7. De la comparación realizada a ambos concretos, se concluye que la temperatura del concreto con cemento Blanco Tolteca tiende a aumentar en 4.77% lo que indica que el concreto tiene mayor calor de hidratación a diferencia del concreto con cemento Gris Sol. Por lo tanto se rechaza la hipótesis de la investigación.
8. El tiempo de fraguado del concreto con cemento Blanco Tolteca disminuye en un 18.44% con respecto al concreto con cemento Gris Sol; lo que indica una reducción en el tiempo para el proceso de colocación y acabado del concreto en obra. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis de la investigación.
9. La trabajabilidad del concreto con cemento Blanco Tolteca tiende a aumentar en 17.26% con respecto al concreto con cemento Gris Sol; lo que indica un menor esfuerzo en el trabajo de trasladar y colocar el concreto. Por lo tanto se acepta la hipótesis de la investigación.
10. Finalmente la investigación determina que el comportamiento del concreto con cemento Blanco Tolteca es mejor que la del concreto con cemento Gris Sol en: consistencia, compacidad, peso unitario, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y trabajabilidad; pero no en: contenido de aire, temperatura y tiempo de fraguado.

RECOMENDACIONES

1. Los concretos con cemento Blanco Tolteca tienen mayor capacidad para adaptarse al encofrado, mejor comportamiento frente a la consolidación, y fácil manejo para las operaciones de transporte, colocación y acabado del concreto. Por lo que es recomendable emplearlo en todo tipo de obra que se busque mejorar las características mencionadas.
2. Los concretos preparados con cemento Blanco Tolteca tienen un tiempo de fraguado inicial y final menores que los fabricados con cemento Gris Sol, por lo que si se emplea éste, se debe contar con una buena planificación de obra a fin de evitar contratiempos en el curso normal de la construcción, o usar aditivos retardantes.
3. Para a/c 0.45, 0.55 y 0.60 los concretos preparados con cemento Blanco Tolteca generan mayor temperatura interna, esto puede producir una rápida evaporación de agua de mezclado, por lo que se recomienda controlar esta temperatura, por ejemplo realizando las mezclas a tempranas horas del día.
4. Asimismo, se recomienda usar el concreto con cemento Blanco Tolteca en climas con temperaturas levemente bajas ya que tiende a responder mejor frente a los ciclos de hielo y deshielo. Pero esto no quiere decir que no se evalué el concreto para una futura incorporación de aditivo para aumentar el porcentaje de contenido de aire.

5. Utilizar concretos empleando cemento Blanco Tolteca ya que tiene mayor resistencia a la compresión con respecto a los concretos preparado con cemento Gris Sol. Adicionalmente, se recomienda cuando se requiera resistencias a temprana edad.

6. El cemento blanco debe ser objeto de mejores estudios y de experimentación para ampliar su campo de aplicación y por consiguiente bajar sus costos al aumentar la demanda. En ciudades como Lima con problemas de neblina y contaminación se requiere más claridad y/o color a las construcciones para mejorar el paisaje urbano.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliográficas:

1. **Abanto, F. (1997).** Tecnología del Concreto – Teoría y Problemas (1^{era} ed.) Lima – Perú: Editorial San Marcos.
2. **ACI (American Concrete Institute). (2005).** Normas ACI (1^{era} ed.) USA.
3. **ASTM (American Society for Testing and Materials). (2000).** ASTM Normas C (1^{era} ed.) USA.
4. **ASOCEM (Asociación de Productores de cemento). (2008).** Boletines Técnicos. Lima - Perú: ASOCEM.
5. **Autores varios. (2001).** Supervisión de Obras de Concreto (1^{era} ed.) Lima-Perú: ACI UNI.
6. **Frederik, L. (1988).** The Chemistry of Cement and Concrete (1^{first} ed.) London – England: Edward Arnold Publishers.
7. **INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual). (2001).** Normas Técnicas Peruanas. Lima-Perú: 2da Edición.

8. **Maguiña I., Huansha D., & Cáceres F. (2010).** Propiedades del Concreto en Estado Fresco. Ancash-Perú: UNASAM.
9. **Neville, A. (1977).** Tecnología del Concreto (1^{era} ed.) México: Instituto Mexicano del cemento y del Concreto.
10. **Pasquel, E. (1999).** Tópicos de Tecnología del Concreto. (2^{da} ed.). Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.
11. **Rivera, G. (1992).** Concreto Simple. Popayán-Colombia: Universidad del Cauca.
12. **Rivva E. (1993).** Diseño de Mezcla. Lima-Perú: ACI
13. **Rivva E. (1993).** Tecnología del Concreto. Lima-Perú: ACI
14. **Torre A. (2004).** Curso de Tecnología de Materiales. Lima- Perú

Tesis:

1. **Chuquivilca López, P. (2008).** Características y Comportamientos del Concreto Utilizando cemento Quisqueya (Tesis para obtener el título profesional en Ingeniería Civil). Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Civil, Lima Perú.

2. **Ríos Naranjo, E. (1986).** cemento Portland Blanco (Tesis para obtener el título profesional en Ingeniería Civil). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil. Lima Perú.

3. **Navarrete Anabalón, G. (2006)** Caracterización del cemento Blanco (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Constructor). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela Ingeniería en Construcción. Valdivia - Chile.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Anexo 2: Panel Fotográfico

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONCRETOS UTILIZANDO CEMENTO BLANCO TOLTECA Y CEMENTO GRIS SOL			OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES		DISEÑO METODOLÓGICO
PROBLEMA	OBJETIVO General	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INDICES
¿Cuáles son los resultados en el análisis comparativo del comportamiento de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y Cemento Gris Sol ?	Realizar el análisis comparativo del comportamiento de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y Cemento Gris Sol para determinar sus propiedades en estados fresco y endurecido	El concreto preparado con Cemento Blanco Tolteca se comporta mejor en sus principales propiedades con Cemento Gris Sol .			
	Específico				
¿Cuáles son las Consistencias Normales en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol ?	Medir las Consistencias Normales al realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol .	Al Medir la Consistencia Normal del concreto utilizando Cemento Blanco Tolteca es mejor que el concreto con Cemento Gris Sol .		Consistencia Normal	Ensayo de Consistencia Cono Abrams (putg)
¿Cuáles es el Contenido de Aire en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol ?	Medir el Contenido de Aire en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol .	Al Medir el Contenido de Aire del concreto impermeable que el concreto con Cemento Gris Sol .		Contenido de Aire	Ensayo de Contenido de Aire Balanza digital (kg)
¿Cuáles son los Factores de Compacidad en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol ?	Medir los Factores de Compacidad en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol .	Al Medir el Factor de Compacidad del concreto utilizando Cemento Blanco Tolteca es mejor que el concreto con Cemento Gris Sol .		Factor de Compacidad	Ensayo de Factor de Compacidad Balanza digital (kg)
¿Cuáles son los Pesos Unitarios en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol ?	Medir los Pesos Unitarios en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol .	Al Medir el Peso Unitario del concreto utilizando Cemento Blanco Tolteca , tiene buena calidad y mayor rendimiento que el concreto con Cemento Gris Sol .		Peso Unitario	Ensayo de Peso Unitario Balanza digital (kg)
¿Cuáles son las Resistencias a la Compresión en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol ?	Medir las Resistencias a las Compresiones al realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol .	Al Medir la Resistencia a la Compresión del concreto utilizando Cemento Blanco Tolteca es mayor que el concreto con Cemento Gris Sol .	Cemento Blanco Tolteca	Resistencia a la Compresión	Ensayo a la Resistencia de la Compresión Prensa para medir la resistencia compresión (kg/cm2)
¿Cuáles son las Resistencias a la Flexión en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol ?	Medir las Resistencias a las Flexiones al realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol .	Al Medir la Resistencia a la Flexión del concreto utilizando Cemento Blanco Tolteca es mayor que el concreto con Cemento Gris Sol .		Resistencia a la Flexión	Ensayo a la Resistencia de la Flexión Prensa para medir la resistencia a la flexión (kg/cm2)
¿Cuáles son las Temperaturas en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol ?	Medir las Temperaturas en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol .	Al Medir la Temperatura del concreto utilizando Cemento Blanco Tolteca es inferior que el concreto con Cemento Gris Sol .		Temperatura	Ensayo a la Temperatura Termómetro Digital (°C)
¿Cuáles son los Tiempos de Fraguado para su interpretación en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol ?	Medir los Tiempos de Fraguado para su interpretación en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol .	Al Medir los Tiempos de Fraguado para su interpretación en el concreto utilizando Cemento Blanco Tolteca , dispone de mayor tiempo en el proceso de colocación y acabado que el concreto con Cemento Gris Sol .		Tiempos de Fraguado	Ensayo Tiempo de Fraguado Aguja de Vicat (min)
¿Cuáles son las Trabajabilidades en el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol ?	Medir las Trabajabilidades al realizar el análisis comparativo de los concretos utilizando Cemento Blanco Tolteca y el Cemento Gris Sol .	Al Medir la Trabajabilidad del concreto utilizando Cemento Blanco Tolteca es mejor que el concreto con Cemento Gris Sol .		Trabajabilidad	Ensayo de la Trabajabilidad Asentamiento del Cono Abrams (putg)

1 TIPO DE INVESTIGACIÓN
Cuantitativa y Descriptiva

2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN
Descriptiva

3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
Experimental, Prospectivos y Longitudinal



Fotografía 1. Caracterización del Agregado Grueso
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 2. Caracterización del Agregado Fino
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 3. Dosificación para Diseño de Concreto con Cemento Blanco Tolteca
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 4. Dosificación para Diseño de Concreto con Cemento Gris Sol
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 5. Proceso de mezclado del concreto con
Cemento Blanco Tolteca
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 6. Proceso de mezclado del Concreto con
Cemento Gris Sol
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 7. Asentamiento del Cono de Abrams

Fuente: Elaboración propia

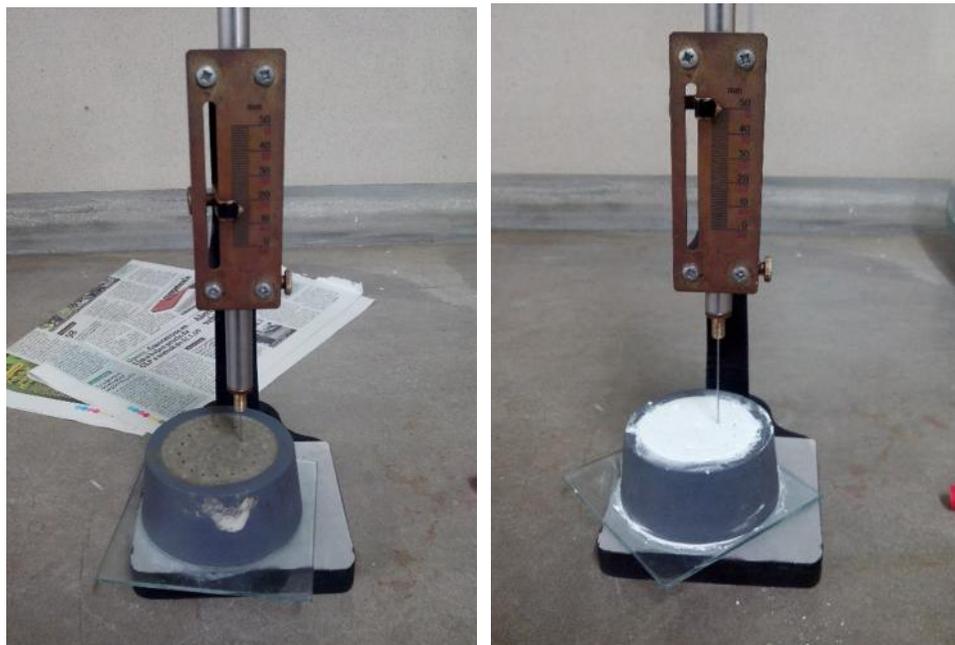


Fotografía 8. Asentamiento del Cono de Abrams

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 9. Ensayo de Peso Unitario y Contenido de Aire del concreto.
Fuente: Elaboración propia

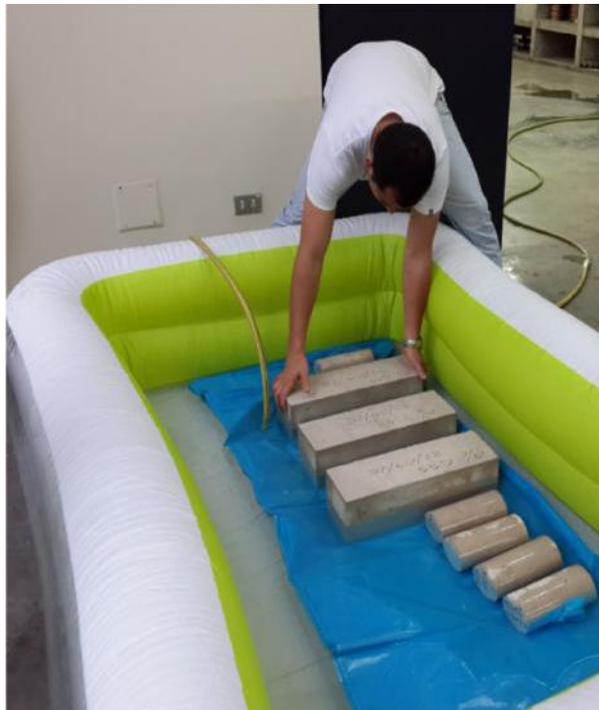


Fotografía 10. Ensayo de Tiempo de Fraguado para su interpretación en el concreto.
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 11. Ensayo de Temperatura del Concreto con Cemento Blanco Tolteca y Cemento Gris Sol.

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 12. Curado de Probetas de Concreto con Cemento Blanco Tolteca y Cemento Gris Sol

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 13. Ensayo a la Resistencia de la Compresión
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 14 Ensayo a la Resistencia de la Flexión
Fuente: Elaboración propia.