

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES
FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO
CENIZA DE BRIQUETAS EN CHIMBOTE”**

PRESENTADO POR:

BACH. ALEGRE HUMANCHUMO Roberto Manuel.

BACH. GUANILO NEYRA Katherine Estefany

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Nuevo Chimbote – Perú

2020

"Año de la Universalización de la Salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 30 días del mes de octubre del año dos mil veinte, siendo las doce horas del mediodía, cumpliendo el con la Resolución N° 306-2020-CU-R-UNS (12.06.120) y la Directiva 003-2020-UNSVRAC, sobre la "ADECUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE OBTENCIÓN DE GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES DE PREGRADO DE LA UNS, SE REALICE EN FORMA VIRTUAL; través del aplicativo virtual Zoom, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 162-2020-UNS-CFI, integrado por los docentes Ms. Julio Cesar Rivasplata Díaz (Presidente), Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado (Secretario), Ms. Janet Verónica Saavedra Vera (Integrante) y en base a la Resolución Decanal N° 334-2020-UNS-FI, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada: "**ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZAS DE BRIQUETAS DE CARBON EN CHIMBOTE**" presentado por los Bachilleres **ALEGRE HUAMANCHUMO ROBERTO MANUEL**, registrado con código de matrícula N° 0201013024 y **GUANILLO NEYRA KATHERINE STEFANY**, registrado con código de matrícula N° 0201013033, quienes fueron asesorados por la Ms. Janet Verónica Saavedra Vera, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 209-2019-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Titulo Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
ALEGRE HUAMANCHUMO ROBERTO MANUEL	16	BUENO

Siendo la una de la tarde del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 30 de octubre de 2020.

Ms. Julio Cesar Rivasplata Díaz
Presidente

Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado
Secretario

Ms. Janet Verónica Saavedra Vera
Integrante

"Año de la Universalización de la Salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

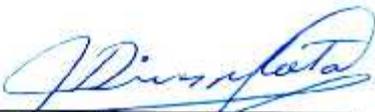
A los 30 días del mes de octubre del año dos mil veinte, siendo las doce horas del mediodía, cumpliendo el con la Resolución N° 306-2020-CU-R-UNS (12.06.120) y la Directiva 003-2020-UNSVRAC, sobre la "ADECUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE OBTENCIÓN DE GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES DE PREGRADO DE LA UNS, SE REALICE EN FORMA VIRTUAL; través del aplicativo virtual Zoom, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 162-2020-UNS-CFI, Integrado por los docentes Ms. Julio Cesar Rivasplata Díaz (Presidente), Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado (Secretario), Ms. Janet Verónica Saavedra Vera (Integrante) y en base a la Resolución Decanal N° 334-2020-UNS-FI, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **"ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZAS DE BRIQUETAS DE CARBON EN CHIMBOTE"** presentado por los Bachilleres **ALEGRE HUAMANCHUMO ROBERTO MANUEL**, registrado con código de matrícula N° 0201013024 y **GUANILLO NEYRA KATHERINE STEFANY**, registrado con código de matrícula N° 0201013033, quienes fueron asesorados por la Ms. Janet Verónica Saavedra Vera, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 209-2019-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionadas con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
GUANILLO NEYRA KATHERINE STEFANY	16	BUENO

Siendo la una de la tarde del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 30 de octubre de 2020.


Ms. Julio Cesar Rivasplata Díaz
Presidente


Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado
Secretario


Ms. Janet Verónica Saavedra Vera
Integrante

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES
FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO
CENIZA DE BRIQUETAS EN CHIMBOTE”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

REVISADO POR:

Ms. Janet Verónica Saavedra Vera

ASESOR



“ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS DE CARBÓN EN CHIMBOTE”.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



“ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS EN CHIMBOTE”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

JURADO EVALUADOR DE TESIS:

Ms. Julio Cesar Rivasplata Díaz

PRESIDENTE

Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado

SECRETARIO

Ms. Janet Saavedra Vera

INTEGRANTE



DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, que durante todo este tiempo me estuvo guiando y cuidando para llegar victorioso a mi meta.

A mis padres, que me dieron la vida y las enseñanzas en cada etapa de mi vida, a ellos que me dieron los recursos y el apoyo necesario para cada proyecto, motivándome a superarme cada día.

A mis maestros y amigos, que en su medida dedicaron su tiempo para brindarme los conocimientos y consejos para poder lograr mis objetivos.

Roberto Alegre Huamanchumo.



DEDICATORIA

A Dios.

Por darme la vida, y por guiármela día tras día,
por darme las oportunidades de llegar hasta
aquí, y por darme la inteligencia necesaria para
saber afrontar los problemas; a él por bendecir
mi vida y la vida de mis familiares.

A mi familia, que siempre luchó conmigo y me
apoyó en cada tropiezo en mi vida, y estuvo
conmigo para celebrar mis triunfos, en especial
a mis padres Connie Neyra Neyra y Victor
Guanilo Amaya, que me brindaron su apoyo
incondicional día a día.

A mis profesores, que siempre tuvieron alguna
enseñanza que me sirvió para salir adelante en
la vida.

Katherine Guanilo Neyra



AGRADECIMIENTO

A mi familia, gracias por su apoyo, paciencia, dedicación y motivación, gracias a ello, todo esto es posible.

A la Universidad Nacional del Santa, por su atención y amabilidad en todo lo referente a mi vida como alumno universitario.

A la ingeniera Janet Saavedra Vera por su decisivo apoyo en este trabajo de investigación, por compartir sus conocimientos profesionales y la buena disposición a la colaboración que nos han mostrado.

Roberto Alegre Huamanchumo



AGRADECIMIENTO

En forma muy especial agradezco a Dios, a mis padres, hermano y familiares; por estar siempre presentes, por ese cariño y apoyo incondicional en todo momento.

A mis amigos de toda la vida por los consejos, la motivación y el apoyo que me brindaron oportunamente para dar un paso más en mi vida profesional.

Al ingeniero ingeniera Janet Saavedra Vera, por su asesoramiento, orientación y apoyo durante el desarrollo de la presente Tesis.

Katherine Guanilo Neyra



INDICE GENERAL

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	16
1.1. ANTECEDENTES	16
1.2. Formulación del problema.....	18
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivo general.....	19
1.3.2. Objetivos específicos	19
1.4. Formulación de la hipótesis.....	19
1.5. Justificación.....	20
1.6. Limitaciones del trabajo	20
1.6.1. Limitación espacial	20
1.6.2. Limitación temporal.....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Concreto	22
2.2. Cemento Portland.....	23
2.2.1 Fabricación del Cemento Portland.....	24
a. Materias primas del Cemento Portland.....	26
b. Composición química del Cemento.....	27
c. Compuesto Químicos del Cemento.....	28
d. Propiedades de los compuestos principales:.....	29
e. Tipos de Cemento Portland.....	31
f. Requisitos físicos y químicos del cemento.....	34
2.2.1.1. Agregados.....	36
a. Agregado fino.....	37
b. Agregado grueso.....	40
2.2.1.1.1. Características físicas de los agregados.....	43



a. Condiciones de Saturación.....	43
b. Peso Específico.	44
c. Peso Unitario.....	44
d. Porcentaje de vacíos.....	45
e. Absorción.....	46
f. Porosidad.....	46
g. Humedad.	47
2.2.1.1.2. Características Resistentes.....	48
a. Resistencia.....	48
b. Tenacidad.....	48
c. Dureza	49
2.2.1.1.3. Módulo de fineza de los agregados.....	50
2.2.1.2. Agua.....	50
2.2.2. Propiedades del Concreto.....	52
2.2.2.1. Trabajabilidad.....	52
2.2.2.2. Permeabilidad.....	53
2.2.2.3. Resistencia.....	53
2.2.2.4. Durabilidad.....	54
2.2.2.5. Exudación.....	54
2.2.2.6. Elasticidad.....	55
2.2.2.7. Escurrimiento plástico.....	56
2.2.2.8. Dilatación térmica.....	56
2.2.3. Mezclado del Concreto.....	56
2.2.4. Diseño de mezcla de concreto.....	57
2.2.5. Cenizas Volante de Carbón.....	58
2.2.6. Composición de la Ceniza Volante de Carbón.....	59



2.2.7. Propiedades de la Ceniza Volante de Carbón.-	59
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	62
3.1. Método de investigación.....	62
3.2. Universo o Población	62
3.3. Alcance de estudio.....	62
3.4. Obtención en laboratorio de muestras representativas	62
3.5. Peso unitario de los agregados.....	64
3.5.1. Peso unitario suelto	64
3.5.2. Peso unitario compactado.....	64
3.6. Análisis granulométrico.....	65
3.7. Peso específico y absorción.....	66
3.7.1. Peso específico y absorción del agregado fino.....	66
3.7.2. Peso específico y absorción del agregado grueso	67
3.8. Contenido de humedad	69
3.9. Diseño de mezcla del concreto	69
3.9.1. Selección de la resistencia promedio (f^c)	69
3.9.2. Cálculo de la desviación estándar	70
3.9.3. Cálculo de la resistencia promedio requerida (f^{cr}).....	72
3.9.4. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso	73
3.9.5. Selección del asentamiento (slump).....	75
3.9.6. Selección de agua de mezclado y contenido de aire	76
3.9.7. Selección de la relación agua/cemento (a/c)	78
a. Por resistencia.	79
b. Por durabilidad.....	80
3.9.8. Cálculo del contenido de cemento	82
3.9.9. Selección del agregado.....	82



3.9.10.	Ajuste por humedad del agregado	84
3.10.	Procedimiento para la elaboración de especímenes de concreto adicionando ceniza de carbón.	87
3.10.1.	Procedimiento para preparación de la mezcla	90
3.10.2.	Procedimiento para el Vaciado del Concreto	91
3.10.3.	Curado de los especímenes de concreto.	97
3.11.	Asentamiento (Slump)	98
3.12.	Resistencia a la compresión	101
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES		106
4.1.	Ensayos de compresión.	106
4.1.1.	Resistencia a la compresión de probetas de concreto $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, Muestra patrón (Sin adición de ceniza).	107
4.1.2.	Resistencia a la compresión de Probetas de concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza de briqueta (5%).	108
4.1.3.	Resistencia a la compresión de Probetas de concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza de briqueta (10%).	109
4.1.4.	Resistencia a la compresión de Probetas de concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza de briqueta (15%).	110
4.1.5.	Resistencia a la compresión de probetas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ Muestra Patrón (sin adición de ceniza de briqueta.)	111
4.1.6.	Resistencia a la compresión de probetas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza de briqueta al 5%	112
4.1.7.	Resistencia a la compresión de probetas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza de briqueta al 10%.	113
4.1.8.	Resistencia a la compresión de probetas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza de briqueta al 15%	114
4.1.9.	Comparación entre la muestra patrón y las muestras con adición de ceniza de briqueta	115



4.1.1.	Comparación entre la muestra patrón y las muestras con adición de ceniza de briqueta 116	
4.2.	Análisis de Resultados.....	116
4.3.	Análisis Estadístico	118
5.1.	CONCLUSIONES.....	127
5.2.	RECOMENDACIONES	129
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		131
CAPÍTULO VII: ANEXOS		133
7.1.	ANEXO N°01: Ensayo de los Agregados	133
7.1.1.	ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO AGREGADO FINO (NORMA ASTM C-136 Y NTP 400.037)	133
7.1.2.	ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO AGREGADO GRUESO (NORMA ASTM C-136 Y NTP 400.037)	134
7.1.3.	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO Y GRUESO (ASTM D-2216-80)	135
7.1.4.	PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO (NORMA ASTM C-29 Y NTP 400.017).....	136
7.1.5.	PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO (NORMA ASTM C-29 Y NTP 400.017).....	137
7.1.6.	PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO (NORMA ASTM C-29 Y NTP 400.017)	137
7.2.	ANEXO N°02: Diseño de Mezclas	138
7.3.	ANEXO N°03: Resultados del Concreto Ensayados	144
7.3.1.	ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, $f^c=175\text{kg/cm}^2$	144
7.3.2.	ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, $f^c=210\text{kg/cm}^2$	150
7.3.3.	ENSAYO DE ASENTAMIENTO	156
7.4.	ANEXO N°04: Panel Fotográfico	157



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Reacción de la materia Prima del Cemento Dentro del Horno	26
Tabla 2: Componentes Químicos del Cemento	28
Tabla 3: Compuestos Químicos del Cemento	28
Tabla 4: Tipos de cemento que se producen en el Perú.....	33
Tabla 5: Requisitos físicos NTP 339.009 para Cementos	34
Tabla 6: Requisitos Químicos NTP 339.009 para Cementos	34
Tabla 7: Requisitos Físicos Opcionales.....	35
Tabla 8: Requisitos Químicos Opcionales	35
Tabla 9: Tipos de cemento cuyo requisitos para concretos expuestos a soluciones que contienen sulfatos	36
Tabla 10: Límites granulométricos del agregado fino.....	38
Tabla 11: Límite de graduación del Agregado Grueso.....	42
Tabla 12 Límites permisibles para agua de mezcla y de curado según la norma ITINTEC 339.088.....	52
Tabla 13: Incremento de valores de desviación estándar cuando se tiene menos de 30 ensayos.	71
Tabla 14: $f'c$ aplicable cuando no se dispone de resultados para definir la desviación estándar.....	71
Tabla 15: Valores requeridos para la granulometría del agregado grueso	74
Tabla 16: Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.	76
Tabla 17: Volumen unitario de agua	77
Tabla 18: Relación Agua/cemento por Resistencia.....	80
Tabla 19: Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sometida a condiciones especiales de exposición.....	81
Tabla 20: Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.	83
Tabla 21: Numero de capas requeridas en la elaboración de mezclas.....	93
Tabla 22: Diametro de varilla y número de golpes por capa.....	96
Tabla 23: Tolerancia de edad de ensayo de los especímenes	102
Tabla 24: Resultados de la Resistencia a la compresión de la muestra patrón $f'c=175\text{kg/cm}^2$	107



Tabla 25: Resultados de la Resistencia a la compresión (5% de ceniza)	108
Tabla 26: Resultados de la Resistencia a la compresión (10% de ceniza)	109
Tabla 27: Resultados de la Resistencia a la compresión (15% de ceniza)	110
Tabla 28: Resultados de resistencia a la compresión $f^c=210\text{kg/cm}^2$ (muestra Patrón)	111
Tabla 299: Resultados de resistencia a la compresión $f^c=210\text{kg/cm}^2$ (+5% de ceniza)	112
Tabla 30: Resultados de resistencia $f^c=210$ en muestras con 10% de adición	119
Tabla 31: Dispersión Total	121
Tabla 32: Dispersión entre Testigos	121
Tabla 33: resultados de resistencia $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$ en muestras con 10% de adición	123



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proporciones en volumen de los componentes del concreto.....	23
Figura 2: Condiciones de saturación del agregado.....	44
Figura 3: Procedimiento de obtención de muestras representativas.....	63
Figura 4: Molde para determinar el Asentamiento.....	99
Figura 5: Varilla compactadora.....	99
Figura 6: Procedimiento para el asentamiento del concreto fresco.....	101
Figura 7: Esquemas de los tipos de falla.....	104
Figura 8: Curva de $f'c$ a los 7, 14 y 28 días de la muestra patrón.....	107
Figura 9: Curva de especímenes de concreto con 5% de ceniza.....	108
Figura 10: Curva de especímenes de concreto con 10% de ceniza.....	109
Figura 11: Curva de especímenes de concreto con 15% de ceniza.....	110
Figura 12: Curva de especímenes de concreto $f'c=210$ kg/cm ²	111
Figura 13 Curva de Especímenes de concreto $f'c=210$ kg/cm ² con adición de ceniza al 5%.....	112
Figura 14: Curva Especímenes de concreto $f'c=210$ kg/cm ² con adición de ceniza del 10%.....	113
Figura 15 Curva de especímenes de concreto $f'c=210$ kg/cm ² con adición de ceniza al 15%.....	114
Figura 16: Curva de Resultados de Resistencia a la compresión por edades comparados con la muestra patrón $f'c=175$ kg/cm ²	115
Figura 17.- Curva de Resultados de Resistencia a la compresión por edades comparados con la muestra patrón $f'c=210$ kg/cm ²	116
Figura 18.- Curva de Distribución Normal para concreto $f'c=175$ kg/cm ² con 10% de adición de ceniza de briquetas.....	122



RESUMEN

El presente trabajo de tesis consiste determinar las propiedades del concreto fresco y endurecido, adicionando cenizas de carbón de briquetas, procedente de las ladrilleras de la localidad de santa. Para la investigación, se utilizara el procedimiento para diseñar la mezcla de concreto normal del comité ACI-211.1-91. Primero se diseñara una muestra patrón de 175 kg/cm² y 210 kg/cm² y muestras de concreto con reemplazo del 5%, 10% y 15% de cenizas de carbón de briquetas. Se realizara probetas de concreto con cenizas de carbón de briquetas se determinaran las propiedades físicas del concreto al estado fresco y endurecido se ensayaran los testigos, de acuerdo a la normativa vigente Con esta investigación se busca poder elaborar un nuevo concreto más resistente que el convencional y nos ayude a aprovechar otros recursos y así disminuir la contaminación.



ABSTRACT

The present thesis work consists in determining the properties of the fresh and hardened concrete, adding ashes of briquette coal, coming from the brickworks of the town of Santa. For the investigation, the procedure will be used to design the normal concrete mix of the ACI-211.1-91 committee. First, a standard sample of 175 kg / cm² and 210 kg / cm² will be designed and concrete samples with replacement of 5%, 10% and 15% of briquette coal ashes. Concrete specimens with briquette charcoal ashes will be made, the physical properties of the concrete will be determined in the fresh and hardened state, the witnesses will be tested, in accordance with current regulations. This research seeks to be able to develop a new concrete more resistant than conventional and help us take advantage of other resources and thus reduce pollution.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Mazza & Flores (2014), en su tesis utilización de conchas de abanico como mejoramiento de sus propiedades resistentes del concreto, investigaron la adición en la preparación de concretos de resistencia $f'c=175\text{kg/cm}^2$ y $f'c=210\text{kg/cm}^2$, porcentajes graduales de conchas abanico calcinadas y molidas.

Realizaron ensayos de cada uno de los agregados según lo establece el reglamento nacional de edificaciones, posteriormente con los resultados obtenidos de laboratorio se formuló el diseño de mezclas para resistencias $f'c=175\text{kg/cm}^2$ y $f'c=210\text{kg/cm}^2$, las cuales fueron las mezclas patrones. Posteriormente se realizaron adiciones a diferentes porcentajes 5%, 10% y 15%, que también se prepararon testigos cilíndricos para ser ensayados a edades de 7, 14, 21 y 28 días.

Las conclusiones que llegaron para concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ se obtuvo asentamientos de 0%, 3.4%, 3% y 2.5% para adiciones de 0% 5%, 10% y 15%, respectivamente; así mismo las adiciones de residuos calcáreos en rangos del 5% al 15%, mejoraron la resistencia mayor en 5% con relación a la resistencia inicial; así mismo para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ la resistencia aumenta en la adición de residuos calcáreos en 5% a 10% en un 9.4%.

Chumpitaz Quispe.S.C. (1993) desarrollo su tesis con el objetivo de determinar las propiedades de las unidades de albañilería utilizando como materia prima la



dolomita, donde se determinó las características físicas, químicos y estabilidad de volumen de la misma, también ubicó las canteras de la zona, indicando que tiene un alto contenido de óxido de cal comparado con la fabricación de unidades de albañilería de otro tipos de agregados se demostró que la unidad de albañilería con la dolomita produce mayor resistencia.

Determinando la dosificación de la dolomita con el cemento tipo I, los análisis físico se realizaron en laboratorios de la UNI demostrando que no presentan elementos que puedan dañar el concreto ni rasgos que pueda presentar eflorescencia, también recomienda realizar este estudio para cada cantera a fin de determinar las características individuales y realizar un uso adecuado.

El método aplicado fue el experimental.

Pérez (2012), Concluyo en esta investigación, estudia el efecto que produce la adición de cenizas volantes de carbón en un suelo arcilloso, con el fin de evaluar en sus obras de pavimentación. La ceniza volante es un residuo que proviene de la planta termoeléctrica ubicada en Ilo, Moquegua. La disposición de éste, genera un problema ambiental.

Se realizaron ensayos de laboratorio para caracterizar la ceniza volante, las mezclas suelo-ceniza volante y suelo – ceniza volante – cemento para evaluar su comportamiento geotécnico. Se comprueba que la mezcla de ceniza volante con el suelo arcilloso en estudio, como también la adición de cemento, presenta un mejor comportamiento que el suelo puro para su empleo como capa de sub-base y sub-rasante mejorada de pavimentos. Se examinó factores como; tiempo de



curado, tiempo de compactación, contenido de agua y otros factores que influyen en el comportamiento de la mezcla final. (p. 74). Los diseños de estructuras típicas de pavimento rural, tanto con un suelo natural arcilloso y con suelo estabilizado, se relacionaron mediante el método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities).

La investigación concluye que existe viabilidad técnica y económica para la construcción de pavimentos empleando cenizas volantes de carbón como material estabilizador de suelos. (p. 79).

1.2. Formulación del problema

En el Perú como en el resto del mundo el concreto es un material que viene usándose por grandes cantidades por sus grandes ventajas que presenta, por otra parte esta producción diaria contribuye diariamente a la depredación de los suelos para la obtención de materias primas para la fabricación del mismo, Considerando también que la producción del concreto también genera residuos y excedentes. El uso de aditivos en el concreto para mejorar las propiedades del concreto en estado fresco como en estado endurecido cada vez son utilizados con mucha más frecuencia en las diferentes tipos de obras.

La demanda de los aditivos es mayor en muchos casos son de origen orgánico como inorgánico, así mismo las investigaciones realizadas se está poniendo énfasis en materiales reciclados para la elaboración de aditivos alrededor de todo el mundo, estos también pretenden mejorar las propiedades del concreto; Esta investigación pretende la alternativa de adicionar cenizas de briquetas de carbón, con el objetivo de adecuado al dentro del concreto teniendo en cuenta que el



mismo puede llegar a disminuir el costo y de los aditivos y aumentar las propiedades del concreto, así como mitigar los problemas del medio ambiente y reducir la depredación de suelos con la explotación de las canteras.

Ante todas estas situaciones nos vemos en la necesidad de plantearnos la siguiente pregunta:

¿Cuál será el comportamiento físico y mecánico del concreto al incorporar cenizas de carbón de briquetas como adición, en el distrito de Chimbote?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Estudiar el comportamiento de concreto estructural adicionando cenizas de carbón de briqueta

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar las características y propiedades físicas de las cenizas de carbón de piedra.
- Analizar las características, propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural patrón.
- Elaborar concreto incorporando diferentes porcentajes de cenizas de carbón de briquetas.
- Cuantificar y analizar con varias dosificaciones de residuo de cenizas de carbón de briquetas en las propiedades físicas y mecánicas del concreto en estado fresco y endurecido.

1.4. Formulación de la hipótesis

Si incorporamos cenizas de carbón de briquetas en la elaboración de concreto, se mejorará el las propiedades físicas y mecánicas del mismo.



1.5. Justificación

Con este proyecto de investigación se posibilita la utilización de materiales reciclados como aditivos para mejorar las propiedades del concreto, considerando a las cenizas de carbón de briqueta como materia prima, estas cenizas de carbón no de piedra son desechadas y acumulados que no se le da un usos posterior, con el uso se mitigara la contaminación ambiental y a la vez se estará innovando en la producción de concreto.

1.6. Limitaciones del trabajo

1.6.1. Limitación espacial

En esta investigación se elaboró concreto con adición de cenizas de carbón, para concretos con resistencia $f'c$: 175kg/cm^2 y 210kg/cm^2 como muestra patrón, los ensayos para obtener las propiedades mecánicas de dichos concretos se realizarán en el Laboratorio de mecánica de suelos y de concreto de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Santa. Además, se tendrá en cuenta que los materiales para la elaboración de concreto como son:

- Cemento Pacasmayo
- Agregado grueso (piedra zarandeada $\frac{3}{4}$) de la cantera “Piedra Lisa”
- Agregado fino de la cantera “Piedra Liza”

1.6.2. Limitación temporal

La duración de la investigación comprenderá un lapso entre el mes de agosto hasta el mes de diciembre del año 2019.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Concreto

El concreto es el material formado por de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades resistentes y aislantes, lo que lo hace un material ideal para la construcción. (Pasquel. E, 1998-1999, p.11)

De esta definición se desprende como resultado un producto híbrido, que conjuga en menor o en mayor grado las características de los componentes, que bien proporcionados, aportan una o varias de sus propiedades para formar un material que manifiesta un comportamiento particular y original. (Pasquel. E, 1998-1999, p.11)

En nuestra actualidad el concreto es el material de construcción el de mayor uso en nuestro país y el mundo. La calidad final del concreto depende del conocimiento del material asimismo como de la experiencia profesional del ingeniero, el concreto es, en general, desconocido en mucho de sus siete grandes aspectos: naturaleza, materiales, propiedades, selección de las proporciones, procesos de puesta en obra, control de calidad e inspección, y mantenimiento de los elementos estructurales. (Rivva. E, 2000, p.8).

Los componentes principales del concreto son los agregados, el cemento y el agua, dosificados en diferentes proporciones según el diseño de mezcla, así como lo menciona Becerra Salas (2012), los agregados constituyen entre el 60% y 75% del volumen total del concreto, el cemento constituye entre el 25% y 40% del

volumen de la mezcla. El volumen del cemento ocupa entre el 7% y 15% y el agua está entre el 14% y 21%. Por otra parte, el aire atrapado varía entre el 4% y 8% del volumen total.

Figura 1: Proporciones en volumen de los componentes del concreto.

Aire = 1 % a 3 %
Cemento = 7 % a 15 %
Agua = 15 % a 22 %
Agregados = 60 % a 75 %

Fuente: Tópicos de Tecnología de Concreto, E. Pasquel Carbajal, 1998.

2.2. Cemento Portland.

El cemento es un “Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire. Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos”. (“RNE E060”, 2009, p. 26)

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. (Pasquel. E, 1998-1999, p.17)

Joseph Apsdin un constructor inglés, al patentar un proceso de calcinación de caliza arcillosa que producía un cemento que al hidratarse adquiriría según él, la misma resistencia que la piedra de la isla de Portland cerca del puerto de Dorset.

Es 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. (Pasquel. E, 1998-1999, p.17).

2.2.1 Fabricación del Cemento Portland.

La materia prima, material calizo y material arcilloso, se tritura, mezcla y muele hasta ser reducida en polvo fino. Los procedimientos de mezcla y molienda pueden efectuarse en seco o húmedo. La dosificación de los materiales debe ser la adecuada a fin de evitar perjuicio en la calidad. El polvo fino pasa a un horno rotatorio donde es calentado lentamente hasta el punto de Clínkerización; Es la zona más importante del horno rotatorio siendo este el elemento fundamental para la fabricación del cemento, se trata de un tubo cilíndrico de acero con diámetros de 4 a 5 mts. y longitudes de 70 a 80 mts. los mismos que interiormente se encuentran revestidos



interiormente con materiales refractarios para la obtención del clinker se debe alcanzar temperaturas alrededor de los 1500°C, el proceso en si es complejo se puede decir que se inicia con el ingreso del crudo descarbonatado al horno rotatorio y que por efecto del calor que genera la combustión del carbón o petróleo en un quemador situado en el extremo de la salida sufre transformaciones físicas y químicas , llegándose a obtener el producto intermedio llamado Clinker esto sucede a temperaturas del orden de los 1400 a 1450°C. El horno rotatorio de Cementos Lima alcanza una longitud de 83 mts y un diámetro de 5.25 mts, y una inclinación del 3% que permite el avance del material por deslizamiento, estos En la etapa inicial del proceso de calentado el agua y el anhídrido carbónico son expulsados. Al acercarse la mezcla a las regiones más calientes del horno producen reacciones químicas entre los constituyentes de la mezcla cruda. Durante estas reacciones se forman nuevos compuestos, algunos de los cuales alcanzan el punto de fusión. (Torre Carrillo, 2004, pp. 7)

El producto resultante, Clíner, cae a uno de los diversos tipos de enfriadores, o se deja enfriar al aire. Posteriormente se combina con un porcentaje determinado de yeso y el conjunto se muele hasta convertirlo en un polvo muy fino que se conoce como cemento portland. (Rivva Lopez, 2011, pp. 34)

A continuación se muestra un cuadro como va reaccionado el Clinker dentro del horno rotatorio:

Tabla 1: Reacción de la materia Prima del Cemento Dentro del Horno

Temperatura en el horno °C	Reacciones en el interior del Horno
110	Evaporación de la humedad(secado) de los diferentes materiales
110-450	Deshidratación de los materiales (arcillas, yeso, caoliita), eliminación del agua adsorbida.
600-750	Inicio de reacciones de los materiales deshidratados y formación en pequeñas cantidades del C_2S y compuestos intermedios como el aluminato Calcico y Ferrocalcita (CA , C_2F)
900	La caliza se ha convertido en cal viva debido a la perdida de gas carbónico ,la cal viva esta lista para reaccionar con el medio ambiente por lo cual es llevada rápidamente a la zona de sinterización.
1200	Las arcillas se empiezan a descomponer y liberan sílice , alumina y Óxidos de hierro, la Sílice reacciona con la cal y se forma el C_2S (Belita)
1300	Se forma el C_4AF liquido que actúa como fundente donde se disuelven los demás materiales , este liquido es muy adhesivo y empezara a penetrar en los poros del ladrillo refractario , aislándolo y enfriándolo con lo cual queda pegado y se inicia la formación de la costra en el horno.
1340	Los materiales disueltos en el C_4AF reaccionan formándose el C_2S e iniciándose el C_3A
1400	Se ha formado completamente el C_3A , liquido muy viscoso que le da consistencia a la costra.
1450	Se encuentran formados todos los compuestos

Fuente: Curso Básico De Tecnología Del Concreto Para Ingenieros Civiles 2004

a. Materias primas del Cemento Portland.

Las principales materias primas necesarias para la fabricación de un cemento Pórtland son:

- Materiales calcáreos: Deben tener un adecuado contenido de carbonato de calcio ($CoCa$) que será entre 60% a 80%, y no deberá tener más de 1.5% de magnesia. Aquí tenemos a las margas, cretas y calizas en general estos materiales suministran el óxido de calcio o cal.



- Materiales arcillosos: Deben contener sílice en cantidad entre 60% y 70%. Estos materiales proveen el dióxido de silicio o sílice y también el óxido de aluminio o alúmina, aquí tenemos a las pizarras, esquistos y arcillas en general.
- Minerales de fierro: Suministran el óxido férrico en pequeñas cantidades. En algunos casos éstos vienen con la arcilla.
- Yeso: Aporta el sulfato de calcio, el yeso se añade al Clinker para controlar (retardar y regular) la fragua. Sin el yeso, el cemento fraguaría muy rápidamente debido a la hidratación violenta del aluminato tricálcico y el ferro aluminato tetracálcico. (Torre Carrillo, 2004, pp. 7)

b. Composición química del Cemento.

- Los componentes químicos del cemento Pórtland se expresan por el contenido de óxidos, en porcentajes. Los principales óxidos son: la cal, sílice, alúmina y el óxido férrico, siendo el total de éstos del 95% al 97%. 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

Oxido Componente	Porcentaje Típico	Abreviatura
CaO	58% - 67%	C
SiO ₂	16% - 26%	S
Al ₂ O ₃	4% - 8%	A
Fe ₂ O ₃	2% - 5%	F
SO ₃	0.1% - 2.5%	
MgO	1% - 5%	
K ₂ O y Na ₂ O	0% - 1%	
Mn ₂ O ₃	0% - 3%	
TiO ₂	0% - 0.5%	
P ₂ O ₅	0% - 1.5%	
Pérdida x Calcinación	0.5% - 3%	

Fuente: Curso Básico De Tecnología Del Concreto Para Ingenieros Civiles 2004.

c. Compuesto Químicos del Cemento.

Durante la calcinación en la fabricación del clinker de cemento Pórtland los óxidos se combinan con los componentes ácidos de la materia prima entre si dando lugar a cuatro importantes compuestos. Los principales compuestos que constituyen aproximadamente el 90-95% del cemento, también se presentan en menores cantidades, otros compuestos secundarios.

Tabla 3: Compuestos Químicos del Cemento

Designación	Fórmula	Abreviatura	Porcentaje
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂	C ₃ S	30% a 50%
Silicato dicálcico	2CaO.SiO ₂	C ₂ S	15% a 30%
Aluminato tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	4% a 12%
Ferro aluminato tetracálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	8% a 13%
Cal libre	CaO		
Magnesia libre (Periclusa)	MgO		



Fuente: Curso Básico De Tecnología Del Concreto Para Ingenieros Civiles 2004.

d. Propiedades de los compuestos principales:

Silicato Tricálcico (C S), conocido también como alita.

- Se hidrata y endurece rápidamente
- Es el más importante de los compuestos del cemento
- Determina la rapidez o velocidad de fraguado
- Determina la resistencia inicial del cemento
- Libera gran cantidad de calor de hidratación es equivalente a 120 cal/gr.
- Este compuesto tiene mucha importancia en el calor de hidratación de los cementos.

Silicato Dicálcico (CS), conocido también como belita

- Contribuye con las resistencias a edades mayores a una semana.
- Por su porcentaje en el clinker es el segundo en importancia
- Se hidrata y 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)
- Libera gran cantidad de calor durante los primeros días de la hidratación.
- Incide levemente en la resistencia mecánica.
- Tiene baja resistencia al intemperismo (acción del hielo y deshielo)
- Tiene 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 Treta Calcico

- Reduce la temperatura de formación del clinker
- Rápida velocidad de hidratación
- 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
- Influye en el color final del cemento



El Silicato Tricálcico C_3S y el Silicato Dicálcico (C S) constituyen el 75% del cemento. Por eso la resistencia mecánica se debe a éstos dos compuestos.

e. Tipos de Cemento Portland.

Según Ana Torre (2004) en el Perú solo contamos con algunos tipos de cemento, pero a nivel mundial se dispone de los siguientes tipos de cemento portland sin adición:

- **Tipo I:** Para construcciones de concreto y mortero de uso general y cuando no se requiera propiedades específicas, se utiliza en concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos como podría ser la presencia de sulfatos en el suelo o en el agua.
- **Tipo II:** En obras donde se requiera resistencia moderada a la acción de los sulfatos (ejm. Estructuras de drenaje) y/o moderado Calor de hidratación (consecuencia de la hidratación del cemento). Se recomienda en edificaciones, estructuras industriales, puentes, obras portuarias, perforaciones y en general en todas aquellas estructuras de volumen considerable, y en climas cálidos.
- **Tipo III:** Para obras que requiera alta resistencia elevadas a edades tempranas, normalmente a menos de una semana (ejm: adelanto de la puesta en servicio) y también en obras de zonas frías su uso permite reducir el curado controlado.



- **Tipo IV:** Para Estructuras se requiera bajo Calor de Hidratación, caso de represas, centrales hidroeléctricas y obras de grandes masas de concreto, también debe tenerse en cuenta que este cemento desarrolla resistencias a una velocidad inferior a la de los otros cementos.
- **Tipo V:** Además de las cualidades del Tipo II, es recomendado para obras donde se requiera elevada resistencia a los sulfatos. Es el caso de obras portuarias expuesta al agua de mar También en canales, alcantarillas, túneles, suelos con alto contenido de sulfatos. Estos cementos desarrollan resistencias más lentamente que los cementos tipo I, incrementan su resistencia a los sulfatos.

Así mismo existen también los cementos adicionados:

- **Tipo IP y IPM :** Cementos cuya adición viene a ser la puzolana tienen uso similar al del Tipo I, y se recomienda en obras masivas o con ataques de aguas agresivas, aguas negras, en cimentaciones en todo terreno, son cementos de moderado calor de hidratación y de moderada resistencia a los sulfatos.
- **Tipo MS:** Cementos adicionados de escorias se puede emplear en todo tipo de construcciones de concreto son resistentes a la agresión química, se puede utilizar en



estructuras en ambientes y suelos húmedos-salinosos, para estructuras en cimientos y pisos. En general se puede decir que tienen moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación.

- **Tipo ICo:** Corresponde al cemento tipo I mejorado con mayor plasticidad, se puede utilizar en obras de concreto y de concreto armado en general, morteros en general, especialmente para tarrajeo y asentado de unidades de albañilería, pavimentos y cimentaciones.

En el siguiente cuadro se muestra las empresas del Perú y que tipo de cemento producen:

Tabla 4: Tipos de cemento que se producen en el Perú

EMPRESA	TIPOS DE CEMENTO QUE PRODUCE
Cementos Lima S A	Sol I, Sol II, Supercemento Atlas IP
Cementos Pacasmayo S A	Pacasmayo I, Pacasmayo II, Pacasmayo V, Pacasmayo MS-ASTM C-1157 , Pacasmayo IP, Pacasmayo ICo (COMPUESTO)
Cemento Andino S A	Andino I, Andino II, Andino V, Andino IPM
Cementos Selva	Cemento Pórtland Tipo I, Tipo II, Tipo V ,Puzolanico IP,Compuesto ICo
Yura SA	Yura I, Yura IP, Yura IPM, Cemento de Albañilería marca Estuco Flex .
Cemento Sur S A	Rumi I, Inti 1PM, Portland tipo II, Portland Tipo V.
Cemento Rioja S.A.	Cemento Pórtland Tipo IPM

Fuente: Curso Básico De Tecnología Del Concreto Para Ingenieros Civiles 2004.

f. Requisitos físicos y químicos del cemento.

Según la norma NTP 339.009 establece algunos requisitos físicos y químicos para el cemento que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Requisitos físicos NTP 339.009 para Cementos

Requisitos Físicos	Tipos					
	I	II	V	MS	IP	ICo
Resistencia la Compresión mín Kg/cm ²						
3 días	120	100	80	100	130	130
7 días	190	170	150	170	200	200
28 días	280*	280*	210	280*	250	250
Tiempo de fraguado, minutos						
Inicial, mínimo	45	45	45	45	45	45
Final, máximo	375	375	375	420	420	420
Expansión en autoclave, % máximo	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Resistencia a los Sulfatos % máximo de expansión	--	--	0.04* 14 días	0.10 6meses	0.10* 6meses	--
Calor de Hidratación, máx, KJ/Kg						
7 días	--	290*	--	--	290*	--
28 días	--	--	--	--	330*	--

Fuente: Curso Básico De Tecnología Del Concreto Para Ingenieros Civiles 2004.

Tabla 6: Requisitos Químicos NTP 339.009 para Cementos

Requisitos Químicos	Tipo					
	I	II	V	MS	IP	ICo
Óxido de Magnesio (MgO), máx, %	6.0	6.0	6.0	--	6.0	6.0
Trióxido de Azufre (SO ₃), máx, %	3.5	3.0	2.3	--	4.0	4.0
Pérdida por Ignición, máx, %	3.0	3.0	3.0	--	5.0	8.0
Residuo Insoluble, máx, %	0.75	0.75	0.75	--	--	--
Aluminato tricálcico (C ₃ A), máx, %	--	8	5	--	--	--
Álcalis equivalentes (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O), máx, %	0.6*	0.6*	0.6*	--	--	--

Fuente: Curso Básico De Tecnología Del Concreto Para Ingenieros Civiles 2004.



Tabla 7: Requisitos Físicos Opcionales

Características Físicas Opcionales	Tipo				
	I	II	III	IV	V
Falso Fraguado, % (P. Fin) minimo	50	50	50	50	50
Calor de Hidratación, máx, Cal/gr					
7 días	--	70	--	60	--
28 días	--	--	--	70	--
Resistencia la Compresión (MPa) 28 días	280	280	--	--	--
Resistencia a los sulfatos, 14 días, máx	--	--	--	--	0.04

Fuente: Curso Básico De Tecnología Del Concreto Para Ingenieros Civiles 2004.

Tabla 8: Requisitos Químicos Opcionales

Características Químicas Opcionales	Tipo				
	I	II	III	IV	V
Aluminato tricálcico (C_3A), máx, %	--	--	5 - 8	--	--
Suma ($C_3S + C_3A$), máx %	--	58	--	--	--
Álcalis equivalentes ($Na_2O + 0.658 K_2O$), máx, %	0.6	0.6	0.6	--	--

Fuente: Curso Básico De Tecnología Del Concreto Para Ingenieros Civiles 2004.



Tabla 9: Tipos de cemento cuyo requisitos para concretos expuestos a soluciones que contienen sulfatos

Exposición a sulfatos	Sulfatos solubles en agua (SO ₄) en el suelo	Sulfatos (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo Cemento	Concreto con agregado de peso normal rel. a/c máx en peso	Concreto con agregado de peso normal y ligero Resist. Comp. mínima MPa
Insignificante	0<SO ₄ <0.1	0<SO ₄ <150	--	--	--
Moderada	0.1<SO ₄ <0.2	150<SO ₄ <1500	II, IP, MS, IPM	0.50	40
Severa	0.2<SO ₄ <2.0	1500<SO ₄ <10,000	V	0.45	45
Muy severa	SO ₄ >2.0	SO ₄ >10,000	V más puzolana	0.45	45

Fuente: Curso Básico De Tecnología Del Concreto Para Ingenieros Civiles 2004.

2.2.1.1. Agregados.

Se definen como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente. Ocupan alrededor de las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total y tienen una importancia primordial en el producto final. (Pasquel Carbajal, 1998, p.69)

La denominación de inertes es relativa, porque si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características afectan notablemente el producto resultante, siendo en algunos casos tan importantes como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares de resistencia, conductibilidad, durabilidad, etc.



Están constituidos usualmente por partículas minerales de arenisca, granito, basalto, cuarzo o combinaciones de ellos, y sus características físicas y químicas tienen influencia en prácticamente todas las propiedades del concreto. (Pasquel Carbajal, 1998, p.69)

Un concreto para pavimentos requiere por lo general agregados que logren una reducción de pasta de cemento y todos efectos perjudiciales como contracción excesiva y cambios volumétricos. Para ello el agregado debe ser del mayor tamaño posible con la finalidad de reducir el área superficial. Asimismo, deben tener granulometrías completas, no parciales. (Becerra Salas, 2012, p. 99)

Se ha establecido convencionalmente la clasificación entre agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena) en función de las partículas mayores y las menores de 4.75 mm (Malla Standard ASTM #4).

Esta clasificación responde además a consideraciones de tipo práctico ya que las técnicas de procesamiento de los agregados (zarandeo, chancado) propenden a separarlos en esta forma con objeto de poder establecer un control más preciso en su procesamiento y empleo. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 72)

a. Agregado fino.

Se define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas que pasa al tamiz



ITINTEC 9.5 mm (3/8”) y que cumple con los límites establecidos en la Norma ITINTEC 400.037. (Rivva Lopez, 1992, p. 18)

El agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente. (Rivva Lopez, 1992, pp. 18-19)

Según el Rivva Lopez (1992) el agregado fino debe estar graduado dentro de los límites indicados en la norma ITINTEC 400.037 y se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 de la serie de Tyler.
- El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.
- En general, es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites:

Tabla 10: Límites granulométricos del agregado fino.

Malla	% QUE PASA
3/8"	100
N°4	95 - 100
N°8	80 - 100
N°16	50 - 85
N°30	25 - 60
N°50	10 - 30
N°100	2 - 10

(Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López - 1992)



El porcentaje indicado para las mallas N°50 y N°100 podrá ser reducido a 5% y 0% respectivamente, si el agregado es empleado en concretos con aire incorporado cuyo contenido de cemento es mayor de 225 kg/m³, o en concretos sin aire incorporado cuyo contenido de cemento es mayor de 300 kg/m³, o si se emplea un aditivo mineral para suplir la deficiencia en el porcentaje que pasa por estas mallas. (Rivva López, 2000, p. 19)

El módulo de fineza del agregado fino se mantendrá dentro del límite de más o menos 0,2 del valor asumido para la selección de las proporciones del concreto, siendo recomendable que el valor asumido este entre 2.35 y 3.15. (Rivva López, 2000, p. 19).

El agregado fino no deberá indicar presencia de materia organica cuando ella es determinada de acuerdo a los requisitos de la Norma ITINTEC 400.013. (Rivva López, 1992, p. 20)

Según el autor Rivva Lopez (1992) podrá emplearse agregado fino que no cumple con los requisitos indicados siempre que:

- La coloración en el ensayo se deba a la presencia de pequeñas partículas de carbón, o partículas similares.
- Realizado el ensayo, la resistencia a los siete días de morteros preparados con dicho agregado no sea menor del 95% de la resistencia de morteros similares preparados con otra porción de



la misma muestra de agregado fino previamente lavada con una solución al 3% de hidróxido de sodio.

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado fino no deberá exceder de los siguientes límites según Rivva López, (1992):

- Lentas de arcilla y partículas desmenuzables..... 3%
- Material más fino que la malla N°200
Concretos sujetos a abrasión.....3%
Otros concretos.....5%
- Carbón:
Cuando la apariencia superficial del concreto es impórtate..... 0,5%
Otros concretos..... 1%

b. Agregado grueso.

El agregado grueso se define como agregado grueso al material retenido en el Tamiz ITINTEC 4.75mm (N°4) y cumple los límites establecidos en la Norma ITINTEC 400.037. El agregado grueso podrá consistir de grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. El agregado grueso empleado en la preparación de concretos livianos podrá ser natural o artificial. (Rivva Lopez, 1992, p. 21)



El agregado grueso deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semi angular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa. Las partículas deberán ser químicamente estables y deberán estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humos, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas. (Rivva Lopez, 1992, p. 21)

Según el autor Rivva Lopez (1992) el agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites especificados en la Norma ITINTEC 400.037 o en la Norma ASTM C 33, los cuales está en la Tabla 7. Es recomendable tener en consideración lo siguiente:

- La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
- La granulometría seleccionada deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto, con una adecuada trabajabilidad y consistencia en función de las condiciones de colocación de las mezclas.
- La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 ½” y no más de 6% del agregado que pasa la malla de 1/4”. (p. 21)



Tabla 11: Límite de graduación del Agregado Grueso.

Tamaño Máximo Nominal	Porcentaje que pasan por las siguientes fallas							
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8
2"	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-
1 1/2"	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
1"	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
3/4"	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
1/2"	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5
3/8"	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10

(Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López - 1992)

El autor Rivva Lopez (1992) también indica que el tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor de:

- Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados o
- Un tercio del peralte de las losas o
- Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo; paquetes de barras; torones; o ductos de preesfuerzo. (p. 21)

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado fino no deberá exceder de los siguientes valores según Rivva López, (1992):

- Arcilla..... 0,25%
- Partículas deleznales..... 5,00%
- Material más fino que la malla N°200..... 1,00%



▪ Carbón y lignito:

Cuando el acabado superficial del concreto es de importancia.....	0,50%
Otros concretos.....	1,00%

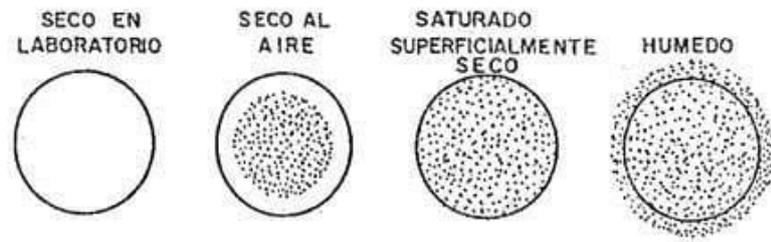
El agregado grueso empleado en concreto para pavimento, o en estructuras sometidas a procesos de erosión, abrasión o cavitación, no deberá tener una pérdida mayor del 50% en el ensayo de abrasión realizado de acuerdo a las Normas ITINTEC 400.019 ó 400.020, o a la Norma ASTM C 131. (Rivva López, 1992, p. 22).

2.2.1.1.1. Características físicas de los agregados.

a. Condiciones de Saturación.

En la figura 9 se han esquematizado las condiciones de saturación de una partícula ideal de agregado, partiendo de la condición seca hasta cuando tiene humedad superficial, pudiéndose asimilar visualmente los conceptos de saturación en sus diferentes etapas, que servirán durante el desarrollo posterior del presente capítulo. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 74)

Figura 2: Condiciones de saturación del agregado.



Fuente: Tecnología de Concreto, Flavio Abanto, 1995

b. Peso Específico.

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. Las Normas ASTM C-127 y C-128 establecen el procedimiento estandarizado para su determinación en laboratorio, distinguiéndose tres maneras de expresarlo en función de las condiciones de saturación. Hay que tomar en cuenta que las expresiones de la norma son adimensionales, luego hay que multiplicarlas por la densidad del agua en las unidades que se deseen para obtener el parámetro a usar en los cálculos. Su valor para agregados normales oscila entre 2,500 y 2,750 kg/m³. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 74)

c. Peso Unitario.

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas, está influenciado por la manera en que se acomodan



estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo.

La Norma ASTM C-29, define el método estándar para evaluarlo, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8" en 3 capas. El valor obtenido, es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezclas para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 74)

“El valor del peso unitario para agregados normales oscila entre 1500 y 1700 kg/m³”. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 76)

d. Porcentaje de vacíos.

Es la medida del volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados. Depende también del acomodo entre partículas, por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario.

La misma norma ASTM C-29 indicada anteriormente establece la fórmula para calcularlo, empleando los valores de peso específico y peso unitario estándar. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 76)

$$\% \text{ de Vacíos} = 100 \left[\frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right]$$



Donde:

S = Peso específico de masa

W = Densidad de agua

M = Peso unitario compactado seco

e. Absorción.

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados pues siempre queda aire atrapado. Tiene importancia pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias.

Las normas ASTM C-127 y 128 ya mencionadas establecen la metodología para su determinación expresada en la siguiente fórmula. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 76)

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso S.S.S} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}}$$

f. Porosidad.

Es el volumen de espacios dentro de las partículas de los agregados. Tiene una gran influencia en todas las demás propiedades de los agregados, pues es representativa de la



estructura interna de las partículas. No hay un método estándar en ASTM para evaluarla, sin embargo, existen varias formas de determinación por lo general complejas y cuya validez es relativa. Una manera indirecta de estimarla es mediante la determinación de la absorción, que da un orden de magnitud de la porosidad normalmente un 10% menor que la real, ya que como hemos indicado en el párrafo anterior, nunca llegan a saturarse completamente todos los poros de las partículas.

Los valores usuales en agregados normales pueden oscilar entre 0 y 15 % aunque por lo general el rango común es del 1 al 5 %. En agregados ligeros, se pueden tener porosidades del orden del 15 al 50%. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 77)

g. Humedad.

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. ES una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 77)



2.2.1.1.2. Características Resistentes.

a. Resistencia.

Capacidad de asimilar la aplicación de fuerzas de compresión, corte, tracción y flexión. Normalmente se mide por medio de la resistencia en compresión, para lo cual se necesita ensayar testigos cilíndricos o cúbicos de tamaño adecuado al equipo de ensayo, que se perforan o cortan de una muestra lo suficiente grande. La resistencia en compresión está inversamente relacionada con la porosidad y la absorción y directamente con el peso específico. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 78)

Agregados normales de peso específico entre 2.5 a 2.7, tienen resistencias en compresión del orden de 750 a 1200 kg/cm².

Los agregados ligeros con peso específico entre 1.6 a 2.5 usualmente manifiestan resistencias de 200 a 750 kg/cm².

La resistencia del agregado condiciona en gran medida la resistencia del concreto, por lo que es fundamental el evaluarla directa o indirectamente cuando se desea optimizar la calidad de los concretos. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 78)

b. Tenacidad.

Se denomina así en general a la resistencia de impacto. Está más relacionada con la sollicitación en flexión que en compresión, así como la angularidad y la aspereza de la superficie. Tiene trascendencia en las propiedades del concreto ante impactos, que



son importantes en términos prácticos, al momento de evaluar las dificultades en el procesamiento por chancado del material. Su estimación es más cualitativa que cuantitativa. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 78)

c. Dureza

Es la resistencia al desgaste por la acción de unas partículas sobre otras o por agentes externos. En los agregados para concreto se cuantifica por medio de la resistencia a la abrasión en la Máquina de Los Ángeles, que consta de un cilindro metálico donde se introduce el agregado conjuntamente con 12 esferas de acero de 46.8 mm. De diámetro y entre 390 y 445 gr. De peso cada una, con un peso total de $5,000 \pm 25$ gr. Haciéndose girar el conjunto un cierto número de revoluciones (100 o 500) que provocan el roce entre partículas, y de las esferas sobre la muestra provocando el desprendimiento superficial de material el cual se mide y expresa en porcentaje. Las normas ASTM aplicables son la C-131 y C-535. Agregados con altos valores de desgaste a la abrasión ($\geq 50\%$) producen concretos con características resistentes inadecuadas en la mayoría de casos. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 79)



2.2.1.1.3. Módulo de fineza de los agregados.

Es un concepto sumamente importante establecido por Duff Abrams en el año 1925 y se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie Standard hasta el tamiz N° 100 y esta cantidad se divide entre 100. El sustento matemático del Módulo de Fineza reside en que es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica. Debe entenderse muy en claro que es un criterio que se aplica tanto a la piedra como a la arena, pues es general y sirve para caracterizar cada agregado independientemente o la mezcla de agregados en conjunto. La base experimental que apoya al concepto de Módulo de Fineza es que granulometrías que tengan igual M. F. independientemente de la gradación individual, requieren la misma cantidad de agua para producir mezclas de concreto de similar plasticidad y resistencia, lo que lo convierte en un parámetro ideal para el diseño y control de mezclas. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 92)

2.2.1.2. Agua.

El autor Pasquel Carbajal (1998) afirma que el agua cumple 3 funciones principales en la elaboración de la mezcla de concreto.

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.



- Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

Por lo tanto, la cantidad de agua empleada en el concreto es por un tema de trabajabilidad más que por la necesaria para la hidratación del cemento.

Está prohibido el empleo de aguas ácidas; calcáreas; minerales; carbonatadas; aguas provenientes de minas o relaves; aguas que contengan residuos minerales o industriales; aguas con un contenido de sulfatos mayor del 1%; aguas que contengan algas, materia orgánica, humus, o descargas de desagües; aguas que contengan azúcares o sus derivados. (Rivva López, 1992, p. 23)

“El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la norma ITINTEC 339.088 y ser, de preferencia, potable”. (Rivva Lopez, 1992, p. 23)



Tabla 12 Límites permisibles para agua de mezcla y de curado según la norma ITINTEC 339.088.

Descripción	Límite permisible
1) Sólidos en suspensión	5,000 p.p.m. máximo
2) Materia orgánica	3 p.p.m. máximo
3) Alcalinidad (NaHCO_3)	1,000 p.p.m. máximo
4) Sulfato (Ión SO_4)	600 p.p.m. máximo
5) Cloruros (Ión Cl^-)	1,000 p.p.m. máximo
6) pH	5 a 8

Fuente: Tópicos de Tecnología de Concreto, Pasquel Carbajal, 1998.

El agua para el curado, en general, los mismos requisitos que se exigen para el agua de mezcla deben ser cumplidos por las aguas para curado, y por otro lado en las obras es usual emplear la misma fuente de suministro de agua tanto para la preparación como para el curado del concreto. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 65)

2.2.2. Propiedades del Concreto.

2.2.2.1. Trabajabilidad.

Según (Torre 2004) define a la trabajabilidad del concreto como la facilidad que tiene el concreto para ser mezclado, manipulado y puesto en obra, con los medios de compactación del que se disponga.

La trabajabilidad depende de:



- Dimensiones del elemento.
- Secciones armadas.
- Medios de puesta en obra.

Habrà una mayor trabajabilidad cuando:

- Contenga más agua.
- Repercute en la resistencia (Baja).
- Más finos.
- Agregados redondeados.
- Más cemento.
- Fluidificantes / plastificantes.

2.2.2.2. Permeabilidad.

A menos a/c se obtienen mezclas menos permeables. La disminución de la permeabilidad aumenta la resistencia a los ciclos de hielo – deshielo, la penetración de sustancias dañinas como cloruros y sulfatos, entre otros. (Becerra Salas, 2012, p. 91)

2.2.2.3. Resistencia.

La resistencia a compresión ($f'c$) es la resistencia a 28 días a cara axial lograda en especímenes de concreto. Se pueden emplear otras edades como mecanismos de control de la ganancia de resistencia, siendo por ejemplo a 7 días la que representa aproximadamente el 75% de la resistencia a 28 días. (Becerra Salas, 2012, p. 89)



2.2.2.4. Durabilidad.

El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de los productos químicos y desgaste a los cuales estará sometido en el servicio. Gran Parte de los daños por intemperie sufrido por el concreto puede atribuirse a los ciclos de congelación y descongelación. La resistencia dl concreto a esos daños puede mejorarse aumentando la impermeabilidad incluyendo de 2 a 6% de aire incorporado o aplicando un revestimiento protector a la superficie (Abanto 1997, p. 57).

2.2.2.5. Exudación.

Se define como el ascenso de agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de solidos este fenómeno se presenta después de que el concreto ha sido colocado en los encofrados.

La exudación puede ser el producto de una mala dosificación de la mezcla un exceso de agua en la misma de la utilización de aditivos y de la temperatura en la medida en que a mayor temperatura mayor es la velocidad de exudación.

La exudación es perjudicial para el concreto, pues como consecuencia de este fenómeno la superficie de contacto durante la colocación de una capa sobre otra puede disminuir su resistencia



debido al incremento de la relación agua cemento en esta zona. Como producto del ascenso de una arte del agua de mezclado su puede obtener un concreto poroso y poco durable. (Abanto Castillo, 2007, p. 54)

2.2.2.6. Elasticidad.

El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro particularmente importante para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado. La predicción del mismo se puede efectuar a partir de la resistencia a compresión o flexotracción, a través de correlaciones establecidas. (Becerra Salas, 2012, p. 93)

El módulo elástico es clave en el desempeño del concreto como parte de la estructura del pavimento. En general, el módulo elástico del concreto depende del tipo de agregado grueso. Por lo tanto, para una misma resistencia, el concreto que posea el menor módulo elástico tendrá un mejor comportamiento ante el agrietamiento, sin embargo, al tener menor módulo elástico las deflexiones serán mayores y se favorecerá el escalonamiento. Es necesario tener en cuenta que el mejor mecanismo de control del escalonamiento es el empleo de pasadores. (Becerra Salas, 2012, pp. 93-94)



2.2.2.7. Escurrimiento plástico.

Según el autor Rivva Lopez (1992) el escurrimiento plástico puede ser definido como “el alargamiento o acortamiento que sufre una estructura de concreto como consecuencia de una sollicitación uniforme y constante de tracción o compresión respectivamente”, así como también indica que “la magnitud depende de la resistencia del concreto en el instante en que comienza a actuar la sollicitación permanente”. (p. 43)

2.2.2.8. Dilatación térmica.

Las variaciones de temperatura en el concreto producen cambios en su volumen induciendo esfuerzos adicionales que, al superar la resistencia a tracción del concreto, producen agrietamiento. Las variaciones de temperatura pueden ser producto de la reacción química de hidratación propia del cemento, y/o a las condiciones ambientales. El coeficiente de expansión térmica del concreto es del orden de $7 \text{ a } 11 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$, y es el que condiciona la capacidad de deformación por temperatura. (Becerra Salas, 2012, p. 94)

2.2.3. Mezclado del Concreto

Se debe tener cuidado para lograr que la mezcla de la pasta con los agregados se logre de una manera eficiente, es decir, lograr una mezcla homogénea. Para ello, la secuencia de mezclado de los insumos desempeña un rol protagónico. También es necesario contar con equipos



que puedan lograr esta característica en la mezcla. La norma ASTM C 94 sugiere una secuencia de mezclado, tiempos mínimos de batido y certificaciones que los equipos mezcladores deben garantizar. El concreto recién mezclado debe ser plástico y capaz de ser moldeado. En la mezcla, los agregados son envueltos por la pasta y mantenidos en suspensión. No deben segregarse durante su transporte ni vaciado, y cuando el concreto endurece debe formar una mezcla que sea lo más uniforme posible. Este punto debe garantizarse especialmente para mezclas destinadas a pavimentos de concreto, recordando que se utilizarán agregados del máximo tamaño posible, y que, por ello, son más propensos a la segregación. (Becerra Salas, 2012, pp. 85-86)

2.2.4. Diseño de mezcla de concreto.

El diseño de mezclas de concreto, es conceptualmente la aplicación técnica y practica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, para lograr un material resultante que satisfaga de la manera más eficiente los requerimientos particulares del proyecto constructivo. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 171)

El comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en algunas tablas, que le permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica de concreto. (Vizconde Poémape, s.f., párr. 1)



2.2.5. Cenizas Volante de Carbón

La norma ASTM-C-618-08 define el término ceniza volante como: “El residuo finamente dividido que resulta de la combustión del carbón molido o en polvo, y que es transportado por los gases de combustión”.

Se puede definir la ceniza volante como un subproducto de la combustión de las briquetas de carbón en las ladrilleras de la localidad de Santa para la producción de fuego directo para la cocción de ladrillos de arcilla.

La norma ASTM-C-618-08 divide en tres los tipos de ceniza volante:

Clase N: Puzolanas naturales calcinadas o en crudo que cumplen con los requisitos aplicables para la clase como los dados aquí, tal como tierras diatomáceas, horstemos o esquistos opalinos, tobas y cenizas volcánicas o piedra pómez, calcinadas o no; y varios materiales que requieren calcinación para inducir propiedades satisfactorias, como algunas arcillas y esquistos.

Clase F: Ceniza volante que cumple con los requisitos aplicables para esta clase como los dados aquí. Esta clase de ceniza volante tiene propiedades puzolánicas.

Clase C: Ceniza volante que cumple con los requisitos aplicables para esta clase como los dados aquí. Esta clase de ceniza volante, además de poseer propiedades puzolánicas, también tiene algunas propiedades cementicias.



2.2.6. Composición de la Ceniza Volante de Carbón

Su composición química y mineralógica depende principalmente del contenido de minerales no combustibles que posee el carbón, y de las reacciones ocurridas durante el proceso de combustión (M.C. Alonso et al. 1995).

2.2.7. Propiedades de la Ceniza Volante de Carbón.-

De acuerdo con M.C. Alonso et al. (1995) las cenizas volantes presentan las siguientes propiedades:

Capacidad reactiva, lo que las hace aptas para múltiples aplicaciones. Otra de sus propiedades es la puzolánicas e hidráulica, aunque se necesita de un período más o menos largo de tiempo para que se manifieste su reactividad puzolánica.

Las cenizas volantes aumentan la trabajabilidad del material en estado plástico, debido a un aumento en la dispersión de las partículas del sistema. Las cenizas volantes en los morteros disminuyen las expansiones asociadas a la reacción árido-álcalis, disminuyendo la pérdida por durabilidad.

El contenido de agua libre (que no reacciona con el cemento) es mayor en presencia de cenizas volantes a primeras edades, y por lo tanto la porosidad del sistema también será mayor. Sin embargo, dado que las cenizas volantes aumentan la trabajabilidad, es posible reducir la relación agua / cemento, contrarrestando la mayor porosidad.



Las resistencias mecánicas al utilizar cenizas volantes serán menores en las primeras edades, comparadas con las alcanzadas en cementos Portland. Las cenizas actúan como un diluyente inerte, durante el tiempo de incubación de la reacción puzolánica. A edades largas se produce un refinamiento de la estructura porosa debido a la evolución de la actividad puzolánica.

Las cenizas volantes reducen el calor de hidratación en el cemento debido al menor contenido de alita (C3S) procedente del clínker Portland. Este compuesto es el responsable en su mayor parte del calor desprendido durante la hidratación del cemento Portland. La reacción puzolánica también es exotérmica, pero su desprendimiento es progresivo en el tiempo.

Las cenizas volantes incorporadas al cemento mejoran su durabilidad en determinados ambientes sulfatados y de agua de mar. Esto se debe a una mayor impermeabilidad y a la reducción en el contenido de portlandita (SC3). Esto último, inhibe la formación de etringita expansiva. El aumento en la impermeabilidad se debe a que los productos formados durante la actividad puzolánica se depositan en el interior de los poros capilares interconectados, dificultando la penetración de los iones sulfato y cloruro.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS



CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Método de investigación

El método más adecuado para este tipo de investigación es el Experimental, en esencia se trata de analizar el comportamiento del concreto añadiendo diferentes porcentajes para Chimbote, de tal modo que se pueda llegar a establecer el porcentaje óptimo de cenizas de briquetas que será utilizado en el concreto hidráulico. Se trabajó en el laboratorio para luego obtener respuestas con el uso de fórmulas y procesadores de datos, para luego formular los cuadros de resultados.

3.2. Universo o Población

La población muestral es el distrito de Chimbote.

3.3. Alcance de estudio

El trabajo comprende la determinación del porcentaje óptimo de ceniza de briqueta en la elaboración de concreto para en el distrito de Chimbote.

3.4. Obtención en laboratorio de muestras representativas

Procedimiento

Se coloca la muestra sobre una superficie plana, dura y limpia, donde no pueda haber pérdida de material ni contaminación con materias extrañas.

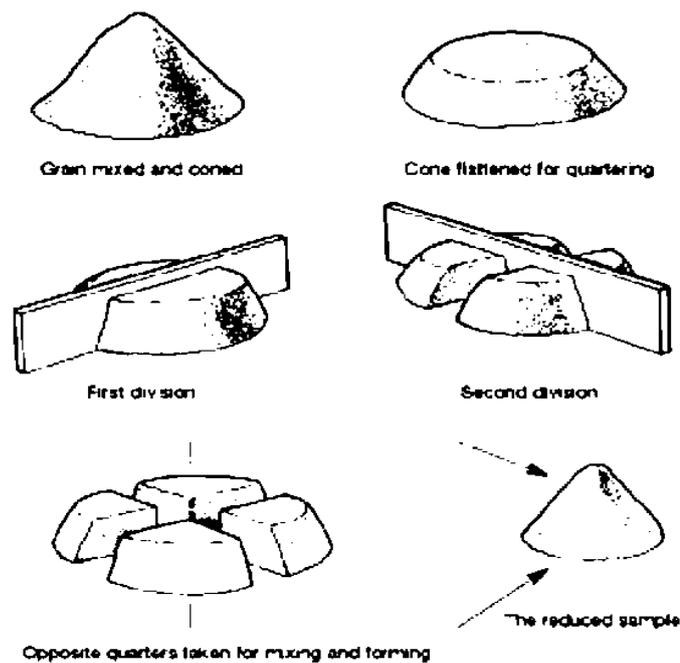
Se mezcla el material completamente traspaleando toda la muestra en una pila cónica, depositando cada paleada sobre la anterior. Por medio de la pala se ejerce

presión sobre el vértice; se aplanara con cuidado la pila hasta que se obtenga un espesor y un diámetro uniforme.

Se divide la pila aplanada en cuatro partes iguales con la pala o la cuchara de albañil.

Se eliminan dos de las partes diagonalmente opuestas. Se mezcla el material restante y se cuartea sucesivamente hasta reducir la muestra al tamaño requerido para las pruebas.

Figura 3: Procedimiento de obtención de muestras representativas.



Fuente: El cuarteo, Silvana Quijandría Casanova, 2016.



3.5. Peso unitario de los agregados

3.5.1. Peso unitario suelto

Procedimiento

El recipiente de medida se llena con una pala o cuchara, que descarga el agregado desde una altura no mayor de 50 mm (2”) hasta que rebose el recipiente.

Eliminar el agregado sobrante con una regla.

Determinar el peso del recipiente de medida más el contenido y el peso del recipiente, registrar los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).

3.5.2. Peso unitario compactado

Procedimiento.

Llenar el recipiente con el agregado en tres capas de igual volumen aproximadamente. Cada una de las capas se compacta colocando el recipiente con el agregado sobre una base firme y se inclina, hasta que el borde opuesto al punto de apoyo, diste unos 50 mm (2”) de la base. Luego dejar caer, lo que produce un golpe seco y repetir la operación inclinando el recipiente por el borde opuesto.

Cada capa se compacta dejando caer el recipiente 50 veces de la manera descrita, 25 veces cada extremo.

Compactada la última capa, enrasar la superficie del agregado con una regla, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación con el plano de enrase. Determinar el peso del recipiente de



medida lleno y peso del recipiente, registrar los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1lb).

3.6. Análisis granulométrico

Procedimiento.

Secar la muestra a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta obtener peso constante.

Nota 1. Cuando se desea resultados rápidos, no es necesario secar el agregado grueso para el ensayo debido que el resultado es poco afectado por el contenido de humedad a menos que:

- a) El Tamaño Máximo nominal sea menor de 12 mm (1/2”)
- b) El agregado grueso tenga una cantidad apreciable de finos menos que el tamiz N° 4,75 mm (N°4).
- c) El agregado grueso sea altamente absorbente (por ejemplo los agregados ligeros.)
- d) Las muestras también se pueden secar a temperaturas altas usando planchas calientes sin que afecten resultados, si se mantienen los escapes de vapor sin generar presiones suficientes para fracturar las partículas y temperaturas que no sean mayores para causar rompimiento químico del agregado.

Seleccionar la serie de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material a ensayar. Encajar los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura, y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Efectuar el tamizado de forma manual o por medio de un tamizador mecánico, durante un período adecuado.



Limitar la cantidad de material en un tamiz determinado, de forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación del tamizado.

Continuar el tamizado por un período suficiente, de tal forma que después de terminado, no pase más del 1% de la cantidad en peso retenida en cada tamiz, durante un (1) minuto de tamizado manual como sigue: sostener individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo bien ajustado, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Golpear el filo del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente 1/6 de vuelta en cada intervalo de 25 golpes.

Determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz.

El peso total del material después del tamizado, debe ser verificado con el peso original de la muestra ensayada. Si la cantidad difiere en más del 0.3% del peso seco original de la muestra, el resultado no debe ser usado con fines de aceptación.

3.7. Peso específico y absorción

3.7.1. Peso específico y absorción del agregado fino

Procedimiento

Introducir en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, llenar parcialmente con agua a una temperatura de 23 ± 2 °C hasta alcanzar la marca de 500 cm³. Agitar el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual o mecánicamente.



Manualmente rodar, invertir y agitar el frasco para eliminar todas las burbujas de aire.

Nota 1. Cerca de 15 a 20 minutos son normalmente requeridos para eliminar las burbujas de aire por método manual.

Mecánicamente, extraer las burbujas de aire por medio de una vibración externa de manera que no degrade la muestra.

Después de eliminar las burbujas de aire, ajustar la temperatura del frasco y su contenido a 23 ± 2 °C y llenar el frasco hasta la capacidad calibrada.

Determinar el peso total del frasco, espécimen y agua.

Remover el agregado fino del frasco, secar en la estufa hasta peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, enfriar a temperatura ambiente por $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{2}$ hora y determinar el peso.

3.7.2. Peso específico y absorción del agregado grueso

Procedimiento

Secar la muestra a peso constante, a una temperatura de $110 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$, ventilar en lugar fresco a temperatura ambiente de 1 a 3 horas para muestras de ensayo de tamaños máximos nominales de 37,5 mm ($1 \frac{1}{2}$ pulg) o mayores para tamaños más grandes hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente 50 °C). Inmediatamente sumergir el agregado en agua a una temperatura ambiente por un período de $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$.



Nota 1. Cuando se ensaya agregado grueso de tamaños máximos nominales mayores, sería conveniente realizar el ensayo en dos o más submuestras, y los valores obtenidos combinarlos por cómputo.

Cuando los valores de peso específico y la absorción van a ser usados en proporcionamiento de mezclas de hormigón (concreto) en los cuales los agregados van a ser usados en su condición natural de humedad, el requerimiento inicial de secado a peso constante puede ser eliminada y, si las superficies de las partículas de la muestra van a ser mantenidas continuamente húmedas antes de ensayo, el remojo de 24 h puede ser eliminado.

Remover la muestra del agua y hacerla rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, aunque la superficie de las partículas aún parezca húmeda. Secar separadamente en fragmentos más grandes. Se debe tener cuidado en evitar la evaporación durante la operación del secado de la superficie. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca. Se determina éste y todos los demás pesos con aproximación de 0,5 g o al 0,05% del peso de la muestra, la que sea mayor.

Después de pesar, se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso en agua a una temperatura entre $23\text{ °C} \pm 1,7\text{ °C}$, densidad $997 \pm 2\text{ kg/m}^3$. Tener cuidado de remover todo el aire atrapado antes del pesado sacudiendo el recipiente mientras se sumerge.



Secar la muestra hasta peso constante, a una temperatura entre $100\text{ }^{\circ}\text{C} + 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se deja enfriar hasta la temperatura ambiente, durante 1 a 3 h o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) y se pesa.

3.8. Contenido de humedad

Procedimiento

Se colocó la muestra en una tara y se determinó el peso de la tara y material húmedo usando una balanza seleccionada de acuerdo al peso del espécimen y se registró este valor.

Se colocó el material húmedo en el horno y se secó el material hasta alcanzar una masa constante a $110 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente.

Luego que el material se secó a peso constante, se removió la tara del horno. Se determinó el peso de la tara y el material secado al horno usando la misma balanza usada en este ensayo. Se registró este valor.

Se obtuvo un Contenido de Humedad en el Agregado Fino de 0.47 y en el Agregado Grueso de 0.24.

3.9. Diseño de mezcla del concreto

3.9.1. Selección de la resistencia promedio ($f'c$)

Las mezclas de concreto deben diseñarse para una resistencia promedio cuyo valor es siempre superior al de la resistencia de diseño especificada por el ingeniero proyectista.



La diferencia entre ambas resistencias está dada y se determina en función del grado de control de la uniformidad y de la calidad del concreto realizado por el contratista y la inspección.

Nuestro $f'c$ fue de 280kg/cm^2 resistencia óptima y requerida para el diseño de pavimentos.

3.9.2. Cálculo de la desviación estándar

Basados en el autor Pasquel Carbajal (1998), para el cálculo de la desviación estándar se debe evaluar si se dispone de resultados de al menos 30 ensayos (60 testigos) consecutivos de un tipo de concreto o de dos grupos de resultados no consecutivos que en total acumulen al menos 30 ensayos de concreto que sean representativo de materiales, condiciones de obra y control de calidad similares a los del proyecto que se ejecutará, se puede aplicar en las fórmulas el valor de D_s calculando en base a estos datos, siempre que el orden de magnitud de las resistencias disponibles no difieran en más de 70 kg/cm^2 con el $f'c$ especificado.

Cuando no se dispone de al menos 30 ensayos, el reglamento considera que el valor de D_s que se calcule, deberá incrementarse de acuerdo a los valores de la tabla 10 para poder emplearse en las fórmulas.

Cuando no se dispone de ninguna información estadística, el ACI-318 indica que deben utilizarse los valores de $f'cr$ de la tabla 11.

La norma establece que se podrán reducir los valores de $f'cr$ asumidos inicialmente, cuando al disponerse de resultados de al menos 30 ensayos (60 testigos), el promedio excede el valor de $f'cr$ inicial, para lo cual se



recalculará en función a la desviación estándar real que se esté obteniendo.

(p. 163)

Tabla 13: Incremento de valores de desviación estándar cuando se tiene menos de 30 ensayos.

Número de Ensayos	Factor de incremento
Menos de 15	Usar tabla 11
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

Fuente: Tópicos de tecnología de concreto, Pasquel Carbajal, 1998.

Tabla 14: $f'c$ aplicable cuando no se dispone de resultados para definir la desviación estándar.

$f'cr$ Especificado	$f'cr$ (kg/cm ²)
210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
Mayor de 350	$f'c + 98$

Fuente: Tópicos de tecnología de concreto, Pasquel Carbajal, 1998.

Para las condiciones indicadas la desviación estándar se calculará a partir de los resultados con que se cuenta, aplicando la siguiente ecuación:

$$Ds = \sqrt{\frac{(X_1 - X)^2 + (X_2 - X)^2 + \dots + (X_n - X)^2}{n - 1}}$$

Dónde:



D_s = Desviación estándar.

n = Numero de ensayos de la serie.

$X_1, X_2 \dots X_n$, = Resultados de resistencia de muestras de ensayos individuales

X = Promedio de todos los ensayos individuales de una serie.

Si se utiliza dos grupos de registros de resultados de muestras de ensayo para totalizar por lo menos 30, la desviación estándar a ser empleada en el cálculo de la resistencia promedio, deberá ser el promedio estadístico de los valores calculados para cada grupo de ensayos.

Para determinarla se utilizará la siguiente ecuación:

$$\check{S} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)(s_1)^2 + (n_2 - 1)(s_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Dónde:

\check{S} = Promedio estadístico de las desviaciones estándar cuando se utiliza los registros de ensayo para calcular la desviación estándar, en kg/cm^2

S_1, S_2 = Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2 respectivamente, en kg/cm^2 .

n_1, n_2 = Numero de ensayos en cada grupo, respectivamente.

3.9.3. Cálculo de la resistencia promedio requerida (f'_{cr})

El ACI-318 establece que el valor f'_{cr} a usarse será el mayor que resulte de la aplicación de las fórmulas:

$$f'_{cr} = f'c + 1.34 D_s \dots \dots \dots (1)$$

$$f'_{cr} = f'c - 35 + 2.33 D_s \dots \dots \dots (2)$$



Dónde:

D_s = Desviación estándar, en kg/cm^2

La ecuación (1) da una probabilidad de 1 en 100 de que el promedio de tres resultados de ensayos esté por debajo de la resistencia de diseño especificada. La ecuación (2) da una probabilidad similar de que los resultados individuales de ensayos estén $35 \text{ kg}/\text{cm}^2$ por debajo de la resistencia de diseño especificada.

Cuando no se cuente con un registro de resultados de ensayos que posibilite el cálculo de desviación estándar de acuerdo a lo indicado anteriormente, la resistencia promedio requerida deberá ser determinada empleando los valores de la Tabla 11.

Según lo especificado, el cálculo de nuestra resistencia promedio requerida es de $364 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

3.9.4. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

La norma ITINTEC 400.037 define al “Tamaño Máximo” como aquel que “corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso”.

La norma ITINTEC 400.037 define al “Tamaño Máximo Nominal” como aquel que “corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido”.



La Tabla 12 presenta las curvas granulométricas que corresponden a tamaños nominales comprendidos entre 2” y 3/8”. Esta tabla corresponde a la clasificación de la Norma ASTM C 33.

Tabla 15: Valores requeridos para la granulometría del agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal	Porcentaje que pasan por las siguientes Mallas							
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8
2"	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-
1 1/2"	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
1"	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
3/4"	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
1/2"	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5
3/8"	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10

Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López

Las Normas de Diseño Estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que sea económicamente disponible, siempre que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura. El ACI 318 y la Norma Técnica de Edificación E. 060 prescribe que el agregado grueso no deberá ser mayor de:

- 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrados;
- 1/3 del peralte de la losa; o



- 3/4 del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de refuerzo.

En nuestro caso El Tamaño Máximo Nominal según nuestro agregado fue de 3/4”.

3.9.5. Selección del asentamiento (slump)

La consistencia es aquella propiedad del concreto no endurecido que define el grado de humedad de la mezcla. De acuerdo a su consistencia, las mezclas de concreto se clasifican en:

- Mezclas secas; aquellas cuyo asentamiento esta entre cero y dos pulgadas (0 mm a 50mm).
- Mezclas plásticas; aquellas cuyo asentamiento esta entre cero y dos pulgadas (75 mm a 100mm).
- Mezclas fluidas; aquellas cuyo asentamiento esta entre cero y dos pulgadas (mayor de 125mm).

Si las especificaciones de obra no indican la consistencia, ni asentamiento requeridos para la mezcla a ser diseñada, utilizando la tabla 13 podemos seleccionar un valor adecuado para un determinado trabajo que se va a realizar. Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser colocadas eficientemente.

Tabla 16: Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.

Tipo de construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
- Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
- Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
- Vigas y muros armados	4"	1"
- Columnas de edificios	4"	1"
- Losas y pavimentos	3"	1"
- Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López

El asentamiento recomendado para nuestra investigación fue de máximo 4”.

3.9.6. Selección de agua de mezclado y contenido de aire

La selección del volumen unitario de agua se refiere a la determinación de la cantidad de agua que se debió incorporar a la mezcladora, por unidad cubica de concreto, para obtener una consistencia determinada cuando el agregado está al estado seco. La tabla 14 ha sido preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI. Ella permitió seleccionar el volumen unitario de agua, para agregados al estado seco, en concretos preparados con y sin aire incorporado; teniendo como factores a ser considerados la consistencia que se desea para la mezcla y el tamaño máximo nominal del agregado grueso seleccionado.

Tabla 17: Volumen unitario de agua

Asentamiento	Agua en 1/m ³ , para los tamaños máx. Nominales 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	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
	Concretos 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	-

Esta tabla ha sido confeccionada por el comité 211 del ACI

Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López

Los valores de esta tabla se emplearán en la determinación del factor cemento en mezclas preliminares de prueba. Son valores máximos y corresponde a agregado grueso de perfil angular y granulometría comprendida dentro de los límites de la Norma ASTM C 33.

Como se observa, la Tabla 17 no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados. Debemos hacer presente que estos valores tabulados son lo suficientemente aproximados para una primera estimación y que,



dependiendo del perfil, textura y granulometría de los agregados, los valores requeridos de agua de mezclado pueden estar algo por encima o por debajo de dichos valores. Al mismo tiempo, podemos usar la Tabla 15 que ha sido preparada, en su oportunidad, por el Departamento de Concreto del Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Esta tabla permitió calcular el volumen unitario de agua, tomando en consideración, además de la consistencia y el tamaño máximo nominal del agregado, el perfil del mismo. Los valores de las Tablas corresponden a mezclas sin aire incorporado y debió ser ajustado en función del porcentaje de absorción y contenido de humedad de los agregados fino y grueso.

3.9.7. Selección de la relación agua/cemento (a/c)

Desde que la mayoría de las propiedades deseables en el concreto endurecido dependen de la calidad de la pasta, producto final del proceso de hidratación del cemento, se considera que una de las etapas fundamentales en la selección de las proporciones de una mezcla de concreto es la elección de la relación agua-cemento más adecuada.

La relación agua-cemento de diseño, que es el valor a ser seleccionado de las Tablas 16 y 17, se refiere a la cantidad de agua que intervino en la mezcla cuando el agregado está en condición de saturado superficialmente seco, es decir q no toma ni aporta agua. La relación agua-cemento efectiva se refiere a la cantidad de agua de la mezcla cuando se tiene en consideración la condición real de humedad del agregado.



Existen dos criterios (por resistencia, y por durabilidad) para la selección de la relación a/c , de los cuales se elegirá el menor de los valores, con lo cual se garantiza el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones. Es importante que la relación a/c seleccionada con base en la resistencia satisfaga también los requerimientos de durabilidad.

a. Por resistencia. La selección de la relación agua-cemento por resistencia se hace partiendo del criterio de que esta propiedad es la más fácilmente mensurable y que, dentro de ciertas limitaciones, está regulada por la relación de la cantidad de agua a la cantidad de cemento en la unidad cubica de mezcla.

La Tabla 18 es una adaptación confeccionada por el Comité 211 del ACI. Esta tabla de las relaciones agua-cemento en peso máximas permisibles para diferentes valores de la resistencia promedio, ya sea que se trate de concretos sin o con aire incorporado.



Tabla 18: Relación Agua/cemento por Resistencia

f'cr (28 días)	Relación agua-cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	-
450	0.38	-

Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López

b. Por durabilidad. Este capítulo tiende a enfatizar la importancia que el diseñador considere, además de los de resistencia en compresión, los requisitos de durabilidad antes de proceder a seleccionar las proporciones finales de la mezcla de concreto y el espesor del recubrimiento del acero de refuerzo.

La Norma Técnica de Edificación E.060 prescribe que, si se desea un concreto de baja permeabilidad, o el concreto ha de estar sometido a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda. Se deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla 19.



Tabla 19: Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sometida a condiciones especiales de exposición.

Condiciones de exposición	Relación agua/cemento máximo
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce.	0.5
b) Expuesto a agua de mar o aguas saladas.	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales.	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.	0.45
b) Otros elementos.	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salubres, neblina o rocío de esta agua.	0.40

(*) La resistencia $f'c$ no deberá ser menor de 245 kg/cm² por razones de durabilidad.

Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López



3.9.8. Cálculo del contenido de cemento

Conocidos el volumen unitario de agua por unidad de volumen del concreto y la relación agua-cemento seleccionada, se pudo determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto mediante el simple expediente de dividir el volumen unitario de agua, expresado en litros por metro cubico, entre la relación agua-cemento, obteniéndose el número de kilos de cemento de la unidad cúbica de concreto.

3.9.9. Selección del agregado

La selección de las proporciones de los agregados fino y grueso en la unidad cúbica de concreto tiene por finalidad obtener una mezcla en la que, con un mínimo contenido de pasta, se puedan obtener las propiedades deseadas en el concreto.

Para ellos es deseable que la granulometría total de las partículas de agregado sea tal que el volumen de vacíos, o espacios entre partículas, sea mínimo.

Se determinó el contenido de agregado grueso mediante la tabla 22, elaborada por el Comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. Ello permitió obtener un coeficiente b/b_0 resultante de la división del peso seco del agregado grueso requerido por la unidad cúbica de concreto entre el peso unitario seco y varillado del agregado grueso expresado en kg/m^3 .



Tabla 20: Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

Tamaño máximo del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
	Módulo de fineza del agregado fino			
Pulg.	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: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López

El agregado grueso se encuentra en la condición de seco compactado, tal como es definida por la norma ASTM C 29.

El cálculo del contenido de agregado grueso a partir del coeficiente b/b_0 , permite obtener concretos con una trabajabilidad adecuada para concreto armado usual. Para concretos menos trabajables, tales como los que se requiere en pavimentos, la relación puede incrementarse en un 10%. Para concretos más trabajables, tales como los concretos bombeados, los valores pueden reducirse en un 10%.



Con el método del Comité 211 del ACI se determinó el volumen absoluto de agregado fino por diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire, y agregado grueso seco.

El volumen absoluto, o volumen desplazado por los diferentes ingredientes de la unidad cúbica de concreto, conocido también como volumen de sólidos, es igual al peso con que entra dicho material en la unidad cúbica de concreto dividido entre su peso sólido, definido este último como el producto del peso específico del material por el peso unitario de agua.

3.9.10. Ajuste por humedad del agregado

Las cantidades de agregado que deben ser pesadas para preparar el concreto deberán considerar la humedad de aquel. Generalmente en obra los agregados están en condición de humedad y su peso seco deberá incrementarse en el porcentaje de agua que ellos contienen, tanto la absorbida como la superficial.

El agua de mezclado incorporada a la mezcladora deberá ser algebraicamente reducida en un volumen igual a la humedad superficial o humedad libre aportada por los agregados, considerándose como tal al contenido de humedad del agregado menos su porcentaje de absorción.

El agregado, desde el punto de vista de humedad, puede estar en obra en cuatro condiciones:

- Seco, cuando su superficie como sus poros internos están totalmente libres de agua. Esta es una condición teórica para la cual se calcula los



contenidos de agregados fino y grueso antes de corregir la mezcla por humedad del agregado.

- Semiseco, cuando la superficie del agregado está seca pero sus poros internos están parcialmente llenos de agua. Esta condición es también conocida como secado al aire. Ella siempre es menor que la absorción del agregado.
- Saturado superficialmente seco, cuando la superficie del agregado está húmeda, pero la totalidad de sus poros internos están llenos de agua. Se considera la condición ideal del agregado porque en ella ni aporta ni toma agua de la mezcla.
- Húmedo o mojado, cuando el agregado está saturado superficialmente seco y adicionalmente presenta humedad superficial, la cual puede contribuir a incrementar el agua de mezclado y obliga a una corrección en la mezcla por humedad del agregado.

Los conceptos de absorción, contenido de humedad y humedad superficial deben ser igualmente definidos:

- La capacidad de absorción de un agregado está dada por la cantidad de agua que él necesita para pasar del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Normalmente se expresa en porcentaje.

$$\%Absorción = 100 \times \frac{(SS - S)}{S}$$

Dónde:

SS = Peso del agregado al estado saturado superficialmente seco.

S = Peso del agregado al estado seco.



- El contenido de humedad de un agregado es la cantidad total de agua que él tiene y se determina por la diferencia entre su peso y su peso seco:

$$C.H. = 100 \times \frac{(H - S)}{S}$$

Dónde:

H = Peso del agregado

- La humedad superficial está dada por la diferencia entre el contenido de humedad y el porcentaje de absorción. Puede ser positiva en cuyo caso el agregado aporta agua a la mezcla y dicha cantidad debe ser disminuida del agua de diseño para determinar el agua efectiva; o puede ser negativa, en cuyo caso el agregado tomará agua de la mezcla para llegar al estado de saturado superficialmente seco, debiendo adicionarse dicha cantidad de agua a la mezcla para no modificar el agua de diseño.

En la corrección de las proporciones de la mezcla por condición de humedad del agregado pueden presentarse tres casos: (a) que ambos agregados aporten agua a las mezclas; (b) que uno de los agregados aporte agua y el otro quite agua a la mezcla; y (c) que ambos agregados disminuyan el agua de la mezcla. A continuación, se desarrollará tres ejemplos que permitirán explicar cómo proceder en cada uno de estos casos.



3.10. Procedimiento para la elaboración de especímenes de concreto adicionando ceniza de carbón.

El objetivo es establecer el procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en laboratorio bajo un control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto compactado por apisonado.

Materiales y equipos:

- **Moldes:** Los moldes para las muestras y los sujetadores de dichos moldes que deben estar en contacto con el concreto deben ser de acero, hierro forjado o de otro material no absorbente y que no reaccione con el concreto utilizado en los ensayos. Los moldes deben estar hechos conforme a las dimensiones y tolerancias especificadas en el método en el cual van a ser usados. Los moldes deben de ser herméticos de tal forma que no se escape el agua de la mezcla contenida.

Los moldes cilíndricos deben estar hechos de un metal de alta resistencia o de otro material rígido no absorbente.

- **Varilla compactadora:** Debe ser de acero, cilíndrica y su extremo compactador debe ser hemisférico con radio igual al radio de la varilla. Pueden ser de diámetro de 5/8” con 24” de longitud o diámetro de 5/8” con 12” de longitud.
- **Martillo de goma:** Debe ser de caucho, que pese $0,57 \pm 0,23$ kg



- **Vibradores Internos:** Pueden ser de eje rígido o flexible, preferiblemente accionados por motores eléctricos. La frecuencia de vibración debe ser de 7000 rpm o mayor. El diámetro de un vibrador redondo no debe ser mayor de la cuarta parte del diámetro del cilindro ni de la cuarta parte del ancho de la viga o del molde prismático. Vibradores de otras formas deberán tener un perímetro equivalente a la circunferencia de un vibrador redondo apropiado.
- **Vibradores externos:** Pueden ser de mesa o de plancha. La frecuencia de vibración debe ser de 3600 rpm o mayor y su construcción debe ser tal, que el molde quede firme y asegurado sobre la mesa. Se debe usar un tacómetro para controlar la frecuencia de vibración.
- **Recipientes para muestreo y mezcla:** Deben ser de fondo plano, metálico, de alto calibre, impermeable, de profundidad adecuada y de suficiente capacidad para permitir una mezcla fácil de toda la bachada con una pala o palustre o, si la mezcla se hace de manera mecánica, para recibir toda la bachada de la descarga del mezclador y permitir el remezcla en el recipiente con la pala o palustre.
- **Mezcladora de concreto:** La mezcladora puede ser mecánica o manual. Para concretos con asentamiento inferior a 25 mm (1"), es más apropiado utilizar un recipiente mezclador (mezcla manual) que una mezcladora de tambor reclinable. Es aconsejable, cuando en tal caso tenga que utilizarse esta última,



reducir los rpm de rotación y el ángulo de inclinación del tambor y trabajarla a una capacidad inferior a la especificada por el fabricante.

- **Equipo Misceláneo:** Tamices, palas, palustres, reglas, guantes de caucho, calibrador de espesores, etc.
- **Número de muestras:** El número de especímenes y el número de tandas de ensayo dependen de la práctica local y de la naturaleza del programa de ensayos. Los métodos de ensayo o las especificaciones para los cuales se elaboran los especímenes suelen dar orientaciones sobre el particular.

En todas las tandas se debe elaborar un número igual de especímenes.

Cuando sea imposible moldear al menos un espécimen para cada variable en un día determinado, la mezcla para completar la serie entera de especímenes se debe efectuar tan pronto como sea posible (cuestión de pocos días) y una de las mezclas deberá ser repetida cada día, como un estándar de comparación.

Generalmente, los ensayos se hacen a edades de 7, 14 y 28 días para compresión y a edades de 14 y 28 días para flexión. Los especímenes que contienen cemento tipo III son ensayados frecuentemente a 1, 3, 7 y 28 días. Tanto para el ensayo de compresión como el de flexión, se pueden hacer ensayos a 3 meses, 6 meses y un año. Para otras edades de ensayo se pueden requerir otros tipos de especímenes.



3.10.1. Procedimiento para preparación de la mezcla

La mezcla de concreto debe ser tal que deje un 10 % de residuo después de haber moldeado el espécimen del ensayo.

- **Mezcla con maquina:** Antes que empiece la rotación de la mezcladora se debe introducir el agregado grueso con algo del agua que se use en la mezcla y la solución del aditivo, cuando ésta se requiera. Siempre que sea posible, el aditivo se debe dispersar en el agua antes de su adición a la mezcla. Se pone en funcionamiento la mezcladora, al cabo de unas cuantas revoluciones se adicionan el agregado fino, el cemento y el agua, con la mezcladora en funcionamiento.

Si para una mezcla particular o para un determinado ensayo no resulta práctico incorporar al agregado fino, el cemento y el agua con la mezcladora funcionando, ellos se incluirán con la máquina detenida, luego de haberse permitido algunas revoluciones.

Seguidamente se debió mezclar el concreto durante 3 minutos a partir del momento en que todos los ingredientes estén en la mezcladora. Se apaga la mezcladora durante 3 minutos y se pone en funcionamiento durante 2 minutos de agitación final.

Se debió cubrir el extremo abierto de mezcladora para evitar la evaporación durante el periodo de reposo.

Debe restituir todo mortero que se pierda por adhesión a la mezcladora, para conservar las proporciones.



El concreto se debe recibir en el recipiente limpio y seco y se debe remezclar con un palustre o pala, hasta hacerlo uniforme y evitar la segregación.

Es difícil recobrar todo el mortero impregnado en las partes de las mezcladoras. Para compensar esta dificultad puede seguirse unos de los procedimientos siguientes para asegurar las proporciones finales correctas en la Mezcla.

3.10.2. Procedimiento para el Vaciado del Concreto

- **Lugar del moldeo:** Se deben moldear los especímenes lo más cerca posible al lugar donde se van a guardar para su fraguado en las siguientes 24 horas. Los moldes se llevarán al depósito inmediatamente después de su elaboración y se colocarán sobre una superficie rígida y libre de vibraciones, evitando inclinaciones y movimientos bruscos. Durante el transporte, se deben evitar sacudidas, golpes, inclinaciones o raspaduras de la superficie.
- **Colocación:** El concreto se debe colocar en los moldes utilizando un palustre o utensilio similar. Se debe seleccionar cada palada de concreto de tal manera que sea representativa de la bachada; además, la mezcla de concreto en el recipiente se debe remezclar continuamente durante el moldeo de los especímenes, con el objeto de prevenir la segregación. El palustre se debe mover alrededor del borde superior del molde a medida que se descarga el concreto, con el fin de asegurar una distribución



simétrica de éste y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde. Posteriormente se distribuye el concreto con la varilla compactadora, antes del inicio de la consolidación. En la colocación de la capa final se debe intentar colocar una capa de concreto que complete exactamente el relleno del molde. No se permite la adición de muestras que no sean representativas del concreto dentro de un molde insuficientemente llenado.

- **Número de capas:** El número de capas con el cual se fabrica serán según lo indicado en la tabla 21.
- **Compactación:** La selección del método de compactación debe hacerse con base en el asentamiento, a menos que el método sea establecido en las especificaciones bajo las cuales se trabaja (Tabla 19). Los dos métodos de compactación son: apisonado (por varillado) y vibración (externa o interna). Si el concreto tiene un asentamiento mayor de 75 mm (3") debe usarse el método de apisonado. Si el asentamiento es de 25 a 75 mm (1 a 3") debe usarse el método de apisonado o el de vibración, prefiriéndose el método usado en la ejecución de la obra. Si el asentamiento es inferior a 25 mm (1") debe usarse el método de vibración. No se debe usar vibración interna para cilindros con diámetro inferior a 100 mm y para prismas de 100 mm de profundidad o menos. Los concretos con contenido de agua tal que no pueden ser compactados por los ensayos aquí descritos no estarán contemplados por la presente norma.



Tabla 21: Numero de capas requeridas en la elaboración de mezclas

Tipo de tamaño de la muestra en mm (pulgadas)	Método de Compactación	Número de Capas	Altura aproximada de la capa en mm (pulgadas)
Cilindros			
Hasta 300 (12)	Apisonado(varillado)	3 iguales	100 (4)
Mayor que 300 (12)	Apisonado(varillado)	las requeridas	
Hasta 460(18)	Vibración	2 iguales	200(4)
Mayor que 460(18)	Vibración	3 ó mas	
Prismas			
Hasta 200(8)	Apisonado(varillado)	2 iguales	100 (4)
Mayor que 200(8)	Apisonado(varillado)	3 ó mas	
Hasta 200(8)	Vibración	1	200(8) C172
Mayor que 200(8)	Vibración	2 ó mas	

Fuente: Manual de ensayo de materiales – MTC

- **Apisonado por varillado.** Se colocó el concreto en el molde con el número de capas requeridas (Tabla 19) aproximadamente del mismo volumen.

Se apisonó cada capa con la parte redonda de la varilla, utilizando el número de golpes y el tamaño de la varilla especificado en la Tabla 20. La



capa inicial se apisona introduciendo la varilla hasta el fondo del molde. La distribución de golpes para cada capa debe ser uniforme sobre toda la sección transversal del molde. Para cada capa superior a la inicial se debe atravesar aproximadamente en 12 mm ($\frac{1}{2}$ ") la capa anterior cuando la profundidad de la capa sea menor de 100 mm (4"); aproximadamente en 25 mm (1") cuando la profundidad de la capa sea mayor de 100 mm (4"). En caso de dejar algunos huecos por la varilla se deben golpear ligeramente los lados del molde para cerrar dichos huecos. En los elementos prismáticos, introdúzcase el badilejo (o similar) por los costados y extremos después de apisonar cada capa.

- **Vibración.** Se tuvo que mantener un mismo tiempo de vibración para un conjunto particular de concreto, vibrador y molde que se esté utilizando. La vibración se transmitió al cilindro durante el tiempo suficiente para lograr la adecuada compactación del concreto, pues un exceso de vibrado puede causar segregación. El molde se llenó y vibró en capas iguales aproximadamente. Todo el concreto para cada capa se debe colocar en el molde antes de iniciar el vibrado. La duración del vibrado depende de la manejabilidad del concreto y la efectividad del vibrador. Se considera suficiente el vibrado, cuando el concreto presente una superficie relativamente lisa.
- **Vibración interna.** El diámetro del eje o dimensión lateral de un vibrador interno no debe ser mayor de $\frac{1}{3}$ del ancho del molde en el caso de vigas



o prismas. Para cilindros, la relación del diámetro del cilindro al diámetro del vibrador debe ser igual o mayor de 4,0. Al compactar la muestra el vibrador no debe tocar el fondo, las paredes del molde u objetos embebidos en el concreto. El vibrador se debió extraer cuidadosamente de tal manera que no queden bolsas de aire dentro de las muestras. Se deben golpear ligeramente los lados del molde para asegurarse que no queden aprisionadas burbujas de aire en su superficie.

- **Vibración interna para cilindros.** En cada capa se debió introducir el vibrador en tres sitios diferentes en cada capa el vibrador debe penetrar en la capa anterior aproximadamente 25 mm.
- **Vibración interna para vigas y prismas.** Se introdujo el vibrador en puntos separados por una distancia no mayor de 150 mm (6") a lo largo de la línea central de la mayor dimensión de la muestra. Para moldes de ancho mayor de 150 mm (6") se debe introducir el vibrador en dos líneas alternando las inserciones. Se debe permitir penetrar el eje del vibrador en la capa del fondo aproximadamente 25 mm (1").



Tabla 22: Diámetro de varilla y número de golpes por capa

CILINDROS		
Diámetro del cilindro mm (pulgadas)	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Número de golpes por capa
50 (2) a 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75
VIGAS Y PRISMAS		
Área de la superficie superior de la muestra en cm ² (pulg ²)	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Número de golpes por capa
160 (25)	10 (3/8)	25
165 (26) a 310 (49)	10 (3/8)	1 por cada 7cm ² (1 pulg ²) de área
320 (50) o más	16 (5/8)	1 por cada 14cm ² (2pulg ²) de área

Fuente: Manual de ensayo de materiales – MTC

Para nuestro en el caso de nuestro ensayo, en los cilindros se trabajó con un diámetro de 150mm en donde el diámetro de la varilla fue de 5/8” y el número de golpes por capa fue de 25.

- **Acabado.** Después de la compactación, se efectuó el acabado con las manipulaciones mínimas, de tal manera que la superficie quede plana y



pareja a nivel del borde del cilindro o lado del molde, y no debió tener depresiones o protuberancias mayores de 3,2 mm (1/8").

- **Acabados de cilindros.** Después de la compactación, se efectuó el acabado de la superficie por medio de golpes con la varilla apisonadora cuando la consistencia del concreto lo permita o con un badilejo o llana de madera. Si se desea, puede colocarse una capa de pasta de cemento sobre el espécimen a manera de refrentado (capping)

3.10.3. Curado de los especímenes de concreto.

- **Cubrimiento después del acabado.** Para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer, los testigos debieron ser cubiertos inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una platina no reactiva con el concreto, o con una lámina de plástico dura e impermeable. Se permite el uso de lona húmeda para el cubrimiento de la muestra, pero se evitará el contacto directo de la muestra con la lona, la cual debe permanecer húmeda durante las 24 horas contadas a partir del acabado de la muestra.
- **Extracción de la muestra.** Las muestras debieron ser removidas de sus moldes en un tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de su elaboración cuando no se empleen aditivos; en caso contrario, se pudo emplear tiempos diferentes.



- **Ambiente de curado:** Las muestras se mantuvieron en condiciones de humedad con temperatura de $23,0^{\circ} \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ desde el momento del moldeo hasta el momento de ensayo.

El almacenamiento durante las primeras 48 horas de curado se hizo en un medio libre de vibraciones.

La condición de humedad debe lograrse por inmersión de la muestra sin el molde en agua. Se permitió lograr la condición de humedad por el almacenamiento en un cuarto húmedo.

No deben exponerse los especímenes a condiciones de goteo o de corrientes de agua.

Debió evitarse que se sequen las paredes de la muestra luego del periodo de curado.

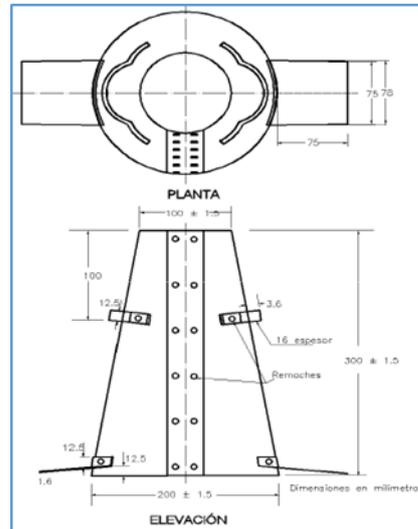
3.11. Asentamiento (Slump)

a. Molde:

Debió ser metálico, inatacable por el concreto, con espesor de lámina no inferior a 1,14 mm (0,045"). Su forma interior debió ser la superficie lateral de un tronco de cono de 203 ± 2 mm ($8'' \pm 1/8''$) de diámetro en la base mayor, 102 ± 2 mm ($4'' \pm 1/8''$) de diámetro en la base menor y 305 ± 2 mm ($12'' \pm 1/8''$) de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. El molde debió estar provisto de agarraderas y de dispositivos para sujetarlo con los pies, como se indica en la Figura 17. La costura de la lámina debe ser esencialmente como la indicada en la Figura

17. El interior del molde debe estar libre de abolladuras, ser liso y sin protuberancias.

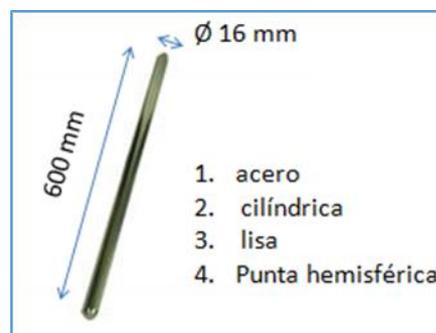
Figura 4: Molde para determinar el Asentamiento



Fuente: Manual ensayo de materiales – MTC

Varilla compactadora: Debió ser de hierro liso, cilíndrica, de 16 mm (5/8") de diámetro y de longitud aproximada de 600 mm (24"); el extremo compactador debe ser hemisférico con radio de 8 mm (5/16") como se muestra en la figura 18.

Figura 5: Varilla compactadora



Fuente: Manual ensayo de materiales – MTC



b. Procedimiento. Se humedeció el molde y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana, húmeda y no absorbente. Se sujetó firmemente con los pies y se llena con la muestra de concreto en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde, aproximadamente. Un tercio del volumen del molde corresponde, aproximadamente, a una altura de 67 mm; dos tercios del volumen corresponden a una altura de 155 mm.

Cada capa debió compactarse con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre su sección transversal. Para la capa del fondo es necesario inclinar ligeramente la varilla dando aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro y avanzando con golpes verticales en forma de espiral, hacia el centro. La capa del fondo se debió compactar en todo su espesor; las capas intermedia y superior en su espesor respectivo, de modo que la varilla penetre ligeramente en la capa inmediatamente inferior.

Al llenar la capa superior se debió apilar concreto sobre el molde antes de compactar. Si al hacerlo se asienta por debajo del borde superior, se debe agregar concreto adicional para que en todo momento haya concreto sobre el molde. Después que la última capa ha sido compactada se debió alisar a ras la superficie del concreto. Inmediatamente el molde es retirado, alzándolo cuidadosamente en dirección vertical.

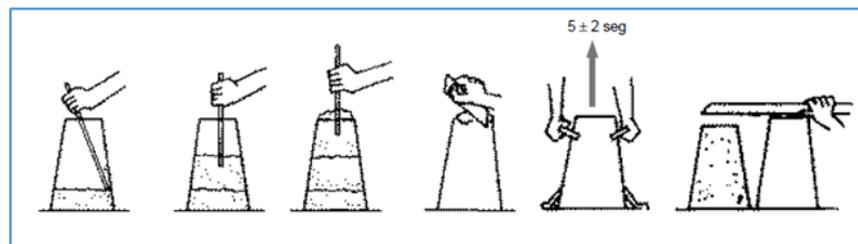
El concreto del área que rodea la base del cono debió ser removido para prevenir interferencia con el proceso de asentamiento. El alzado del molde debió hacerse en un tiempo aproximado de 5 ± 2 segundos, mediante un movimiento uniforme hacia arriba, sin que se imparta movimiento lateral o de torsión al concreto.

La operación completa, desde que se comienza a llenar el molde hasta que se retira, se debe hacer sin interrupción en un tiempo máximo de 2 minutos 30 segundos.

El ensayo de asentamiento se comenzó a más tardar 5 minutos después de tomada la muestra.

Inmediatamente después, se midió el asentamiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro original de la base superior del espécimen, como se puede ver en la Figura 19.

Figura 6: Procedimiento para el asentamiento del concreto fresco



Fuente: Ing. José Álvarez Cangahuala

Si ocurre un derrumbamiento pronunciado o desprendimiento del concreto hacia un lado del espécimen, se debe repetir el ensayo sobre otra porción de la muestra. Si dos ensayos consecutivos sobre una muestra de concreto dan este resultado, el concreto carece probablemente de la plasticidad y cohesión necesarias para que el ensayo de asentamiento sea aplicable.

3.12. Resistencia a la compresión

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente



la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste.

Los resultados de este ensayo se pueden usar como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; para el cumplimiento de especificaciones y como control para evaluar la efectividad de aditivos y otros usos similares.

Se debió tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de la resistencia a la compresión mediante este método de ensayo, por cuanto la resistencia no es una propiedad intrínseca fundamental del concreto elaborado con determinados materiales.

Los valores obtenidos dependen del tamaño y forma del espécimen, de la tanda, de los procedimientos de mezclado, de los métodos de muestreo, moldes y fabricación, así como de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado.

Tabla 23: Tolerancia de edad de ensayo de los especímenes

Edad del Ensayo	Edad del Ensayo
12 horas	0.25 0 2.1 %
24 horas	± 0.5 horas o 2.1%
3 días	2horas o 2.28%
7 días	6 horas o 3.6%
28 días	20 horas 3,0%
56 días	40 horas o 3.0%
90 días	2dias o 2.2%

Fuente: Manual de ensayo de materiales – MTC



a. Procedimiento

- **Colocación de la Muestra:** Se colocó el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque superior.

Se limpió con un paño las superficies de los bloques superior e inferior y se colocó el espécimen sobre el bloque inferior.

Se alineó cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de presión del bloque superior. El bloque con rótula se tuvo que rotar inmediatamente antes de proceder al ensayo, para asegurar la libertad de movimiento requerida.

Antes de ensayar el espécimen se debió verificar que el indicador de carga esté ajustado en cero.

- **Velocidad de Carga:** Se aplicó la carga continuamente sin golpes bruscos.

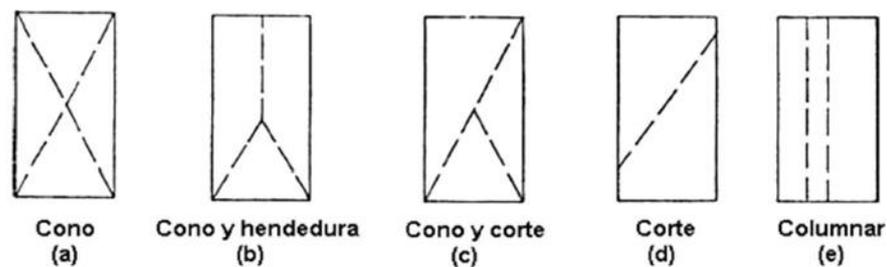
La carga se debió aplicar a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s (35 ± 7 psi/s). La velocidad escogida se tuvo que mantener, al menos, durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista. Sin embargo, no se deberá ajustar la velocidad de movimiento a medida que se está alcanzando la carga última y la tasa de aplicación de carga decrece debido al agrietamiento del cilindro.

Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor, siempre que ésta se controle para evitar cargas por impacto.

Para máquinas de tipo tornillo o de deformación controlada, se requiere un ensayo preliminar para establecer la velocidad de movimiento requerida para generar la tasa de carga especificada. Dicha velocidad dependerá del tamaño del cilindro, del módulo elástico del concreto y de la rigidez de la máquina de ensayo.

Cuando se ensayan cilindros sin refrentar, puede ocurrir una fractura de esquina antes de alcanzar la carga última; en tal caso se debe continuar la compresión hasta que se tenga la certeza de haber alcanzado la carga última. Se registró la carga máxima soportada por el cilindro durante el ensayo y se anotó el patrón de falla de acuerdo con los modelos de la Figura 20, si se ajusta a alguno de ellos. En caso contrario se harán un dibujo y una descripción del tipo de falla producido.

Figura 7: Esquemas de los tipos de falla.



Fuente: Manual de Ensayo de Materiales del MTC.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES



CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Ensayos de compresión.

En el presente capítulo se mostrar los cuadros de análisis de los resultados de la resistencia de los concretos a la compresión simple según su relación de agua cemento especificada con respecto a sus 3 distintas edades (7, 14 y 28), y la los dos tipos de resistencia que son: $f'c=175\text{kg/cm}^2$ y 210kg/cm^2 , para lo cual se siguió la metodología del comité 211 el ACI, con la recomendación de cada uno de los pasos.

Todos los datos obtenidos en laboratorio como son: las resistencias a la compresión, dimensiones, pesos, volúmenes, densidades entre otros se encuentran en la sección de Anexos.

Los ensayos a la compresión simple así como los ensayos físicos de los materiales se realizó en el laboratorio de concreto dela Universidad nacional del Santa, siguiendo todos lo establecido en el manual de ensayos del ministerio de Transportes y comunicaciones.

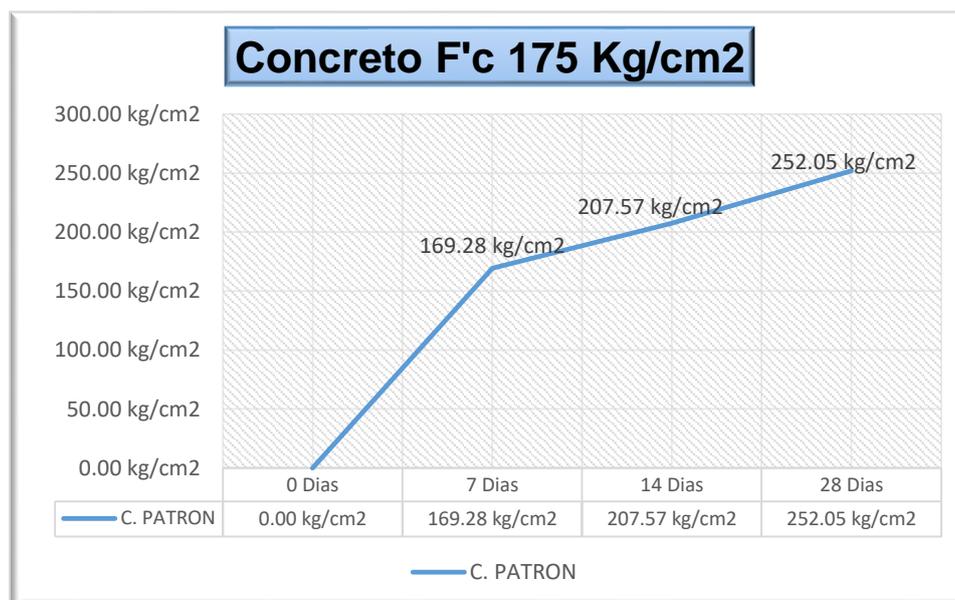
**4.1.1. Resistencia a la compresión de probetas de concreto $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$,
Muestra patrón (Sin adición de ceniza).**

Tabla 24: Resultados de la Resistencia a la compresión de la muestra patrón $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.

Dosificación sin ceniza de briqueta		
Resistencia obtenida a los 7 días $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 14 días $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 28 días $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$
169.28	207.57	252.05

Fuente: Elaboración Propia

Figura 8: Curva de $f'c$ a los 7, 14 y 28 días de la muestra patrón.



Fuente: Elaboración Propia

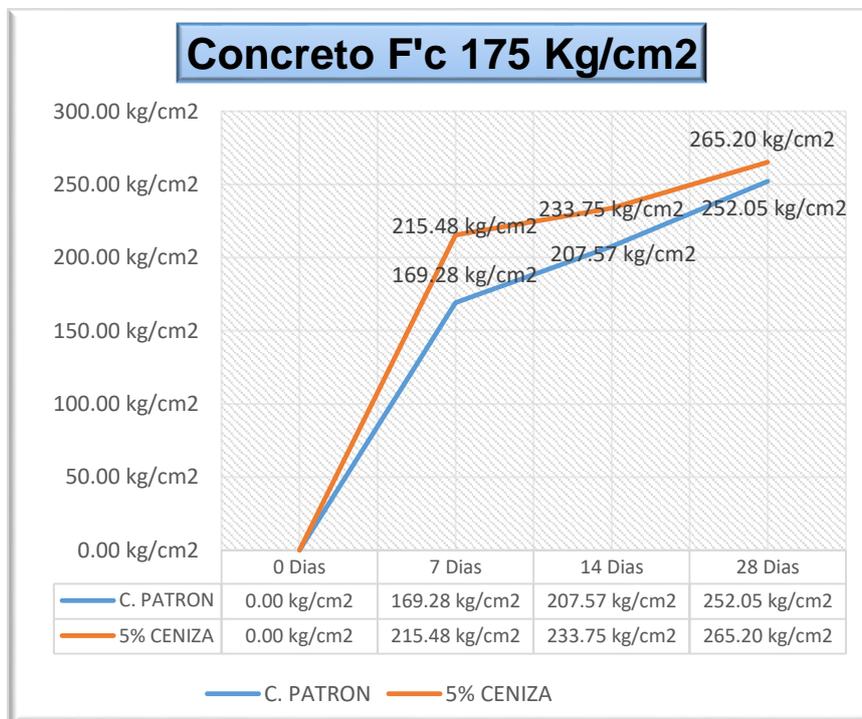
4.1.2. Resistencia a la compresión de Probetas de concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza de briqueta (5%).

Tabla 25: Resultados de la Resistencia a la compresión (5% de ceniza)

Dosificación con ceniza de briqueta al 5%		
Resistencia obtenida a los 7 días $f'c=175\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 14 días $f'c=175\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 28 días $f'c=175\text{kg/cm}^2$
215.48	233.75	251.38

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9: Curva de especímenes de concreto con 5% de ceniza.



Fuente: Elaboración propia.

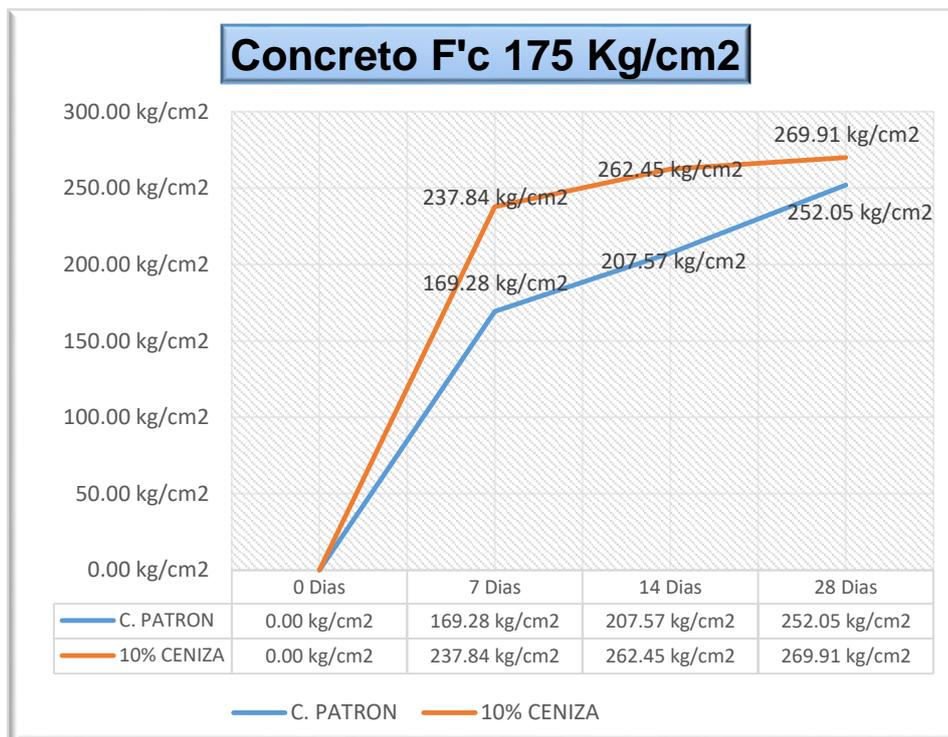
4.1.3. Resistencia a la compresión de Probetas de concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza de briqueta (10%).

Tabla 26: Resultados de la Resistencia a la compresión (10% de ceniza)

Dosificación con ceniza de briqueta al 10%		
Resistencia obtenida a los 7 días $f'c=175\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 14 días $f'c=175\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 28 días $f'c=175\text{kg/cm}^2$
237.84	262.45	269.91

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10: Curva de especímenes de concreto con 10% de ceniza.



Fuente: Elaboración propia.

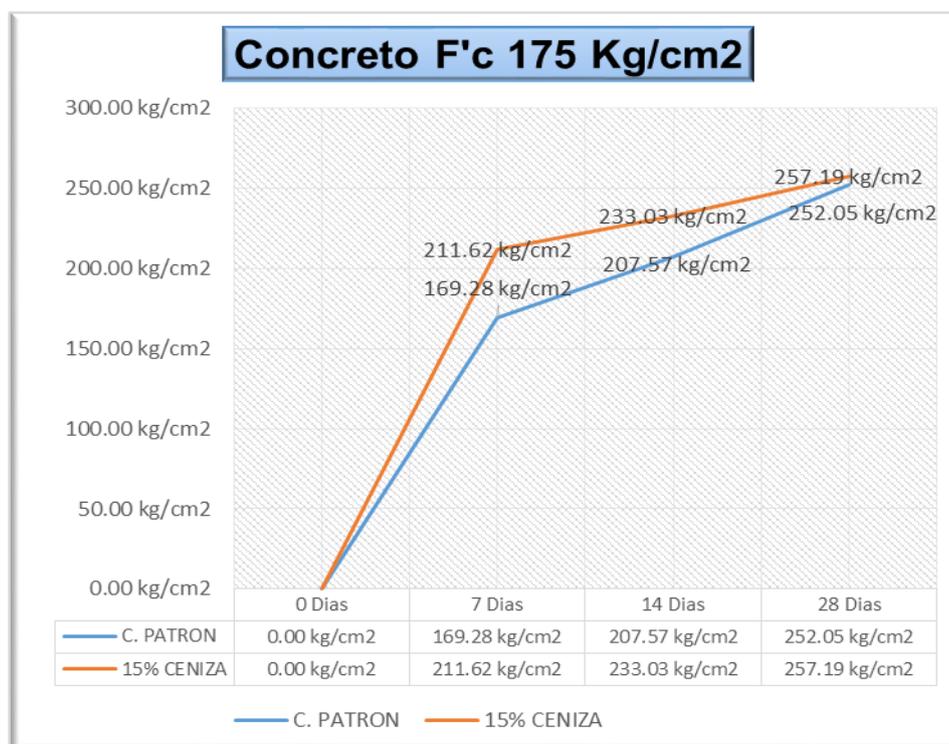
4.1.4. Resistencia a la compresión de Probetas de concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza de briqueta (15%).

Tabla 27: Resultados de la Resistencia a la compresión (15% de ceniza)

Dosificación con ceniza de briqueta al 15%		
Resistencia obtenida a los 7 días $f'c=175\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 14 días $f'c=175\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 28 días $f'c=175\text{kg/cm}^2$
211.62	233.03	257.19

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11: Curva de especímenes de concreto con 15% de ceniza.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Resistencia a la compresión de probetas de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$

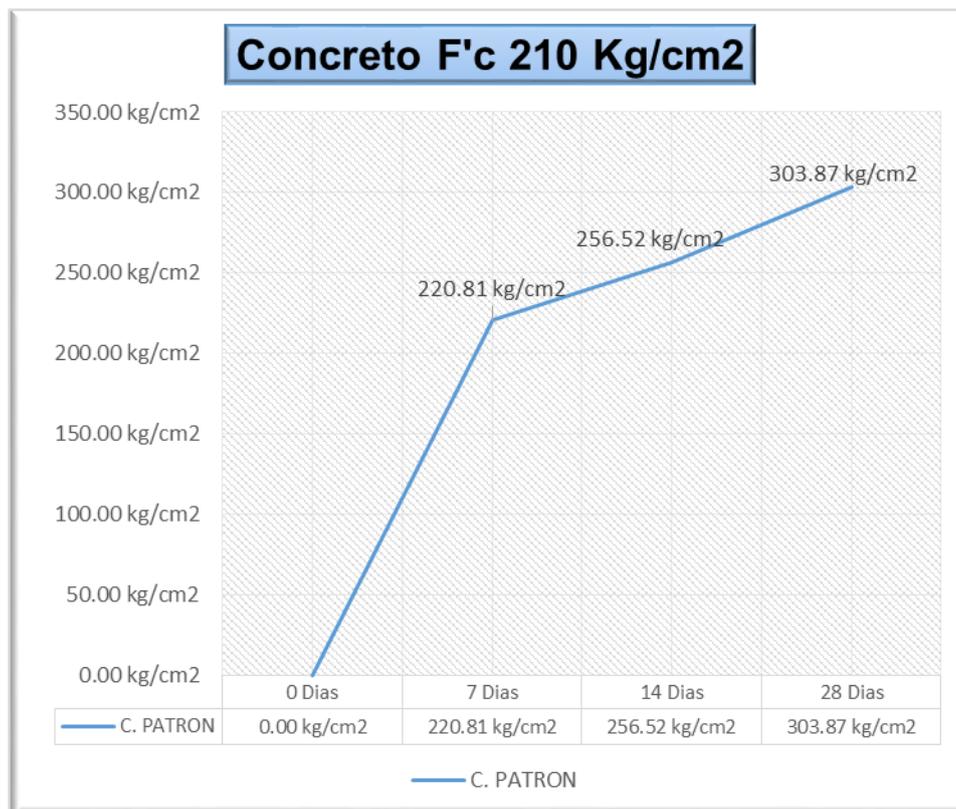
Muestra Patrón (sin adición de ceniza de briqueta.)

Tabla 28: Resultados de resistencia a la compresión $f'c=210\text{kg/cm}^2$ (muestra Patrón)

Dosificación sin ceniza de briqueta		
Resistencia obtenida a los 7 días $f'c=210\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 14 días $f'c=210\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 28 días $f'c=210\text{kg/cm}^2$
220.81	256.52	303.87

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12: Curva de especímenes de concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$.



Fuente: Elaboración Propia.

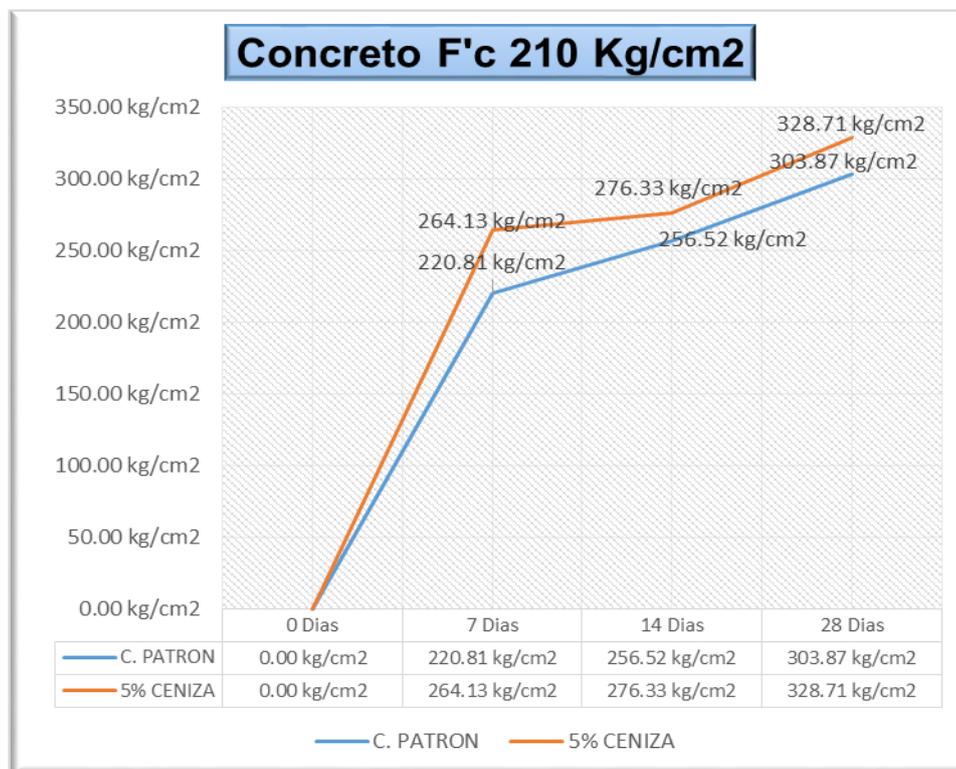
4.1.6. Resistencia a la compresión de probetas de concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza de briqueta al 5%

Tabla 299: Resultados de resistencia a la compresión $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ (+5% de ceniza)

Dosificación sin ceniza de briqueta		
Resistencia obtenida a los 7 días $f'_c=210\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 14 días $f'_c=210\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 28 días $f'_c=210\text{kg/cm}^2$
220.81	256.52	303.87

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13 Curva de Especímenes de concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza al 5%



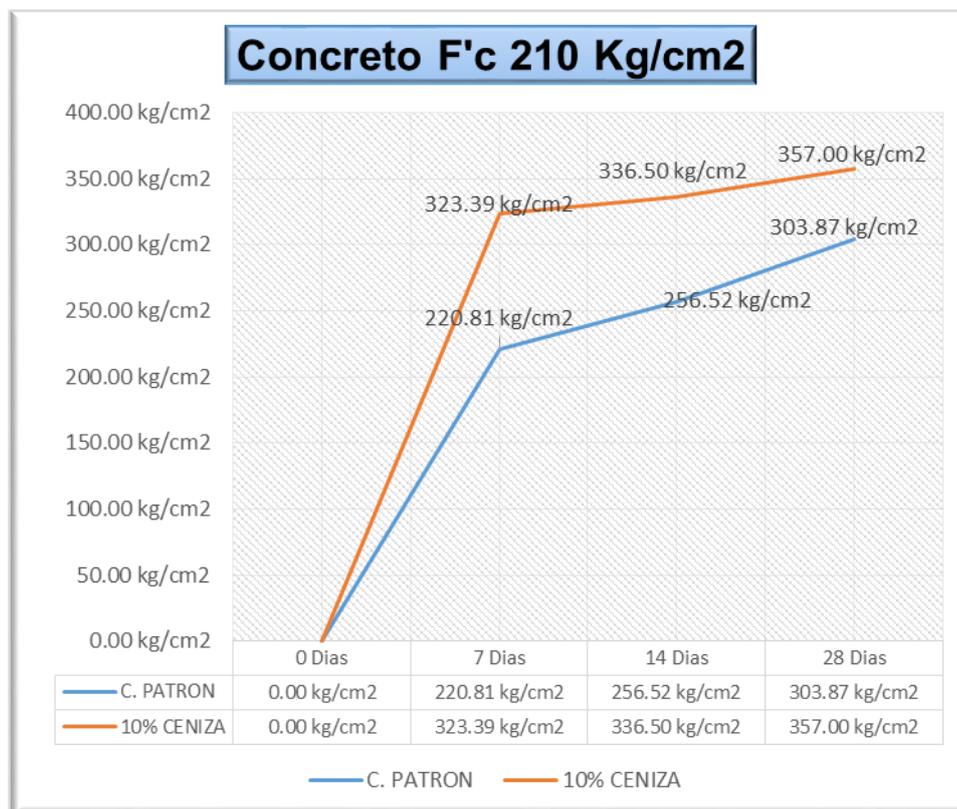
Fuente: Elaboración Propia.

4.1.7. Resistencia a la compresión de probetas de concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza de briqueta al 10%.

Tabla 30: Resultados de resistencia a la compresión $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ (+10% de ceniza)

Dosificación con ceniza de briqueta al 10%		
Resistencia obtenida a los 7 días $f'_c=210\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 14 días $f'_c=210\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 28 días $f'_c=210\text{kg/cm}^2$
323.39	336.46	356.68

Figura 14: Curva Especímenes de concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza del 10%



Fuente: Elaboración propia

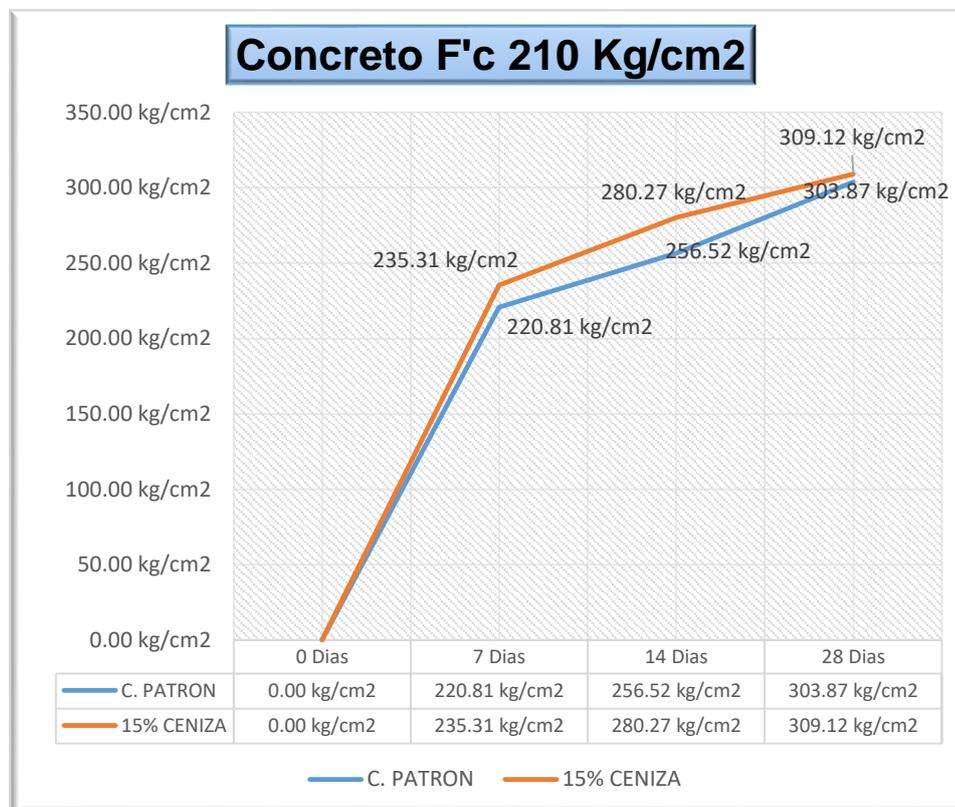
4.1.8. Resistencia a la compresión de probetas de concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza de briqueta al 15%

Tabla 30: Resultados de resistencia a la compresión $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ (+15% de ceniza)

Dosificación con ceniza de briqueta al 15%		
Resistencia obtenida a los 7 días $f'_c=210\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 14 días $f'_c=210\text{kg/cm}^2$	Resistencia obtenida a los 28 días $f'_c=210\text{kg/cm}^2$
235.31	280.27	309.12

Fuente: Elaboración propia.

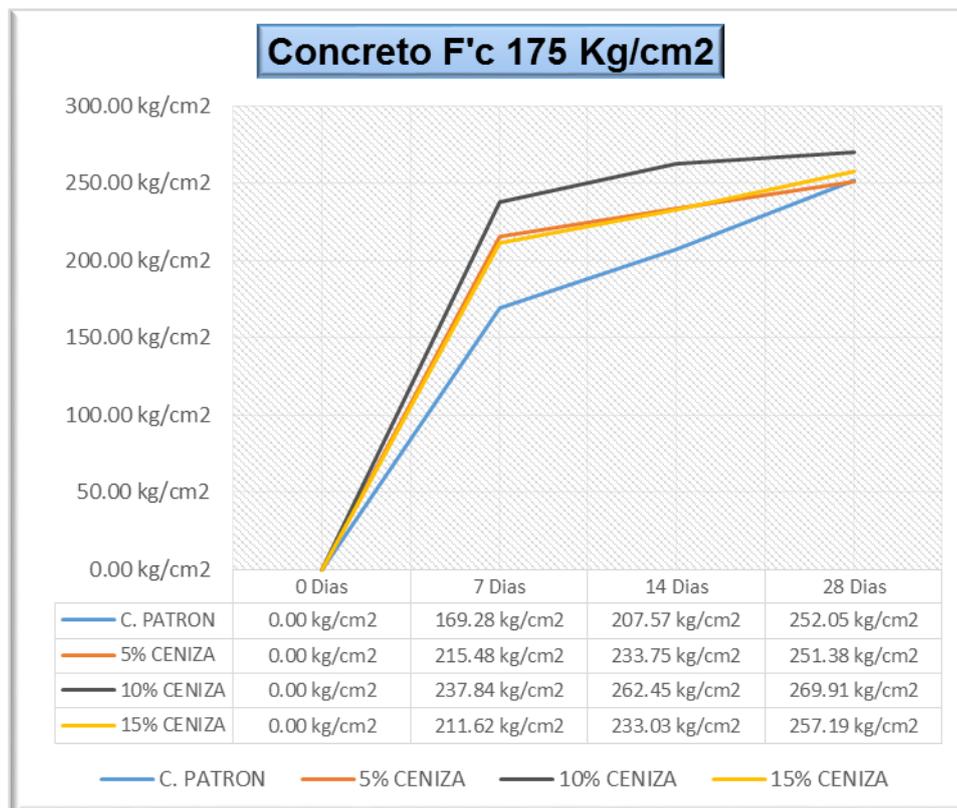
Figura 15 Curva de especímenes de concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ con adición de ceniza al 15%



Fuente: Elaboración Propia.

4.1.9. Comparación entre la muestra patrón y las muestras con adición de ceniza de briqueta

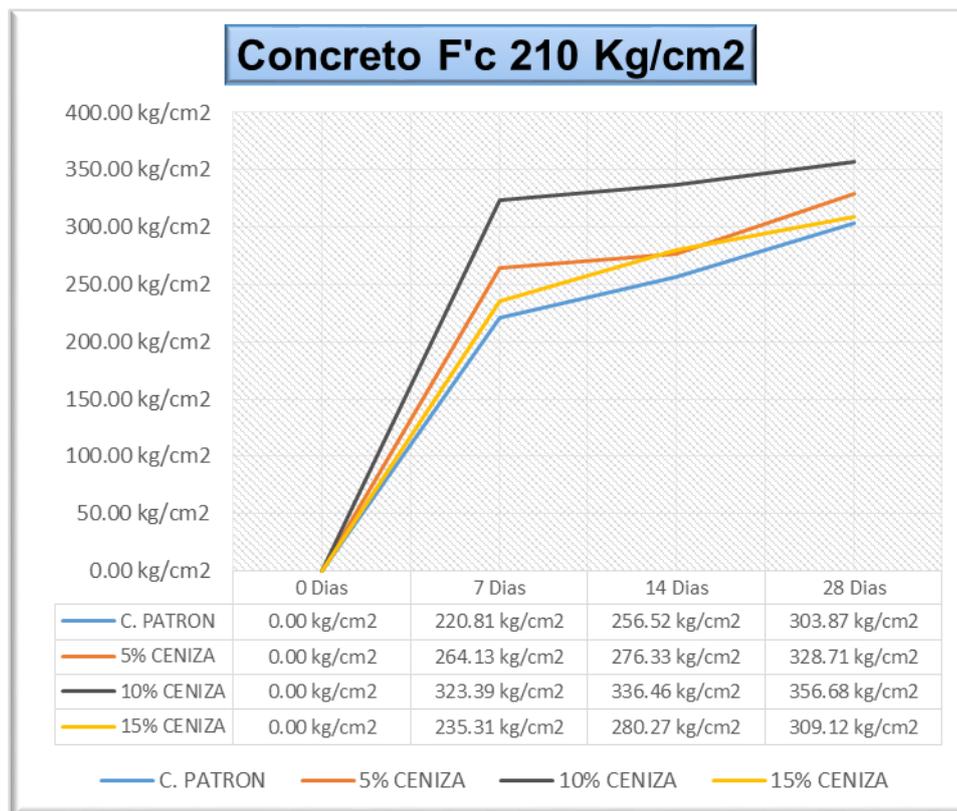
Figura 16: Curva de Resultados de Resistencia a la compresión por edades comparados con la muestra patrón $f'c=175\text{kg/cm}^2$.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Comparación entre la muestra patrón y las muestras con adición de ceniza de briqueta

Figura 17.- Curva de Resultados de Resistencia a la compresión por edades comparados con la muestra patrón $f'c=210\text{kg/cm}^2$.



Fuente: Elaboración propia

Los resultados del ensayo de la resistencia a la compresión se ubican el anexo III.

4.2. Análisis de Resultados

A continuación, se analizará y discutirá, los resultados que se obtuvieron en el presente CAPÍTULO, y la comparación que se realizó, con el objeto de contrastar la Hipótesis formulada.



Sobre la Hipótesis.

Si incorporamos cenizas de carbón de briquetas en la elaboración de concreto, se mejorará el las propiedades físicas y mecánicas del mismo.

Para evaluar la presente Hipótesis se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a testigos de concreto elaborados en el laboratorio de concreto de la Universidad nacional del Santa, los cuales fueron elaborados adicionando cenizas de carbón de briquetas, posteriormente a la elaboración se procedió al desmoldado y curado de los testigos de acuerdo a la norma ASTM C31.

La rotura de probetas se realizó a los 7, 14 y 28 días para el concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ y $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ obteniéndose resultados positivos respecto a la Hipótesis planteada,

Ello lo podemos visualizar en las figuras 16 y 17 para los concretos $f'c=175\text{kg/cm}^2$ y $f'c=210\text{kg/cm}^2$ respectivamente.

A continuación, se realiza un comentario de todos los resultados obtenidos durante el desarrollo de la tesis.

Características del concreto durante su elaboración

a.- Testigos de Concreto Patrón Elaborados con 0% de cenizas de briquetas de carbón.- se elaboraron los testigos de concreto 210 kg/cm^2 en Laboratorio de concreto y de Suelos de la Universidad Nacional del Santa cumpliendo el diseño de mezcla establecido al inicio, la mezcla era trabajable presentando un asentamiento promedio de 4”.



b.- Testigos de concreto elaborados con adición de cenizas de briquetas de carbón.-: Se elaboraron los testigos de concreto cumpliendo el diseño de mezcla de concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ y $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y adicionando cenizas de briquetas de carbón en porcentajes de 5%, 10% y 15%, se pudo observar y verificar que al adicionar mayor cantidad de ceniza de briqueta de carbón en la mezcla se pierde plasticidad pero siempre de tuvo una trabajabilidad adecuada para la elaboración de los testigos.

4.3. Análisis Estadístico

La elaboración y posterior ensayo de las muestras de concreto planteadas en la investigación, nos proporcionó un resultado favorable en la dosificación con adición de 10% de ceniza de carbón de briqueta tanto para concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, como para concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ respecto al cemento. Por ello se planteó la elaboración de 30 probetas adicionales para cada una de las resistencias del presente estudio de la con la dosificación indicada, para el cálculo estadístico siguiente.



Tabla 30: Resultados de resistencia $f'c=210$ en muestras con 10% de adición

Testigo de concreto	Días de curado	Diametro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (fc)
1	28	15.2	30.2	181.46	48820	269.04
2	28	15	30.3	176.71	48900	276.72
3	28	15.1	30.2	179.08	48750	272.22
4	28	15.3	30.1	183.85	48810	265.49
5	28	15	30.3	176.71	47900	271.07
6	28	15.1	30.2	179.08	46900	261.89
7	28	15.2	30.2	181.46	48540	267.50
8	28	15	30.3	176.71	48140	272.42
9	28	15.1	30.2	179.08	47770	266.75
10	28	15.3	30.3	183.85	47560	258.69
11	28	15	30.2	176.71	48010	271.69
12	28	15.1	30.1	179.08	47880	267.37
13	28	15.2	30.2	181.46	48060	264.85
14	28	15	30.3	176.71	48230	272.93
15	28	15	30.2	176.71	47830	270.67
16	28	15	30.2	176.71	48060	271.97
17	28	15.3	30.1	183.85	47710	259.51
18	28	15	30.3	176.71	47760	270.27
19	28	15.1	30.3	179.08	48620	271.50
20	28	15	30.2	176.71	48240	272.99
21	28	15	30.2	176.71	48640	275.25
22	28	15.3	30.3	183.85	48340	262.93
23	28	15	30.3	176.71	47750	270.22
24	28	15.1	30.2	179.08	48560	271.16
25	28	15	30.2	176.71	48440	274.12
26	28	15	30.3	176.71	47660	269.71
27	28	15.3	30.1	183.85	48560	264.13
28	28	15	30.2	176.71	48810	276.22
29	28	15.1	30.3	179.08	47900	267.48
30	28	15	30.2	176.71	48020	271.74

Fuente: Elaboración Propia



Cálculo de la Media (X): Valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}.$$

Cálculo de la Mediana (Me): Es el valor que ocupa el lugar central de todos los datos cuando están ordenados.

- Cuando el número de datos es impar: Entonces la mediana es el valor del dato central.
- Cuando el número de datos es par: Entonces la mediana es el valor promedio de los dos datos centrales.

Cálculo de la Desviación Estándar (Ds): el cálculo de la desviación estándar se realiza con la siguiente fórmula.

$$Ds = \sqrt{\frac{(X_1 - X)^2 + (X_2 - X)^2 + \dots + (X_n - X)^2}{n - 1}}$$

Cálculo de la Variación (V): Esta se calcula con la siguiente fórmula.

$$V = \frac{Ds}{X} * 100.$$

Resultados Estadísticos para el concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2 +10\%$ de adición

Media = 269.28

Mediana = 270.47

Desviación Estándar = 4.63

Varianza = 21.465

Coefficiente de variación = 1,72

V Máximo= 276.72

V Mínimo = 258.69

Muestra = 30



Con el resultado de la desviación estándar y variación, podemos verificar si este cumple con los límites máximos establecidos.

Tabla 31: Dispersión Total

DISPERSIÓN TOTAL					
Clase de Operación	Desviación Estándar para diferentes Grados de Control (Kg/cm ²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> 49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	>24.6

Fuente. Tópicos de tecnología de concreto, Pasquel Carbajal, 1998.

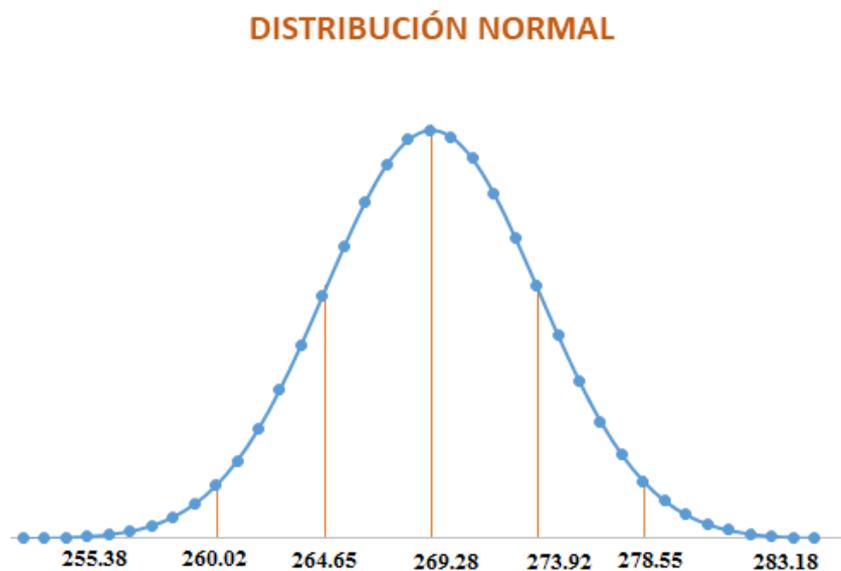
Tabla 32: Dispersión entre Testigos

DISPERSIÓN ENTRE TESTIGOS					
Clase de Operación	Coeficiente de Variación para diferentes Grados de Control (%)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> 6.0
Concreto en Laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	>5.0

Fuente. Tópicos de tecnología de concreto, Pasquel Carbajal, 1998.

De estos límites de aceptación podemos concluir que tenemos una desviación excelente, obteniendo $4.63 < 14.1$; y una Variación excelente $1.72 < 2.0$, cumpliendo de esta manera lo establecido en las normas.

Figura 18.- Curva de Distribución Normal para concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ con 10% de adición de ceniza de briquetas



Fuente: Elaboración Propia

Del gráfico de distribución normal se dice lo siguiente:

- Existe la probabilidad de que el 68.26% de los testigos de concreto elaborados con 10 % de ceniza de briqueta tengan una resistencia a la compresión entre 264.65kg/cm^2 y 273.92 kg/cm^2 a la edad de 28 días.
- Existe la probabilidad de que el 95.40% de los testigos de concreto elaborados con 10 % de ceniza de briqueta tengan una resistencia a la compresión entre 260.02kg/cm^2 y 278.55 kg/cm^2 a la edad de 28 días.



Tabla 33: resultados de resistencia $f'c=210$ kg/cm² en muestras con 10% de adición

Testigo de concreto	Dias de curado	Diametro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (fc)
1	28	15	30.1	176.71	54820	310.23
2	28	15.1	30.2	179.08	54910	306.62
3	28	15.2	30.3	181.46	54740	301.66
4	28	15	30.2	176.71	54810	310.17
5	28	15.1	30.2	179.08	53790	300.37
6	28	15.3	30.3	183.85	53660	291.87
7	28	15	30.2	176.71	54520	308.53
8	28	15.1	30.1	179.08	54040	301.76
9	28	15.2	30.2	181.46	53620	295.49
10	28	15	30.3	176.71	53400	302.19
11	28	15	30.3	176.71	53910	305.08
12	28	15.1	30.2	179.08	53770	300.26
13	28	15.2	30.2	181.46	53990	297.53
14	28	15	30.3	176.71	54300	307.28
15	28	15	30.3	176.71	53010	299.98
16	28	15	30.2	176.71	52650	297.95
17	28	15.3	30.2	183.85	51230	278.65
18	28	15	30.3	176.71	53630	303.49
19	28	15	30.2	176.71	54600	308.98
20	28	15.1	30.2	179.08	54110	302.16
21	28	15.2	30.1	181.46	54680	301.33
22	28	15	30.3	176.71	54100	306.15
23	28	15	30.2	176.71	53600	303.32
24	28	15.1	30.2	179.08	52880	295.29
25	28	15	30.3	176.71	54390	307.79
26	28	15.3	30.2	183.85	53520	291.11
27	28	15	30.3	176.71	54510	308.47
28	28	15.1	30.2	179.08	54710	305.51
29	28	15	30.3	176.71	53720	304.00
30	28	15.2	30.2	181.46	53900	297.04

Fuente: Elaboración Propia

Resultados Estadísticos para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ +10% de adición

Media = 301.68

Mediana = 302.17

Desviación Estándar = 6.75

Varianza = 45.50

Coefficiente de variación = 2.24

V Máximo = 310.23

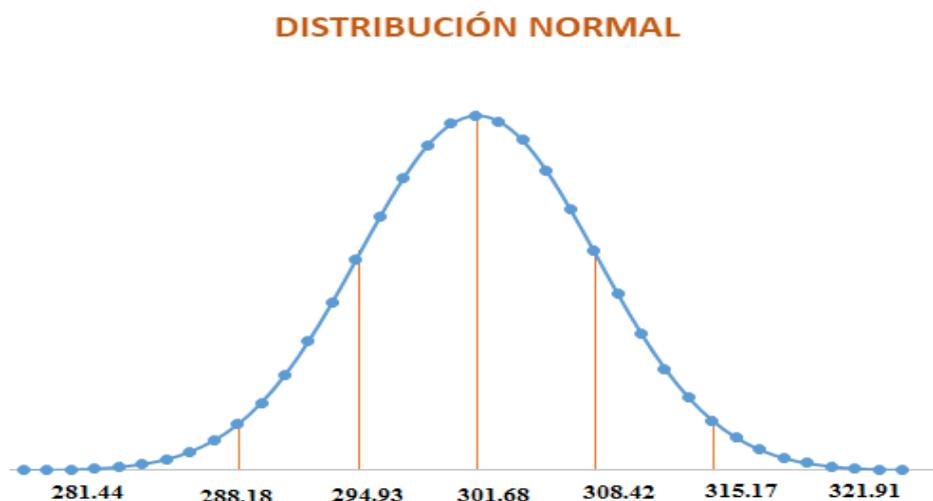
V Mínimo = 278.65

Rango = 31.58

Con el resultado de la desviación estándar y variación, podemos verificar si este cumple con los límites máximos establecidos.

De estos límites de aceptación podemos concluir que tenemos una desviación excelente, obteniendo $6.75 < 14.1$; y una Variación muy bueno $2 < 2.24 < 3.0$, cumpliendo de esta manera lo establecido en las normas.

Figura 19.- Curva de Distribución Normal para concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con 10% de adición de ceniza de briquetas



Fuente: Elaboración Propia



Del gráfico de distribución normal se dice lo siguiente:

- Existe la probabilidad de que el 68.26% de los testigos de concreto elaborados con 10 % de ceniza de briqueta tengan una resistencia a la compresión entre 294.93kg/cm² y 308.42kg/cm² a la edad de 28 días.
- Existe la probabilidad de que el 95.40% de los testigos de concreto elaborados con 10 % de ceniza de briqueta tengan una resistencia a la compresión entre 288.18kg/cm² y 315.17kg/cm² a la edad de 28 días.



CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ❖ Habiéndose desarrollado la presente tesis se determinó que la adición de cenizas de briqueta de carbón mejora las propiedades resistentes a la compresión en una mezcla convencional de concreto por lo cual la hipótesis se da por **ACEPTADA**.
- ❖ Para concretos $f'c=175\text{kg/cm}^2$
 - Se obtuvo un asentamiento de 4”, 3” 2.8” y 2.4” para mezclas de concreto con 0%, 5%, 10% y 15% respectivamente, el cual muestra que la mezcla de una consistencia plástica a seca.
 - Se obtuvo una resistencia promedio a los 28 días de 252.05, 251.38, 269.91 y 257. 19 kg/cm^2 , para mezclas de concreto con 0%, 5%, 10% y 15% respectivamente.
 - Las adiciones de cenizas de carbón de briquetas en rangos de 5% - 15% mejoraron la resistencia del concreto, obteniendo una resistencia mayor al 5% con relación a la resistencia inicial.
- ❖ Para concretos $f'c=210\text{ kg/cm}^2$
 - Se obtuvo un asentamiento de 4.2”, 3.3”, 2.4” y 2” para mezclas de concreto con 0%, 5%, 10% y 15% respectivamente, el cual muestra que la mezcla de una consistencia plástica a seca.
 - Se obtuvo una resistencia promedio a los 28 días de 303.87, 328.71, 356.68 y 309.12 kg/cm^2 , para mezclas de concreto con 0%, 5%, 10% y 15% respectivamente.



- Las adiciones de cenizas de carbón de briquetas en rangos de 5% - 15% mejoraron la resistencia del concreto, obteniendo una resistencia mayor al 5% con relación a la resistencia inicial.



5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar nuevas investigaciones con las cenizas de carbón de briquetas, pudiendo reemplazar este material por parte del agregado fino y verificar las propiedades físicas y mecánicas del concreto fresco y endurecido respectivamente.
- Se recomienda realizar más investigaciones a partir de los resultados obtenidos a fin de llegar a una tendencia y formular ecuaciones para el uso de concretos donde se requiere concretos de mayor resistencia.
- Para su facilidad de utilización de la investigación y para próximas investigaciones con concreto, se recomienda trabajar la dosificación también en volumen para su facilidad de uso fuera de laboratorios.



CAPÍTULO IV

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFICAS



CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Corporación Aceros Arequipa (2007). El acero, lo que hay que saber. Lima, Perú. Editor: Grupo Publicidad.

García Córdova, H. y Sarmiento Gutierrez, J. (2008). Mejoramiento de un concreto de 3000 PSI con adición de viruta de acero con porcentajes de 6%, 8% y 10% respecto al agregado fino de la mezcla (Tesis de Pregrado). Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.

Maccaferri, (s.f.). Fibras como elemento estructural para refuerzo del Hormigón.

Montalvo Farfán, M. (s.f.). Diseño Estructural de pavimentos hidráulicos y asfálticos. Lima, Perú.

Montalvo Guevara, M. (2015). Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Pasquel Carbajal, E. (1998). Tópicos de tecnología de concreto en el Perú. Lima, Perú.

SENCICO (2014). Manual de Preparación, colocación y cuidados del concreto. Lima, Perú.

Rivva Lopez, E. (1992). Diseño de Mezclas. Lima, Perú.

M.T.C. (2016). Manual de Ensayo de Materiales. Lima, Perú.

Universidad Nacional de San Simón (2004). Texto Guía de Pavimentos. Recuperado de: https://www.slideshare.net/roy_foker01/libro-de-pavimentos-56459932.

Vizconde Poémape, H. (s.f.). Diseño de Mezclas – Método ACI. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/HebertPoemape/diseo-de-mezclas-23718139>.

Teodoro Harmsen (2002). Diseño Estructural de concreto armado. Lima, Perú.



CAPÍTULO IV

ANEXOS

CAPÍTULO VII: ANEXOS

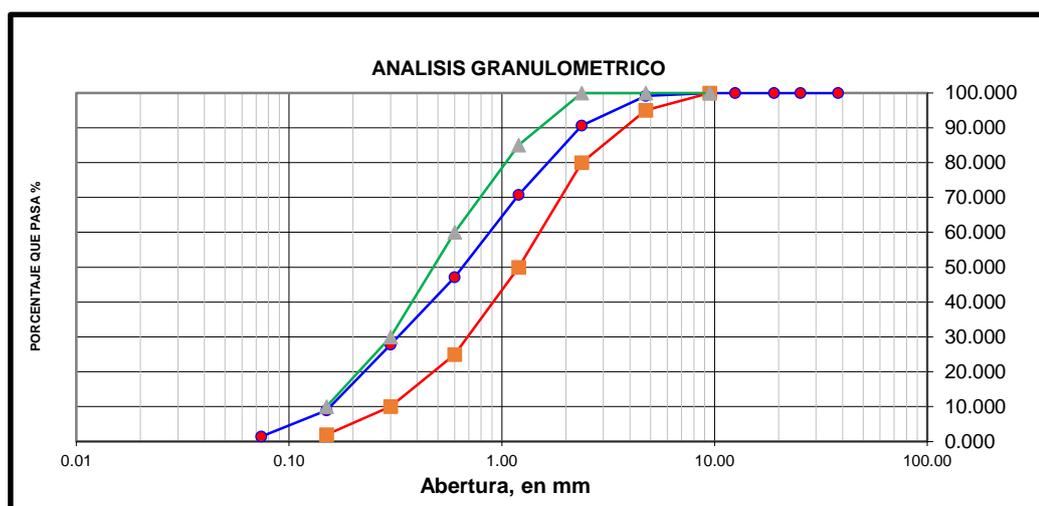
7.1. ANEXO N°01: Ensayo de los Agregados

7.1.1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO AGREGADO

FINO (NORMA ASTM C-136 Y NTP 400.037)

Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido [grs]	% Retenido	% Retenido Acumulado	% pasa
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00	100.000
1"	25.400	0.000	0.000	0.00	100.000
3/4"	19.050	0.000	0.000	0.00	100.000
1/2"	12.500	0.000	0.000	0.00	100.000
3/8"	9.525	0.000	0.000	0.00	100.000
N° 4	4.750	9.000	0.864	0.86	99.136
N° 8	2.380	89.000	8.541	9.40	90.595
N° 16	1.200	207.000	19.866	29.27	70.729
N° 30	0.600	246.000	23.608	52.88	47.121
N° 50	0.300	201.000	19.290	72.17	27.831
N° 100	0.150	197.000	18.906	91.07	8.925
N° 200	0.074	78.000	7.486	98.56	1.440
Cazoleta	---	15.00	1.440	100.00	0.000
TOTAL		1042.00			

Fuente: Elaboración Propia, 2019



Fuente: Elaboración Propia, 2019

MODULO DE FINEZA	=	2.60
------------------	---	------



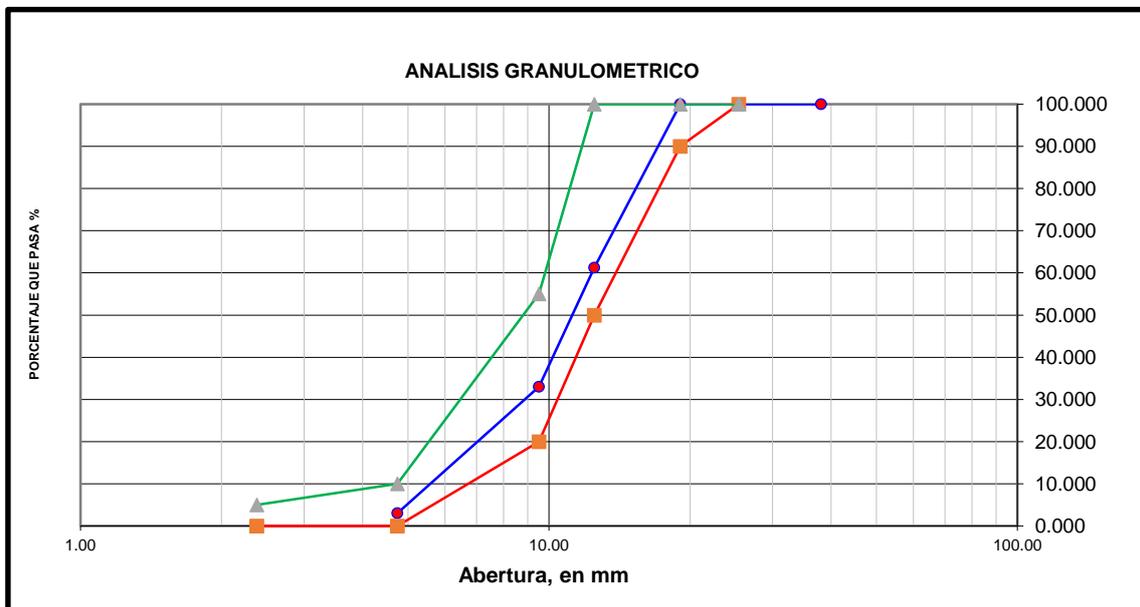
7.1.2. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO AGREGADO

GURESO (NORMA ASTM C-136 Y NTP 400.037)

Peso Inicial Seco, [gr]	924.000
-------------------------	---------

Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido [grs]	% Retenido	% Retenido Acumulado	% pasa
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00	100.000
1"	25.400	0.000	0.000	0.00	100.000
3/4"	19.050	0.000	0.000	0.00	100.000
1/2"	12.500	358.00	38.745	38.74	61.255
3/8"	9.525	261.00	28.247	66.99	33.009
Nº 4	4.750	277.00	29.978	96.97	3.030
Nº 8	2.380	28.000	3.030	100.00	0.000
Cazoleta	---	0.000	0.000	100.00	0.000
TOTAL		924.00			

Fuente: Elaboración Propia, 2019



Fuente: Elaboración Propia, 2019



7.1.3. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO Y GRUESO

(ASTM D-2216-80)

MUESTRA: AGREGADO FINO – PIEDRA LIZA

Procedimiento	M1	M2	M3
1. Peso Tara, [gr]	27.611	28.011	27.630
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	74.95	75.56	79.88
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	74.88	75.48	79.80
4. Peso Agua, [gr]	0.07	0.08	0.08
5. Peso Suelo Seco, [gr]	47.27	47.47	52.17
6. Contenido de Humedad, [%]	0.15	0.17	0.15
	0.16		

Fuente: Elaboración Propia, 2019

MUESTRA: AGREGADO GRUESO – PIEDRA LIZA

Procedimiento	M1	M2	M3
1. Peso Tara, [gr]	27.770	28.022	28.008
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	94.321	90.625	82.285
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	94.177	90.470	82.150
4. Peso Agua, [gr]	0.144	0.155	0.135
5. Peso Suelo Seco, [gr]	66.407	62.448	54.142
6. Contenido de Humedad, [%]	0.217	0.248	0.249
	0.240		

Fuente: Elaboración Propia, 2019



7.1.4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO (NORMA

ASTM C-29 Y NTP 400.017)

MUESTRA: AGREGADO FINO – PIEDRA LIZA

Procedimiento		
1	S = Peso de la muestra saturada con superficie seca [gr]	500.000
2	C = Peso de la muestra saturada con superficie seca + Peso del frasco + peso del agua [gr]	861.400
3	B = Peso del frasco + peso del agua [gr]	550.000
4	A = Peso de la muestra secada al horno [gr]	498.50

Fuente: Elaboración Propia, 2019

RESULTADOS			
1	Peso Específico Aparente (gr/cm ³)	(A/B+S-C)	2.614
2	Peso Específico Aparente SSS (gr/cm ³)	(S/B+S-C)	2.651
3	Peso Específico Nominal [gr/cm ³]	(A/B+A-C)	2.715
4	Absorción [%]	$((S-A/A) \times 100)$	0.30

Fuente: Elaboración Propia, 2019

MUESTRA: AGREGADO GRUESO – PIEDRA LIZA

Procedimiento		
1	S = Peso de la muestra saturada con superficie seca [gr]	3149.000
2	C = Peso de la muestra sumergida	2020.000
3	A = Peso de la muestra secada al horno [gr]	3142.000

Fuente: Elaboración Propia, 2019

RESULTADOS			
1	Peso Específico Aparente (gr/cm ³)	(A/B+S-C)	2.783
2	Peso Específico Aparente SSS (gr/cm ³)	(S/B+S-C)	2.789
3	Peso Específico Nominal [gr/cm ³]	(A/B+A-C)	2.72
4	Absorción [%]	$((S-A/A) \times 100)$	0.32

Fuente: Elaboración Propia, 2019



7.1.5. PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO (NORMA ASTM C-29 Y NTP 400.017)

1.0	Peso de la Muestra + Recipiente (kg)	5.830
2.0	Peso del Recipiente (kg)	1.63
3.0	Peso de la Muestra suelta (kg)	4.17
4.0	Volumen (m ³)	0.00274
5.0	Peso Aparente Suelto (kg/m³)	1520

Fuente: Elaboración Propia, 2019

7.1.6. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO (NORMA ASTM C-29 Y NTP 400.017)

PESO UNITARIO SUELTO:

1.0	Peso de la Muestra + Recipiente (kg)	5.650
2.0	Peso del Recipiente (kg)	1.626
3.0	Peso de la Muestra suelta (kg)	4.054
4.0	Volumen (m ³)	0.0027
5.0	Peso Aparente Suelto (kg/m³)	1480

Fuente: Elaboración Propia, 2019

PESO UNITARIO COMPACTADO:

1.0	Peso de la Muestra + Recipiente (kg)	6.015
2.0	Peso del Recipiente (kg)	1.626
3.0	Peso de la Muestra suelta (kg)	4.389
4.0	Volumen (m ³)	0.0027
5.0	Peso Aparente Compactado (kg/m³)	1601.8

Fuente: Elaboración Propia, 2019



7.2. ANEXO N°02: Diseño de Mezclas

DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ Método de Diseño del Comité 211 del ACI					
TESIS “ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS EN CHIMBOTE”					
LUGAR	: DISTRITO : NUEVO CHIMBOTE - PROVINCIA : SANTA - DPTO: ANCASH.				
FECHA	: JUNIO 2019				
ASESOR	: Ms Janet Saavedra Vera				
I. ESPECIFICACIONES:					
1.1. La Resistencia de Diseño a los 28 días es de 175 Kg/cm^2 , se desconoce el valor de la desviación estándar.					
1.2. Materiales:					
1.2.1. Cemento Pacasmayo Portland Tipo I					
	Peso Específico			3.11	gr/cm^3
1.2.2. Agregado Fino					
	Arena Gruesa - Cantera La Cumbre				
	Peso Específico			2.74	gr/cm^3
	Absorción			0.30	%
	Contenido de Humedad			0.16	%
	Módulo de Fineza			2.60	
	Peso Unitario Suelto			1520	Kg/m^3
1.2.3. Agregado Grueso					
	Piedra Chancada Cantera Piedra Lisa				
	Tamaño Maximo Nominal			3/4"	
	Peso Seco Varillado			1600	Kg/m^3
	Peso Específico			2.69	gr/cm^3
	Absorción			0.32	%
	Contenido de Humedad			0.24	%
	Peso Unitario Suelto			1480	Kg/m^3
1.2.4. Agua:					
	Agua Potable de la zona.				
II. SECUENCIA DE DISEÑO:					
2.1. Selección de la Resistencia ($f'cr$):					
Dado que no se conoce el valor de la desviación estándar, entonces se					
tiene que:		$f'cr =$	$f'c + 70 \text{ Kg/cm}^2$		
Entonces:		$f'cr =$	$175 + 75 =$	245	Kg/cm^2



2.2. Selección del Tamaño Máximo Nominal:			
El tamaño máximo nominal es de	3/4"		
2.3. Selección del Asentamiento:			
Por condiciones de colocación se requiere de una mezcla plástica con un asentamiento de 3" a 4".			
2.4. Volumen Unitario de Agua:			
Para una mezcla de concreto de 3" a 4" de asentamiento, sin aire incorporado y cuyo agregado tiene un tamaño máximo nominal de 3/4", el volumen unitario de agua es de			
		205	Lt/m ³ .
2.5. Contenido de Aire:			
Se considera	2.00	% de aire atrapado por las características de los componentes de éste concreto.	
2.6. Relación Agua - Cemento:			
Para una resistencia de diseño f'_{cr} =	245	Kg/cm ² sin aire incorporado, por Resistencia.	
la relación agua – cemento es de	0.630		
2.7. Factor Cemento:			
	$205.00 / 0.63$	$= 325.40$	$\text{Kg/m}^3 = 7.66 \text{ Bls/m}^3$.
2.8. Contenido de Agregado Grueso:			
Para un módulo de fineza de	2.60	y un tamaño máximo nominal de 3/4" le corresponde un volumen unitario de	
		0.63	m ³ de agregado grueso varillado por unidad de volumen de concreto.
Peso del Agregado Grueso =	0.63×1600	$= 1008.00$	Kg/m^3
2.9. Cálculo de Volúmenes Absolutos:			
Cemento	$325.40 / (3.11 \times 1000)$	$= 0.105$	m ³
Agua	$205.00 / (1.00 \times 1000)$	$= 0.205$	m ³
Aire Atrapado	2.00 %	$= 0.020$	m ³
Agregado Grueso	$1008.00 / (2.69 \times 1000)$	$= 0.375$	m ³
	Total	$= 0.704$	m ³
2.10 Contenido de Agregado Fino:			
Volumen absoluto de agregado fino :	$1.00 - 0.704$	$= 0.296$	m ³
Peso de agregado fino seco :	$0.296 \times 2.74 \times 1000$	$= 810.08$	m ³
2.11 Valores de Diseño:			
Cemento	325.40	Kg/m^3	
Agua de Diseño	205.00	Lt/m^3	
Agregado Fino Seco	810.08	Kg/m^3	
Agregado Grueso Seco	1008.00	Kg/m^3	



2.12 Corrección por Humedad de los Agregados:						
Agregado Fino	810.08	×	1.0016	=	811.38	Kg/m ³
Agregado Grueso	1008.00	×	1.0024	=	1010.42	Kg/m ³
Humedad Superficial de:						
Agregado Fino	0.16	-	0.30	=	-0.14	%
Agregado Grueso	0.24	-	0.32	=	-0.08	%
Aporte de Humedad de los Agregados:						
Agregado Fino	810.08	×	$\left[-0.0014 \right]$	=	-1.13	Lt/m ³
Agregado Grueso	1008.00	×	$\left[-0.0008 \right]$	=	-0.81	Lt/m ³
	Total			=	-1.94	Lt/m ³
Agua Efectiva	205.00	-	$\left[-1.94 \right]$	=	206.94	Lt/m ³
Los pesos de los materiales ya corregidos serán:						
Cemento	325.40	Kg/m ³				
Agua Efectiva	206.94	Lt/m ³				
Agregado Fino Húmedo	811.38	Kg/m ³				
Agregado Grueso Húmedo	1010.42	Kg/m ³				
2.13 Proporción en Peso Húmedo:						
	325.40 / 325.40	:	811.38 / 325.40	:	1010.42 / 325.40	1 : 2.49 : 3.11 : 0.64
2.14 Pesos por Tanda de un Saco:						
Cemento	1.00	×	42.5	=	42.50	Kg/saco
Agua Efectiva	0.64	×	42.5	=	27.03	Lt/saco
Agregado Fino Húmedo	2.49	×	42.5	=	105.97	Kg/saco
Agregado Grueso Húmedo	3.11	×	42.5	=	131.97	Kg/saco
2.15 Peso por Pie Cúbico del:						
Agregado Fino Húmedo	811.38	×	35.31 / 1520	=	18.85	Kg/pie ³
Agregado Grueso Húmedo	1010.42	×	35.31 / 1480	=	24.11	Kg/pie ³
2.16 Dosificación en Volumen:						
Cemento	7.66	/	7.66	=	1.00	pie ³
Agregado Fino Húmedo	18.85	/	7.66	=	2.46	pie ³
Agregado Grueso Húmedo	24.11	/	7.66	=	3.15	pie ³
Agua de Mezcla	206.94	/	7.66	=	27.03	Lt/bolsa
SE RECOMIENDA USAR : 1 : 2.4 : 3.10 / 27.00 Lt/bls						

Fuente: Elaboración Propia, 2019



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

Método de Diseño del Comité 211 del ACI

TESIS “ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS EN CHIMBOTE”

LUGAR : DISTRITO : NUEVO CHIMBOTE - PROVINCIA : SANTA - DPTO: ANCASH.

FECHA : JUNIO 2019

ASESOR : Ms Janet Saavedra Vera

I. ESPECIFICACIONES:

1.1. La Resistencia de Diseño a los 28 días es de 210 Kg/cm^2 , se desconoce el valor de la desviación estándar.

1.2. Materiales:

1.2.1. Cemento Pacasmayo Portland Tipo I

Peso Específico 3.11 gr/cm^3

1.2.2. Agregado Fino

Arena Gruesa - Cantera La Cumbre

Peso Específico 2.74 gr/cm^3

Absorción 0.30 %

Contenido de Humedad 0.16 %

Módulo de Fineza 2.60

Peso Unitario Suelto 1520 Kg/m^3

1.2.3. Agregado Grueso

Piedra Chancada Cantera Piedra Lisa

Tamaño Maximo Nominal 3/4"

Peso Seco Varillado 1600 Kg/m^3

Peso Específico 2.69 gr/cm^3

Absorción 0.32 %

Contenido de Humedad 0.24 %

Peso Unitario Suelto 1480 Kg/m^3

1.2.4. Agua:

Agua Potable de la zona.

II. SECUENCIA DE DISEÑO:

2.1. Selección de la Resistencia ($f'cr$):

Dado que no se conoce el valor de la desviación estándar, entonces se

tiene que: $f_{cr} = f_c + 84 \text{ Kg/cm}^2$

Entonces: $f_{cr} = 210 + 84 = 294 \text{ Kg/cm}^2$



2.2. Selección del Tamaño Máximo Nominal:

El tamaño máximo nominal es de 3/4"

2.3. Selección del Asentamiento:

Por condiciones de colocación se requiere de una mezcla plástica con un asentamiento de 3" a 4".

2.4. Volumen Unitario de Agua:

Para una mezcla de concreto de 3" a 4" de asentamiento, sin aire incorporado y cuyo agregado tiene un tamaño máximo nominal de 3/4" , el volumen unitario de agua es de **205** Lt/m³.

2.5. Contenido de Aire:

Se considera 2.00 % de aire atrapado por las características de los componentes de éste concreto.

2.6. Relación Agua - Cemento:

Para una resistencia de diseño $f_{cr} = 294$ Kg/cm² sin aire incorporado, la relación agua – cemento es de **0.560** por Resistencia.

2.7. Factor Cemento:

$$205.00 / 0.56 = 366.07 \text{ Kg/m}^3 = 8.61 \text{ Bls/m}^3.$$

2.8. Contenido de Agregado Grueso:

Para un módulo de fineza de 2.60 y un tamaño máximo nominal de 3/4" le corresponde un volumen unitario de **0.63** m³ de agregado grueso varillado por unidad de volumen de concreto.

$$\text{Peso del Agregado Grueso} = 0.63 \times 1600 = 1008.00 \text{ Kg/m}^3$$

2.9. Cálculo de Volúmenes Absolutos:

Cemento	366.07 / (3.11 x 1000)=	0.118 m ³
Agua	205.00 / (1.00 x 1000)=	0.205 m ³
Aire Atrapado	2.00 % =	0.020 m ³
Agregado Grueso	1008.00 / (2.69 x 1000)=	0.375 m ³
Total	=	0.717 m ³

2.10 Contenido de Agregado Fino:

$$\begin{aligned} \text{Volumen absoluto de agregado fino} &: 1.00 - 0.717 = 0.283 \text{ m}^3 \\ \text{Peso de agregado fino seco} &: 0.283 \times 2.74 \times 1000 = 774.24 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2.11 Valores de Diseño:

Cemento	366.07 Kg/m ³
Agua de Diseño	205.00 Lt/m ³
Agregado Fino Seco	774.24 Kg/m ³
Agregado Grueso Seco	1008.00 Kg/m ³



2.12 Corrección por Humedad de los Agregados:

Agregado Fino	774.24	x	1.0016	=	775.48	Kg/m ³
Agregado Grueso	1008.00	x	1.0024	=	1010.42	Kg/m ³

Humedad Superficial de:

Agregado Fino	0.16	-	0.30	=	-0.14	%
Agregado Grueso	0.24	-	0.32	=	-0.08	%

Aporte de Humedad de los Agregados:

Agregado Fino	774.24	x	{ -0.0014 }	=	-1.08	Lt/m ³
Agregado Grueso	1008.00	x	{ -0.0008 }	=	-0.81	Lt/m ³
Total				=	-1.89	Lt/m ³

$$\text{Agua Efectiva} \quad 205.00 \quad - \quad [-1.89] \quad = \quad 206.89 \text{ Lt/m}^3$$

Los pesos de los materiales ya corregidos serán:

Cemento	366.07 Kg/m ³
Agua Efectiva	206.89 Lt/m ³
Agregado Fino Húmedo	775.48 Kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	1010.42 Kg/m ³

2.13 Proporción en Peso Húmedo:

$$366.07 / 366.07 \quad : \quad 775.48 / 366.07 \quad : \quad 1010.42 / 366.07 \quad : \quad 206.89 / 366.07 \quad \text{1} \quad : \quad \mathbf{2.12} \quad : \quad \mathbf{2.76} \quad \mathbf{0.57}$$

2.14 Pesos por Tanda de un Saco:

Cemento	1.00	x	42.5	=	42.50	Kg/saco
Agua Efectiva	0.57	x	42.5	=	24.02	Lt/saco
Agregado Fino Húmedo	2.12	x	42.5	=	90.03	Kg/saco
Agregado Grueso Húmedo	2.76	x	42.5	=	117.31	Kg/saco

2.15 Peso por Pie Cúbico del:

Agregado Fino Húmedo	775.48	x	35.31 / 1520	=	18.01	Kg/pie ³
Agregado Grueso Húmedo	1010.42	x	35.31 / 1480	=	24.11	Kg/pie ³

2.16 Dosificación en Volumen:

Cemento	8.61	/	8.61	=	1.00	pie ³
Agregado Fino Húmedo	18.01	/	8.61	=	2.09	pie ³
Agregado Grueso Húmedo	24.11	/	8.61	=	2.80	pie ³
Agua de Mezcla	206.89	/	8.61	=	24.02	Lt/bolsa

SE RECOMIENDA USAR : 1 : 2.1 : 2.80 / 24.00 Lt/bls

Fuente: Elaboración Propia, 2019



7.3. ANEXO N°03: Resultados del Concreto Ensayados

7.3.1. ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, $f'c=175\text{kg/cm}^2$

Muestra patrón $f'c=175\text{kg/cm}^2$: Sin adición de ceniza de briqueta

Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 7 días				
Probeta	1	2	3	4
Identificación de testigo	MP1	MP1	MP1	MP1
Resistencia promedio	175	175	175	175
Edad en días	7	7	7	7
Fecha de elaboración	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019
Fecha de ensayo	07/10/2109	07/10/2109	07/10/2109	07/10/2109
Altura del espécimen (mm)	301	303	304	302
Diámetro (mm)	153	150	153	153
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	183.85
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,589.16	5,552.39
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.32	2.34
Carga de ruptura (kg)	31,278.0	29,382.0	30,872.0	31,770.0
Resistencia (kg/cm ²)	170.12	166.27	167.92	172.80
Resistencia promedio (kg/cm²)	169.28			

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Muestra Patrón : Concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$, Sin adición de ceniza de briqueta				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 14 días				
Probeta	5	6	7	8
Identificación de testigo	MP1	MP1	MP1	MP1
Resistencia promedio	175	175	175	175
Edad en días	14	14	14	14
Fecha de elaboración	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019
Fecha de ensayo	14/10/2109	14/10/2109	14/10/2109	14/10/2109
Altura del espécimen (mm)	300	303	301	302
Diámetro (mm)	153	151	151	152
Área (cm ²)	183.85	179.08	179.08	181.46
Volumen (cm ³)	5,515.62	5,426.08	5,390.27	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.45	2.31	2.41	2.37
Carga de ruptura (kg)	38,096.0	35,787.0	37,603.0	38,695.0
Resistencia (kg/cm ²)	207.21	199.84	209.98	213.24
Resistencia promedio (kg/cm²)	207.57			

Fuente: Elaboración Propia, 2019



“ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS DE CARBÓN EN CHIMBOTE”.

Muestra Patrón : Concreto f'c=175kg/cm2, Sin adición de ceniza de briqueta				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 28 días				
Probeta	9	10	11	12
Identificación de testigo	MP1	MP1	MP1	MP1
Resistencia promedio	175	175	175	175
Edad en días	28	28	28	28
Fecha de elaboración	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019
Fecha de ensayo	28/10/2019	28/10/2019	28/10/2019	28/10/2019
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	46,417.00	43,604.00	45,815.00	47,145.00
Resistencia (kg/cm ²)	252.47	246.75	249.19	259.81
Resistencia promedio (kg/cm²)	252.05			

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra : Concreto f'c=175kg/cm2 ,con adición de ceniza de briqueta 5%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 7 días				
Probeta	13	14	15	16
Identificación de testigo	MP1+5%CB	MP1+5%CB	MP1+5%CB	MP1+5%CB
Resistencia promedio	175	175	175	175
Edad en días	7	7	7	7
Fecha de elaboración	01/10/2019	01/10/2019	01/10/2019	01/10/2019
Fecha de ensayo	08/10/2109	08/10/2109	08/10/2109	08/10/2109
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	39,681.0	37,277.0	39,167.0	40,304.0
Resistencia (kg/cm ²)	215.83	210.94	213.03	222.11
Resistencia promedio (kg/cm²)	215.48			

Fuente: Elaboración propia



“ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS DE CARBÓN EN CHIMBOTE”.

Muestra : Concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$,con adición de ceniza de briqueta 5%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 14 días				
Probeta	17	18	19	20
Identificación de testigo	MP1+5%CB	MP1+5%CB	MP1+5%CB	MP1+5%CB
Resistencia promedio	175	175	175	175
Edad en días	14	14	14	14
Fecha de elaboración	01/10/2019	01/10/2019	01/10/2019	01/10/2019
Fecha de ensayo	15/10/2109	15/10/2109	15/10/2109	15/10/2109
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm^2)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm^3)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm^3)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	43,045.0	40,436.0	42,488.0	43,721.0
Resistencia (kg/cm^2)	234.13	228.82	231.10	240.94
Resistencia promedio (kg/cm^2)	233.75			

Fuente: Elaboración Propia

Muestra : Concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$,con adición de ceniza de briqueta 5%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 28 días				
Probeta	21	22	23	24
Identificación de testigo	MP1+5%CB	MP1+5%CB	MP1+5%CB	MP1+5%CB
Resistencia promedio	175	175	175	175
Edad en días	28	28	28	28
Fecha de elaboración	01/10/2019	01/10/2019	01/10/2019	01/10/2019
Fecha de ensayo	29/10/2109	29/10/2109	29/10/2109	29/10/2109
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm^2)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm^3)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm^3)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	46,291.0	43,486.0	45,692.0	47,019.0
Resistencia (kg/cm^2)	251.78	246.08	248.52	259.12
Resistencia promedio (kg/cm^2)	251.38			

Fuente Elaboración Propia



“ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS DE CARBÓN EN CHIMBOTE”.

Muestra : Concreto f'c=175kg/cm² ,con adición de ceniza de briqueta 10%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 7 días				
Probeta	25	26	27	28
Identificación de testigo	MP1+10%CB	MP1+10%CB	MP1+10%CB	MP1+10%CB
Resistencia promedio	175	175	175	175
Edad en días	7	7	7	7
Fecha de elaboración	02/10/2019	02/10/2019	02/10/2019	02/10/2019
Fecha de ensayo	09/10/2109	09/10/2109	09/10/2109	09/10/2109
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	43,790.0	41,180.0	43,240.0	44,450.0
Resistencia (kg/cm ²)	238.18	233.03	235.19	244.96
Resistencia promedio (kg/cm²)	237.84			

Fuente Elaboración Propia

Muestra : Concreto f'c=175kg/cm² ,con adición de ceniza de briqueta 10%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 14 días				
Probeta	29	30	31	32
Identificación de testigo	MP1+10%CB	MP1+10%CB	MP1+10%CB	MP1+10%CB
Resistencia promedio	175	175	175	175
Edad en días	14	14	14	14
Fecha de elaboración	02/10/2019	02/10/2019	02/10/2019	02/10/2019
Fecha de ensayo	16/10/2019	16/10/2019	16/10/2019	16/10/2019
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	51,228.0	44,491.0	46,749.0	48,106.0
Resistencia (kg/cm ²)	278.63	251.77	254.27	265.11
Resistencia promedio (kg/cm²)	262.45			

Fuente: Elaboración Propia



“ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS DE CARBÓN EN CHIMBOTE”.

Muestra : Concreto f'c=175kg/cm² ,con adición de ceniza de briqueta 10%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 28 días				
Probeta	33	34	35	36
Identificación de testigo	MP1+10%CB	MP1+10%CB	MP1+10%CB	MP1+10%CB
Resistencia promedio	175	175	175	175
Edad en días	28	28	28	28
Fecha de elaboración	02/10/2019	02/10/2019	02/10/2019	02/10/2019
Fecha de ensayo	30/10/2019	30/10/2019	30/10/2019	30/10/2019
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	49,704.0	46,692.0	49,061.0	50,485.0
Resistencia (kg/cm ²)	270.35	264.22	266.85	278.22
Resistencia promedio (kg/cm²)	269.91			

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra : Concreto f'c=175kg/cm² ,con adición de ceniza de briqueta 15%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 7 días				
Probeta	37	38	39	40
Identificación de testigo	MP1+15%CB	MP1+15%CB	MP1+15%CB	MP1+15%CB
Resistencia promedio	175	175	175	175
Edad en días	7	7	7	7
Fecha de elaboración	03/10/2019	03/10/2019	03/10/2019	03/10/2019
Fecha de ensayo	10/10/2019	10/10/2019	10/10/2019	10/10/2019
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	152	151	153	154
Área (cm ²)	181.46	179.08	183.85	186.27
Volumen (cm ³)	5,461.90	5,426.08	5,534.00	5,625.20
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.47	2.31	2.35	2.31
Carga de ruptura (kg)	39,227.0	36,851.0	38,719.0	39,845.0
Resistencia (kg/cm ²)	216.18	205.78	210.60	213.92
Resistencia promedio (kg/cm²)	211.62			

Fuente: Elaboración Propia



"ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS DE CARBÓN EN CHIMBOTE".

Muestra Patrón : Concreto f'c=175kg/cm² ,con adición de ceniza de briqueta 15%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 14 días				
Probeta	41	42	43	44
Identificación de testigo	MP1+15%CB	MP1+15%CB	MP1+15%CB	MP1+15%CB
Resistencia promedio	175	175	175	175
Edad en días	14	14	14	14
Fecha de elaboración	03/10/2019	03/10/2019	03/10/2019	03/10/2019
Fecha de ensayo	17/10/2019	17/10/2019	17/10/2019	17/10/2019
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	42,913.0	40,312.0	42,358.0	43,587.0
Resistencia (kg/cm ²)	233.41	228.12	230.39	240.20
Resistencia promedio (kg/cm²)	233.03			

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra Patrón : Concreto f'c=175kg/cm² ,con adición de ceniza de briqueta 15%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 28 días				
Probeta	45	46	47	48
Identificación de testigo	MP1+15%CB	MP1+15%CB	MP1+15%CB	MP1+15%CB
Resistencia promedio	175	175	175	175
Edad en días	28	28	28	28
Fecha de elaboración	03/10/2019	03/10/2019	03/10/2019	03/10/2019
Fecha de ensayo	31/10/2019	31/10/2019	31/10/2019	31/10/2019
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	47,363.0	44,492.0	46,749.0	48,107.0
Resistencia (kg/cm ²)	257.61	251.77	254.27	265.11
Resistencia promedio (kg/cm²)	257.19			

Fuente: Elaboración Propia.



“ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS DE CARBÓN EN CHIMBOTE”.

Muestra Patrón : Concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, Sin adición de ceniza de briqueta				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 7 días				
Probeta	49	50	51	52
Identificación de testigo	MP2	MP2	MP2	MP2
Resistencia promedio	210	210	210	210
Edad en días	7	7	7	7
Fecha de elaboración	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019
Fecha de ensayo	14/10/2019	14/10/2019	14/10/2019	14/10/2019
Altura del espécimen (mm)	303	304	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,570.77	5,372.12	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.42	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	40,662.0	38,198.0	40,134.0	41,302.0
Resistencia (kg/cm ²)	221.16	216.16	218.29	227.61
Resistencia promedio (kg/cm²)	220.81			

7.3.2. ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, $f'c=210\text{kg/cm}^2$

Muestra : Concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, Sin adición de ceniza de briqueta				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 14 días				
Probeta	53	54	55	56
Identificación de testigo	MP2	MP2	MP2	MP2
Resistencia promedio	210	210	210	210
Edad en días	14	14	14	14
Fecha de elaboración	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019
Fecha de ensayo	14/10/2109	14/10/2109	14/10/2109	14/10/2109
Altura del espécimen (mm)	300	303	300	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,515.62	5,354.45	5,515.62	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.45	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	47,239.0	44,376.0	46,627.0	47,982.0
Resistencia (kg/cm ²)	256.94	251.12	253.61	264.42
Resistencia promedio (kg/cm²)	256.52			

Fuente: Elaboración Propia



“ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS DE CARBÓN EN CHIMBOTE”.

Muestra Patrón : Concreto f'c=210kg/cm2, Sin adición de ceniza de briqueta				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 28 días				
Probeta	57	58	59	60
Identificación de testigo	MP2	MP2	MP2	MP2
Resistencia promedio	210	210	210	210
Edad en días	28	28	28	28
Fecha de elaboración	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019
Fecha de ensayo	04/11/2019	04/11/2019	04/11/2019	04/11/2019
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	55,483.0	52,980.0	55,567.0	56,552.0
Resistencia (kg/cm ²)	301.78	299.81	302.23	311.65
Resistencia promedio (kg/cm²)	303.87			

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra Patrón : Concreto f'c=210kg/cm2 ,con adición de ceniza de briqueta 5%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 7 días				
Probeta	61	62	63	64
Identificación de testigo	MP2+5%CB	MP2+5%CB	MP2+5%CB	MP2+5%CB
Resistencia promedio	210	210	210	210
Edad en días	7	7	7	7
Fecha de elaboración	09/10/2019	09/10/2019	09/10/2019	09/10/2019
Fecha de ensayo	15/10/2019	15/10/2019	15/10/2019	15/10/2019
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	48,641.0	45,693.0	48,010.1	49,404.2
Resistencia (kg/cm ²)	264.56	258.57	261.13	272.26
Resistencia promedio (kg/cm²)	264.13			

Fuente: Elaboración Propia.



“ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS DE CARBÓN EN CHIMBOTE”.

Muestra : Concreto f'c=210kg/cm² ,con adición de ceniza de briqueta 5%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 14 días				
Probeta	65	66	67	68
Identificación de testigo	MP2+5%CB	MP2+5%CB	MP2+5%CB	MP2+5%CB
Resistencia promedio	210	210	210	210
Edad en días	14	14	14	14
Fecha de elaboración	09/10/2019	09/10/2019	09/10/2019	09/10/2019
Fecha de ensayo	22/10/2019	22/10/2019	22/10/2019	22/10/2019
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	50,887.0	47,802.0	50,228.0	51,686.0
Resistencia (kg/cm ²)	276.78	270.50	273.20	284.84
Resistencia promedio (kg/cm²)	276.33			

Fuente: Elaboración Propia

Muestra : Concreto f'c=210kg/cm² ,con adición de ceniza de briqueta 5%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 28 días				
Probeta	69	70	71	72
Identificación de testigo	MP2+5%CB	MP2+5%CB	MP2+5%CB	MP2+5%CB
Resistencia promedio	210	210	210	210
Edad en días	28	28	28	28
Fecha de elaboración	09/10/2019	09/10/2019	09/10/2019	09/10/2019
Fecha de ensayo	31/10/2109	31/10/2109	31/10/2109	31/10/2109
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	60,534.0	56,865.0	59,749.0	61,484.0
Resistencia (kg/cm ²)	329.25	321.79	324.98	338.83
Resistencia promedio (kg/cm²)	328.71			

Fuente: Elaboración Propia



"ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS DE CARBÓN EN CHIMBOTE".

Muestra : Concreto f'c=210kg/cm ² ,con adición de ceniza de briqueta 10%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 7 días				
Probeta	73	74	75	76
Identificación de testigo	MP2+10%CB	MP2+10%CB	MP2+10%CB	MP2+10%CB
Resistencia promedio	210	210	210	210
Edad en días	7	7	7	7
Fecha de elaboración	10/10/2019	10/10/2019	10/10/2019	10/10/2019
Fecha de ensayo	10/10/2109	10/10/2109	10/10/2109	10/10/2109
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	59,553.0	55,944.0	58,782.0	60,489.0
Resistencia (kg/cm ²)	323.91	316.58	319.72	333.35
Resistencia promedio (kg/cm²)	323.39			

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra : Concreto f'c=210kg/cm ² ,con adición de ceniza de briqueta 10%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 14 días				
Probeta	77	78	79	80
Identificación de testigo	MP2+10%CB	MP2+10%CB	MP2+10%CB	MP2+10%CB
Resistencia promedio	210	210	210	210
Edad en días	14	14	14	14
Fecha de elaboración	10/10/2019	10/10/2019	10/10/2019	10/10/2019
Fecha de ensayo	17/10/2109	17/10/2109	17/10/2109	17/10/2109
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	61,959.0	58,204.0	61,157.0	62,933.0
Resistencia (kg/cm ²)	337.00	329.37	332.64	346.82
Resistencia promedio (kg/cm²)	336.46			

Fuente: Elaboración Propia.



“ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS DE CARBÓN EN CHIMBOTE”.

Muestra : Concreto f'c=210kg/cm² ,con adición de ceniza de briqueta 10%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 28 días				
Probeta	81	82	83	84
Identificación de testigo	MP2+10%CB	MP2+10%CB	MP2+10%CB	MP2+10%CB
Resistencia promedio	210	210	210	210
Edad en días	28	28	28	28
Fecha de elaboración	10/10/2019	10/10/2019	10/10/2019	10/10/2019
Fecha de ensayo	31/10/2109	31/10/2109	31/10/2109	31/10/2109
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	65,684.0	61,703.0	64,833.0	66,716.0
Resistencia (kg/cm ²)	357.26	349.17	352.63	367.67
Resistencia promedio (kg/cm²)	356.68			

Fuente: Elaboración propia

Muestra : Concreto f'c=210kg/cm² ,con adición de ceniza de briqueta 15%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 7 días				
Probeta	85	86	87	88
Identificación de testigo	MP2+15%CB	MP2+15%CB	MP2+15%CB	MP2+15%CB
Resistencia promedio	210	210	210	210
Edad en días	7	7	7	7
Fecha de elaboración	11/10/2019	11/10/2019	11/10/2019	11/10/2019
Fecha de ensayo	31/10/2109	31/10/2109	31/10/2109	31/10/2109
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	152	151	153	154
Área (cm ²)	181.46	179.08	183.85	186.27
Volumen (cm ³)	5,461.90	5,426.08	5,534.00	5,625.20
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.47	2.31	2.35	2.31
Carga de ruptura (kg)	43,621.0	40,977.0	43,054.0	44,307.0
Resistencia (kg/cm ²)	240.39	228.82	234.18	237.87
Resistencia promedio (kg/cm²)	235.31			

Fuente: Elaboración Propia.



"ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO INCORPORANDO CENIZA DE BRIQUETAS DE CARBÓN EN CHIMBOTE".

Muestra : Concreto f'c=210kg/cm ² ,con adición de ceniza de briqueta 15%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 14 días				
Probeta	89	90	91	92
Identificación de testigo	MP2+15%CB	MP2+15%CB	MP2+15%CB	MP2+15%CB
Resistencia promedio	210	210	210	210
Edad en días	14	14	14	14
Fecha de elaboración	11/10/2019	11/10/2019	11/10/2019	11/10/2019
Fecha de ensayo	31/10/2109	31/10/2109	31/10/2109	31/10/2109
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	51,613.0	48,485.0	50,943.0	52,424.0
Resistencia (kg/cm ²)	280.73	274.37	277.08	288.90
Resistencia promedio (kg/cm²)	280.27			

Fuente: Elaboración Propia.

Muestra : Concreto f'c=210kg/cm ² ,con adición de ceniza de briqueta 15%				
Resultados para probetas de concreto de la muestra patron a los 28 días				
Probeta	93	94	95	96
Identificación de testigo	MP2+15%CB	MP2+15%CB	MP2+15%CB	MP2+15%CB
Resistencia promedio	210	210	210	210
Edad en días	28	28	28	28
Fecha de elaboración	11/10/2019	11/10/2019	11/10/2019	11/10/2019
Fecha de ensayo	31/10/2109	31/10/2109	31/10/2109	31/10/2109
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302
Diámetro (mm)	153	150	153	152
Área (cm ²)	183.85	176.71	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5,534.00	5,354.45	5,534.00	5,480.04
Masa (gr)	13,498.68	12,545.87	12,986.23	12,992.42
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.44	2.34	2.35	2.37
Carga de ruptura (kg)	56,926.0	53,476.0	56,189.0	57,820.0
Resistencia (kg/cm ²)	309.63	302.61	305.62	318.64
Resistencia promedio (kg/cm²)	309.12			

Fuente: Elaboración Propia



7.3.3. ENSAYO DE ASENTAMIENTO

ENSAYO DE TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO								
NTP.339.035								
Muestras	Concreto Patron $f_c=175\text{kg/cm}^2$		Concreto con adición de ceniza de carbon al 5%		Concreto con adición de ceniza de carbon al 10%		Concreto con adición de ceniza de carbon al 15%	
Asentamiento	cm.	pulg.	cm.	pulg.	cm.	pulg.	cm.	pulg.
1	10.5	4.13	7.8	3.07	7	2.76	6	2.36
2	9.8	3.86	7.5	2.95	7.3	2.87	6.2	2.44
Promedio	10.15	4.00	7.65	3.01	7.15	2.81	6.10	2.40

Fuente: Elaboración Propia.

ENSAYO DE TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO								
NTP.339.035								
Muestras	Concreto Patron $f_c=210\text{kg/cm}^2$		Concreto con adición de ceniza de carbon al 5%		Concreto con adición de ceniza de carbon al 10%		Concreto con adición de ceniza de carbon al 15%	
Asentamiento	cm.	pulg.	cm.	pulg.	cm.	pulg.	cm.	pulg.
1	11	4.33	8	3.15	6.2	2.44	4.6	1.81
2	10.5	4.13	8.8	3.46	6	2.36	5.5	2.17
Promedio	10.75	4.23	8.40	3.31	6.10	2.40	5.05	1.99

Fuente: Elaboración Propia.

7.4. ANEXO N°04: Panel Fotográfico



Foto 1: Briquetas de carbón utilizado para el cocido de los ladrillos de arcilla.



Foto 2: Briquetas de carbón utilizado para el cocido de los ladrillos de arcilla.



Foto 3: Cenizas de briquetas de carbón, posterior al cocido de ladrillos.



Foto 4: Cenizas de briquetas de carbón, posterior al cocido de ladrillos.



Foto 5: Tamizado con las mallas estándar del agregado fino para hallar su granulometría.



Foto 6: Agregados para realizar los análisis por Tamizado para hallar su granulometría.



Foto 7: Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino



Foto 8: Ensayo para resultado de peso unitario del agregado fino.

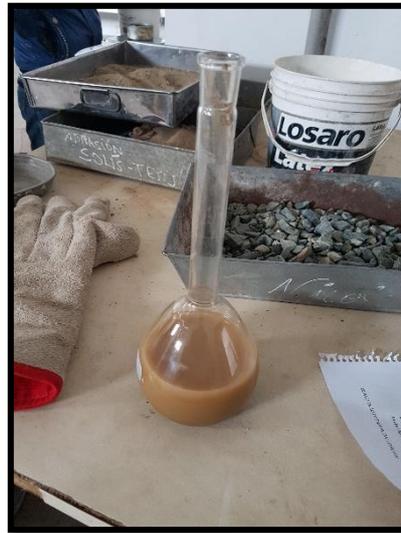


Foto 9: Fiola con agua y agregado fino lista para ser hervida para encontrar el peso específico del agregado fino.



Foto 10: Realizando el procedimiento de laboratorio para el mezclado del concreto en el trompo.



Foto 11: Mezcla de concreto en el trompo.



Foto 12: Curado de proveas para su posterior ensayo a la compresión



Foto 13: Testigo (probeta) de concreto ensayado.



Foto 14: Testigo (probeta) de concreto ensayado.



Foto 15: Ensayo de compresión de testigos (probeta).



Foto 16: Ensayo de compresión de testigos (probeta).