

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CENIZAS DE CASCARILLA
DE ARROZ EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS
LADRILLOS DE CONCRETO”**

TESIS

Para obtener el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por la bachiller:

JANETH VANESSA MORILLOS VERÁSTEGUI

Asesor:

Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

CAJAMARCA – PERÚ

2021

COPYRIGHT © 2021 by
JANETH VANESSA MORILLOS VERASTEGUI
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

A mi hijo Gael Hernán Cruzado Morillos, por ser mi pequeño motor y gran impulso para mi superación profesional y personal cada día.

A mis padres, Miguel Morillos y Rosa Verástegui, por brindarme sus cuidados, cariño y amor en todo momento de mi vida.

A mis hermanos Elizabeth y Miguel, por su cariño fraternal, y apoyo moral.

Janeth Vanessa Morillos Verástegui

AGRADECIMIENTO

A DIOS mi padre celestial, por darme la vida, salud y guiar mi camino. Lámpara a mis pies es tu palabra, y luz para mi camino (Salmos 119:105).

A mi asesor Dr. Ing. Miguel Mosqueira Moreno, por la paciencia y todo el apoyo brindado en las consultas y sugerencias durante la formulación, desarrollo y elaboración de la tesis.

A mis padres por todo el apoyo incondicional, y la confianza que pusieron en mí para terminar la carrera profesional.

A todos mis docentes ingenieros de la universidad, quienes me brindaron sus conocimientos, enseñanzas y tiempo; pero sobre todo nos enseñaron a valorar la noble profesión; en especial a mi primer asesor quien ya no está presente físicamente entre nosotros el ingeniero Héctor Pérez Loayza.

A mis compañeros de aula, Víctor, Cecilia, Ysis, Joel y Jhonny, con quienes compartí la etapa más bonita de mi vida, en donde se encuentren Dios los bendiga.

Janeth Vanessa Morillos Verástegui

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE GRÁFICOS	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ECUACIONES	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Justificación e importancia.....	2
1.4. Alcances o delimitación de la investigación	2
1.5. Limitaciones	3
1.6. Objetivos	3
1.6.1. Objetivo general.....	3
1.6.2. Objetivos específicos.....	3
1.7. Hipótesis.....	4
CAPITULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación.....	5
2.1.1. Antecedentes Internacionales	5
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	5
2.1.3. Antecedentes Locales	6

2.2.	Bases teóricas	6
2.2.1.	Unidades de albañilería de concreto:	6
2.2.2.	Componentes de las unidades de albañilería de concreto:	9
2.2.3.	Ensayos físico mecánicos de las unidades de albañilería:.....	22
2.2.4.	Puzolanas	25
2.2.5.	Concreto vibrado.....	31
2.2.6.	Mortero	33
2.2.7.	Propiedades de la Albañilería Simple.....	35
2.2.8.	Procedimientos utilizados en el presente proyecto según NTP	40
2.3.	Definición de términos básicos	42
CAPITULO III.....		44
MATERIALES Y MÉTODOS		44
3.1.	Ubicación geográfica	44
3.1.1.	Ubicación del desarrollo de la Investigación.....	44
3.1.2.	Ubicación de la Cantera de Agregados:	45
3.1.3.	Ubicación de la Molinera de Ceniza de cascarilla de arroz.	45
3.2.	Metodología de la investigación	46
3.2.1.	Tipo de investigación.....	46
3.2.2.	Diseño y Nivel de Investigación.....	46
3.2.3.	Población, muestra y unidad de análisis.	47
3.2.4.	Técnicas e instrumentos de recopilación de información	48
3.2.5.	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	48
3.2.6.	Equipos, materiales, insumos, etc.....	49
3.3.	PROCEDIMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	50
3.3.1.	Propiedades físicas y mecánicas de los agregados para elaboración de las unidades de concreto.....	50
3.3.2.	Propiedades físicas de las cenizas de cascarilla de arroz	50
3.3.3.	Diseño de mezclas del concreto patrón para la elaboración de unidades de albañilería.....	51
3.3.4.	Propiedades de la mezcla del concreto patrón para la elaboración de las unidades de albañilería.	52
3.3.5.	Ajuste del diseño de mezclas del concreto patrón.	53
3.3.6.	Tiempo óptimo de vibrado para las unidades de albañilería de concreto	54
3.3.7.	Elaboración de las unidades de albañilería de concreto vibrado sin adición y con adición de cenizas de cascarilla de arroz.	54

3.3.8.	Propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería.....	56
3.3.9.	Elaboración y ensayo a compresión del mortero de prueba	57
3.3.10.	Elaboración y ensayo a compresión axial de prismas	57
3.4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	57
3.4.1.	Propiedades físicas y mecánicas de los agregados.	57
3.4.2.	Propiedades físicas de las cenizas de cáscara de arroz.....	59
3.4.3.	Diseño de Mezclas.....	60
3.4.4.	Propiedades de la mezcla de concreto patrón para unidades de albañilería.....	60
3.4.5.	Ajuste del diseño de mezclas	60
3.4.6.	Tiempo óptimo de vibrado.....	61
3.4.7.	Propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería.....	62
3.4.8.	Mortero de prueba	69
3.4.9.	Ensayo a compresión axial de prismas.....	71
3.4.10.	Módulo de elasticidad de prismas	73
CAPITULO IV	.....	78
ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	.....	78
4.1.1.	Propiedades físicas y mecánicas de los agregados.	78
4.1.2.	Propiedades físicas de las cenizas de cáscara de arroz.....	79
4.1.3.	Propiedades de la mezcla de concreto patrón para unidades de albañilería.....	79
4.1.4.	Tiempo óptimo de vibrado.....	79
4.1.5.	Propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería.....	80
4.1.6.	Mortero de prueba	81
4.1.7.	Ensayo a compresión axial de prismas.....	82
4.1.8.	Módulo de elasticidad de prismas	82
CAPITULO V	.....	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	83
5.1.	Conclusiones	83
5.2.	Recomendaciones.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	85
ANEXOS	.....	89
1.	Hoja de datos de seguridad del Cemento tipo I Pacasmayo	89
2.	Especificación técnica del cemento tipo I Pacasmayo	90

3.	Proceso de elaboración de las cenizas de cascarilla de arroz	91
4.	Propiedades físicas y mecánicas de los agregados	92
4.1.	Granulometría del Agregado fino:	92
4.2.	Granulometría del Agregado grueso:	94
4.3.	Peso específico y absorción del agregado fino	96
4.4.	Peso específico y absorción del agregado grueso	96
4.5.	Peso unitario del agregado fino	97
4.6.	Peso unitario del agregado grueso	97
4.7.	Contenido de humedad del agregado fino.	98
4.8.	Contenido de humedad del agregado grueso.	98
4.9.	Porcentaje de abrasión del agregado grueso	99
5.	Diseño de mezclas y ajuste del diseño de mezclas:	99
6.	Mortero:	103
6.2.	Diseño de mezclas del mortero	107
6.3.	Resistencia a compresión axial de probetas de mortero:	108
7.	Resistencia a compresión axial de unidades de concreto:	109
8.	Resistencia a compresión axial de pilas:	116
9.	Módulo de elasticidad de pilas:	118
10.	Certificado de calibración de Olla Whashington - marca Forney	131
11.	Panel Fotográfico	132

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Requisitos de resistencia y Absorción	7
Tabla 2: Clase de unidad de albañilería para fines estructurales	8
Tabla 3: Límites permisibles para el agua de mezcla y curado	14
Tabla 4: Granulometría del agregado fino	16
Tabla 5: Granulometría del agregado grueso.....	17
Tabla 6: Requisitos químicos de las puzolanas	26
Tabla 7: Requisitos físicos de las puzolanas.....	27
Tabla 8: Composición química de la CCA	29
Tabla 9: Características físicas de la CCA	30
Tabla 10: Granulometría de la arena gruesa para mortero	33
Tabla 11: Clasificación de morteros para fines estructurales y sus proporciones	34
Tabla 12: Variaciones Admisibles de Moldes de Especímenes para morteros	34
Tabla 13: Tolerancia Admisible para ensayo a compresión para morteros.....	35
Tabla 14: Resistencia a compresión en pilas según la norma E.070 de albañilería.....	36
Tabla 15: Factores de corrección de f'_m por esbeltez según NTP 399.605	37
Tabla 16: Factores de corrección de f'_m por esbeltez según NTE E.070	37
Tabla 17: Tipificación de la investigación.....	46
Tabla 18: Matriz experimental de diseño y niveles de variable de estudio	47
Tabla 19: Matriz de técnicas e instrumentos de recolección	48
Tabla 20: Propiedades físicas y mecánicas con normas respectivas realizadas a los agregados.	50
Tabla 21: Medidas de las Consistencia/ Revenimiento del Concreto.....	52
Tabla 22: Tiempo de fragua vs. Temperatura del concreto	52
Tabla 23: Temperatura del concreto vs. Humedad Relativa.....	53
Tabla 24: Propiedades físicas y mecánicas con normas respectivas realizadas a las unidades de albañilería.....	57
Tabla 25: Granulometría y módulo de fineza integral del agregado fino.....	58
Tabla 26: Granulometría y módulo de fineza integral del agregado grueso.....	58
Tabla 27: Resumen del promedio de los resultados de las propiedades.....	59
Tabla 28: Peso específico promedio de la ceniza de cáscara de arroz.....	60
Tabla 29: Proporciones del diseño de mezclas para tres especímenes de concreto.....	60
Tabla 30: Propiedades del concreto fresco	60
Tabla 31: Proporciones en peso y volumen de los ingredientes de las mezclas.....	61

Tabla 32: Influencia del Tiempo de vibrado en la resistencia a compresión.....	61
Tabla 33: Características de los ladrillos	62
Tabla 34: Alabeo de las unidades de albañilería.....	63
Tabla 35: Variabilidad dimensional de la longitud de las unidades de albañilería	63
Tabla 36: Variabilidad dimensional del ancho de las unidades de albañilería	64
Tabla 37: Variabilidad dimensional de la altura de las unidades de albañilería.....	64
Tabla 38: Succión de las unidades de albañilería	65
Tabla 39: Porcentaje de adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 3 días.....	65
Tabla 40: Porcentaje de adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 7 días	66
Tabla 41: Porcentaje de adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 14 días	67
Tabla 42: Porcentaje de adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 28 días	67
Tabla 43: Absorción de las unidades de albañilería	69
Tabla 44: Resumen de ensayos de la arena gruesa natural para mortero.....	70
Tabla 45: Dosificación para mezcla 1:4 para una relación agua/cemento 0.53.....	70
Tabla 46: Resumen de ensayos a compresión probetas de mortero.....	71
Tabla 47: Resumen de ensayos a compresión axial de pilas a los 28 días.....	72
Tabla 48: Módulo de elasticidad de pilas de albañilería sin adición de CCA.	73
Tabla 49: Módulo de elasticidad de pilas de albañilería con adición de 5% CCA.....	74
Tabla 50: Módulo de elasticidad de pilas de albañilería con adición de 10% CCA.....	75
Tabla 51: Módulo de elasticidad de pilas de albañilería con adición de 15% CCA.....	76
Tabla 52: Módulo de elasticidad de pilas de albañilería con adición de 20% CCA.....	77
Tabla 53: Hoja de datos de seguridad del material del cemento portland tipo I Pacasmayo	89
Tabla 54: Ficha técnica - Requisitos físicos y mecánicos del cemento portland tipo I Pacasmayo.	90

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica integral del agregado fino.....	58
Gráfico 2: Curva granulométrica integral del agregado grueso.....	59
Gráfico 3: Influencia del tiempo de vibrado en la resistencia a compresión promedio	62
Gráfico 4: Porcentaje de Adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 3 días.....	66
Gráfico 5: Porcentaje de Adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 7 días.....	66
Gráfico 6: Porcentaje de Adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 14 días.....	67
Gráfico 7: Porcentaje de Adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 28 días.....	68
Gráfico 8: Desarrollo de la Resistencia a compresión promedio vs el Porcentaje de adición de cenizas	68
Gráfico 9: Desarrollo de la Resistencia a compresión promedio vs La edad de las unidades	69
Gráfico 10: Promedio de resistencia a compresión vs edad de las probetas del mortero	71
Gráfico 11: Resistencia a compresión axial de pilas vs Pilas de unidades con adiciones	72
Gráfico 12: Esfuerzo vs deformación unitaria de pilas sin adición de CCA.....	73
Gráfico 13: Esfuerzo vs deformación unitaria de pilas con adición de 5% CCA.....	74
Gráfico 14: Esfuerzo vs deformación unitaria de pilas con adición de 10% CCA.....	75
Gráfico 15: Esfuerzo vs deformación unitaria de pilas con adición de 15% CCA.....	76
Gráfico 16: Esfuerzo vs deformación unitaria de pilas con adición de 20% CCA.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Partes del ladrillo	9
Figura 2: Prisma estándar para ensayos a compresión	36
Figura 3: Esquema de agrietamiento típico	38
Figura 4: Gráfico normalizado compresión vs deformación unitaria para prismas ensayadas a compresión.....	38
Figura 5: Esquemas de modo de fallas	38
Figura 6: Ubicación de la Universidad Nacional de Cajamarca.....	44
Figura 7: Ubicación de la cantera Roca fuerte (Río Chonta)	45
Figura 8: Ubicación de la Molinera El dorado	45
Figura 9: Formato de recolección de datos para ensayos en laboratorio de materiales	48
Figura 10: Dimensiones de la mesa vibratoria	55
Figura 11: Dimensiones molde metálico	56
Figura 12: Ensayo de granulometría del agregado fino.....	132
Figura 13: Ensayo de Abrasión del agregado grueso	132
Figura 14: Molinera Valle Dorado – Jaén	132
Figura 15: Medición del slump del concreto	133
Figura 16: Medición temperatura del concreto	133
Figura 17: Medición contenido de aire del concreto	133
Figura 18: Ensayo a compresión de probetas de concreto	134
Figura 19: Elaboración de ladrillos de concreto	134
Figura 20: Curado de ladrillos de concreto	134
Figura 21: Alabeo de ladrillos de concreto.....	135
Figura 22: Variación dimensional de ladrillos de concreto.....	135
Figura 23: Refrentado de ladrillos de concreto	135
Figura 24: Medición de probetas cúbicas de mortero	136
Figura 25: Ensayo a compresión de probetas de mortero.....	136
Figura 26: Ensayo a compresión de ladrillos	136
Figura 27: Asentado de ladrillos en pilas	137
Figura 28: Curado de pilas	137
Figura 29: Ensayo a compresión de pilas	137

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Módulo de fineza	17
Ecuación 2: Módulo de fineza agregado grueso	17
Ecuación 3: Peso específico de masa A.F.	18
Ecuación 4: Peso específico de masa A.G.	18
Ecuación 5: Peso específico de masa saturada Superficialmente seca A.F.	18
Ecuación 6: Peso específico de masa saturada Superficialmente seca A.G.	19
Ecuación 7: Peso específico aparente A.F.	19
Ecuación 8: Peso específico aparente A.G.	19
Ecuación 9: Porcentaje de absorción A.F.	20
Ecuación 10: Porcentaje de absorción A.G.	20
Ecuación 11: Contenido de Humedad.....	21
Ecuación 12: Resistencia a la Abrasión	21
Ecuación 13: Variación dimensional del ladrillo.....	22
Ecuación 14: Succión del ladrillo	24
Ecuación 15: Absorción del ladrillo	24
Ecuación 16: Porcentaje de Absorción del ladrillo.....	24
Ecuación 17: Resistencia a compresión del mortero	35
Ecuación 18: Módulo de elasticidad en pilas.....	39
Ecuación 19: Módulo de elasticidad en pilas- Resumida	39
Ecuación 20: Módulo de elasticidad en pilas- Norma E.070.....	39

RESUMEN

En esta investigación la finalidad más importante es determinar la influencia de la adición de cenizas de cascarilla de arroz en la resistencia mecánica de los ladrillos de concreto; para ello se ha determinado los ensayos a físicos y mecánicos a los agregados utilizados en el diseño de mezclas patrón, a su vez se realizó ensayos de las propiedades de la mezcla en estado fresco y endurecido con el fin de realizar el ajuste de mezclas, también se determinó el tiempo de vibrado para alcanzar una mayor resistencia a compresión de los ladrillos; se elaboraron ladrillos con adiciones de cenizas de cascarilla de arroz de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% en peso del cemento. Se determinó que, los ladrillos con diferentes adiciones cumplen con los requerimientos de la norma E.070, así mismo se determinó la resistencia a compresión promedio de los ladrillos de concreto vibrado con 10% de adición de CCA a la edad de 3 días, alcanzó una resistencia compresión promedio de 227.51 kg/cm², a los 7 días alcanzó una resistencia a compresión promedio de 268.29 kg/cm², a los 14 días alcanzó una resistencia a compresión promedio de 287.33 kg/cm² y a los 28 días alcanzó una resistencia máxima promedio de 296.34 kg/cm²; siendo el incremento del 12%, respecto del ladrillo patrón a los 28 días. Esta tendencia se presentó también en los resultados de la resistencia a compresión axial de las pilas de ladrillos con adición del 10% de CCA, así también en los resultados del módulo de elasticidad promedio de las pilas. Por lo que se concluye, que la influencia de la adición del 10% de CCA, es positiva puesto que incrementa la resistencia hasta en un 12% a la edad de 28 días.

Palabras clave: Adición, cenizas de cascarilla de arroz, ladrillo patrón, influencia, resistencia mecánica, incremento, pilas, módulo de elasticidad.

ABSTRACT

The most important objective of this research project is to determine the influence of the addition of rice husk ash, on the physical and mechanical properties of concrete bricks; for this purpose, the physical and mechanical tests of the aggregates used in the design of pattern mixtures have been determined, at the same time, some tests were carried out on the properties of the mixture in the fresh and hardened state in order to adjust the mixtures, vibration time was also determined to achieve a higher compressive strength of the bricks; bricks were made with additions of rice husk ash of 0%, 5%, 10%, 15% and 20% by weight of the cement. It was determined that the bricks with different additions meet the requirements of the physical properties indicated in the E.070 standard, and the average compressive strength of the vibrated concrete bricks was that at the age of 3 days with 10% addition from CCA, it reached an average compression strength of 227.51 kg/cm², at 7 days with the same percentage of addition it reached an average compressive strength of 268.29 kg/cm², at 14 days with the same addition it reached an average compressive strength of 287.33 kg/cm² and at 28 days it reached an average maximum strength of 296.34 kg/cm²; the increase was 12%, regarding the pattern brick at 28 days. This same trend is presented in the results of the axial compressive strength of brick piles with the addition of 10% CCA, likewise, in the results of the average elasticity modulus of the piles. Therefore, it is concluded that the influence of the addition of 10% of CCA is positive since it increases resistance up to 12% at the age of 28 days.

Key words: Addition, rice husk ash, pattern brick, age, influence, mechanical strength, increment, piles, modulus of elasticity.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En el Perú el sistema de construcción de viviendas más utilizado, es la albañilería; según INEI los resultados del Censo Nacional 2017, revelan que 4 millones 298 mil 274 viviendas particulares predominan el uso de ladrillo; lo que representa el 55.8% del total de viviendas. En Cajamarca, 83 mil 293 viviendas son de material noble, es decir 22.1 % del total de viviendas comprende el uso de ladrillo, bloque de cemento y piedra o sillar con cal o cemento.

A medida que ha ido incrementado el crecimiento poblacional, la expansión urbana ha ocasionado la demanda de viviendas con materiales de bajo costo, esto ha conllevado al uso de ladrillos artesanales, ya sea de arcilla o de concreto.

A pesar que los ladrillos de arcilla son los más usados en la ciudad de Cajamarca y distritos aledaños, en los últimos años se ha incrementado el uso de ladrillos de concreto vibrado, debido a que mejoran su resistencia mecánica y comportamiento sísmico, a pesar de no existir estudios que respalden dicha teoría.

Los concretos suelen tener alguna adición con el fin de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, es por ello que también a los ladrillos de concreto se les incorpora adiciones naturales y artificiales, tales como cenizas de cascarilla de arroz, debido que se cree tiene influencia positiva en su resistencia y durabilidad.

La cáscara de arroz representa en peso aproximadamente la quinta parte del fruto recolectado, esto puede variar según las condiciones de cultivo y la variedad del arroz. La composición inorgánica de la ceniza de cascarilla de arroz difiere de las cenizas de otras fibras orgánicas, ya que tiene un elevado contenido de sílice, y al someterla al proceso de calcinación este porcentaje resulta superior al 90%, lo que la convierte en una fuente potencial de sílice. Según investigaciones el porcentaje de SiO_2 en la ceniza puede alcanzar el 95%, correspondiendo el 5% restante a trazas de diferentes óxidos, principalmente K_2O (Serrano et al., 2012:129).

El alto contenido de sílice amorfa que posee la ceniza de cáscara de arroz, hace que al utilizarlo como adición puzolánica en el concreto con cemento portland reduzca la permeabilidad de los concreto a tiempos medios y largos de curado. (Serrano et al., 2012:129)

En la ciudad de Cajamarca existen muchas investigaciones de adiciones de puzolanas artificiales en el concreto, sin embargo, existen muy pocas investigaciones de la influencia que tiene en la resistencia mecánica en los ladrillos artesanales de concreto, además esto podría ser una opción económica que puede beneficiar a la construcción en poblaciones donde abunda este residuo.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia de la adición de las cenizas de cascarilla de arroz en la Resistencia mecánica de los ladrillos de concreto?

1.3. Justificación e importancia

El arroz es el segundo cultivo de mayor importancia económica en Jaén, provincia de Cajamarca, y en consecuencia aquí se genera gran cantidad de cenizas de cascarilla de arroz producto de la combustión de la cáscara; por esta razón se propuso incorporar éstas puzolanas artificiales a los ladrillos artesanales de concreto de la ciudad de Jaén, a fin de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

Este trabajo de investigación está dirigido a determinar la influencia de cada variación porcentual de la ceniza de cascarilla de arroz en la resistencia mecánica de los ladrillos permitiendo establecer la dosificación óptima de las cenizas que dé como resultados el mayor incremento en la resistencia mecánica.

1.4. Alcances o delimitación de la investigación

Alcances

La investigación se realizó mediante una evaluación del efecto de las puzolanas artificiales a base de ceniza de cascarilla de arroz, en la resistencia a la compresión uniaxial del ladrillo y en pilas. Para su elaboración se utilizó cemento portland tipo I, agua potable, agregado del Rio Chonta (se ensayó en laboratorio y determinó sus propiedades

físicas) y cenizas de cascarilla de arroz. Para asegurar una buena calidad y compactación de los ladrillos, en el proceso de fabricación se utilizó moldes metálicos y una mesa vibradora. Se determinó la resistencia a la compresión del ladrillo patrón y luego cada grupo de ladrillos con las dosis de la adición de cenizas de cascarilla de arroz (puzolanas artificiales) en 5%, 10%, 15% y 20%, evaluado a edades de 3, 7, 14 y 28 días; como resultado se determinó que el porcentaje óptimo que incrementó la máxima resistencia a compresión fue del 10% en peso del cemento; este resultado se determinó tanto en las unidades como en las pilas.

Delimitaciones:

Se utilizó agregados de la cantera Roca fuerte – Río Chonta, por ello los resultados se limitan a las propiedades de estos agregados.

No se realizó ensayos de laboratorio al agua y al cemento; es decir se trabajó con agua potable en la universidad y con los datos de la ficha técnica del cemento brindados por el fabricante.

El cemento utilizado fue cemento portland tipo I Pacasmayo, los resultados de la investigación se limitan a este tipo de cemento.

La puzolana artificial fue obtenida de la Molinera EL Dorado, por lo que los resultados serán validados para las cenizas de este lugar.

El ensayo de los materiales se realizó en el laboratorio de ensayo de materiales Carlos Esparza Díaz

1.5. Limitaciones

No se prevé limitantes de consideración para la realización de la investigación.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la adición de las cenizas de cascarilla de arroz en la resistencia mecánica de los ladrillos de concreto.

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia del tiempo de vibrado en la resistencia mecánica de los ladrillos de concreto.
- Determinar las propiedades físicas de los ladrillos de concreto con adición de

cenizas de cascarilla de arroz.

- Determinar la resistencia a compresión axial de los ladrillos de concreto con adición de cenizas de cascarilla de arroz.
- Determinar la resistencia a compresión axial de pilas con ladrillos de concreto con adición de cenizas de cascarilla de arroz.

1.7. Hipótesis

La influencia de la adición de las cenizas de cascarilla de arroz en la Resistencia mecánica de los ladrillos de concreto, es positiva puesto que aumenta la resistencia en más del 10% al ladrillo de concreto.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

María Cabo Laguna (2011) presentó una investigación titulada: *Ladrillo Ecológico Como Material Sostenible Para La Construcción*, España, concluyó que: El Ladrillo puzolánico ecológico sin cocción, incrementa su valor ecológico al contener como componentes del mismo, aditivos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, sobre todo por el ahorro energético que se produce en el proceso de su fabricación.

El ingeniero Pedro Matthey (2013) presentó la investigación titulada: *Influencia del mezclado en dos etapas en la fabricación de ladrillos de mampostería con ceniza de cascarilla de arroz como agregado fino*. Colombia, concluyó que: La utilización de la ceniza de la cascarilla de arroz con relaciones de 1:6 de cemento: arena cumpliendo los parámetros establecidos en la norma para bloques de concreto, permite la reducción del consumo de cemento hasta en un 20% para lograr similar desarrollo resistente a 28 días de curado.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

El ingeniero Carlos Villegas Martínez (2012), quien realizó la investigación titulada: *Utilización de puzolanas naturales en la elaboración de prefabricados con base cementicia destinados a la construcción de viviendas de bajo costo*. Lima, Concluyó que es recomendable adicionar hasta en un 15% de ceniza de cáscara de arroz en reemplazo del cemento en la elaboración de bloques de concreto.

Anita Huaroc Palacio (2017), realizó el estudio: *Influencia del porcentaje de micro sílice a partir de la ceniza de cascarilla de arroz sobre la resistencia a la compresión, asentamiento, absorción y peso unitario de un concreto mejorado*. Trujillo, Concluyendo que se obtuvo como máxima resistencia 376 kg/cm² al 6% de adición de ceniza aumentando en un 27% con respecto a las probetas patrón.

El bachiller Humberto Linarez Ocmin (2014), investigó: *Elaboración de ladrillos ecológicos a partir de residuos agrícolas (cáscara y ceniza de cascarilla de arroz), como material sostenible para la construcción*. Iquitos, Concluyó que la resistencia a la comprensión el mejor tratamiento fue el T3 con 20,125 Kg/m², y el que menor resistencia tuvo T1 con 17,0750 kg/m².

2.1.3. Antecedentes Locales

El Bachiller Gustavo Iván Ramirez Huamán (2019), estudió *Influencia de la Puzolana Artificial en los Morteros Cemento – Arena*. Cajamarca, Concluye que: El mortero con sustitución porcentual del 6% respecto del mortero de control, incrementa su resistencia en 17.48% respecto a la resistencia del mortero control.

El bachiller Percy Loayza Goicochea (2014), estudió *Efecto de la ceniza de cáscara de arroz sobre la resistencia a la compresión del concreto normal*. Cajamarca, Concluye que: El porcentaje óptimo que garantiza la máxima resistencia, es cuando se adiciona el 15% de ceniza de cáscara de arroz (CCA), generando un 34% de incremento de la resistencia a la compresión, representando un 96.68Kg/cm² respecto al concreto patrón.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Unidades de albañilería de concreto:

2.2.1.1. Definición:

“Ladrillo de concreto de dimensiones modulares fabricado con cemento portland, agua y agregados, que puede ser manipulada con una sola mano.” (Norma Técnica Peruana NTP 339. 601-2016).

2.2.1.2. Clasificación

A. De acuerdo a sus propiedades:

Norma: NTP 399.601- 2016.

“Las unidades de albañilería de concreto según la norma se clasifican por su resistencia, en cuatro tipos:

- *Tipo 21: Para uso donde se requiere alta resistencia a la compresión y resistencia a la penetración de la humedad y a la acción severa del frío.*
- *Tipo 17: Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión*

y resistencia al frío y a la penetración de la humedad.

- Tipo 14: Para uso general donde se requiera moderada resistencia a la compresión.
- Tipo 10: Para uso general donde se requiera moderada resistencia a la compresión.”

Tabla 1: Requisitos de resistencia y Absorción

Resistencia a la compresión, mín, Mpa. Respecto al área bruta promedio			Absorción de agua, máx., % (Promedio de 3 unidades)
Tipo	Promedio de 3 unidades	Unidad Individual	
24	24	21	8
17	17	14	10
14	14	10	12
10	10	8	12

Fuente: Elaborada con base en NTP 399.601, 2016

B. De acuerdo a su función estructural:

Norma: NTE E-070 - 2006

“Las unidades de albañilería se clasifican en cinco tipos de acuerdo a sus propiedades:

- Tipo I: Resistencia y durabilidad muy bajos. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio moderadas.
- Tipo II: Resistencia y durabilidad bajas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio moderadas.
- Tipo III: Resistencia y durabilidad media. Apto para construcciones de albañilería de uso general.
- Tipo IV: Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas.
- Tipo V: Resistencia y durabilidad muy altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas. Pueden estar sujetos a condiciones de servicio riguroso, en contacto con lluvias intensas, suelo y agua”.

Según las NTE E.070, Indica que, para efectos de diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las siguientes características:

Tabla 2: Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

Clase	Variación de la dimensión (Máxima en porcentaje)			Alabeo (Máximo en mm)	Resistencia característica a compresión f'_c mínimo en Mpa (kg/cm ²)
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4.9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6.90(70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9.3(95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12.7(130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17.6(180)
Bloque P	± 4	± 3	± 2	4	4.9(50)
Bloque NP	± 7	± 6	± 4	8	2.0(20)

P: Bloque usado en la construcción de muros portantes NP: Bloque usado en la construcción de muros no portantes.

Fuente: Reproducido de NTE E-070, 2006

2.2.1.3. Dimensiones:

Los ladrillos de concreto, son piezas tradicionales que deben tener:

- Un ancho (Tizón): de 11cm a 14cm
- Un largo (Soga): de 23cm a 29 cm
- Una altura (Gruoso): de 6cm a 9cm
- Un Peso que oscila entre 3kg a 6kg.

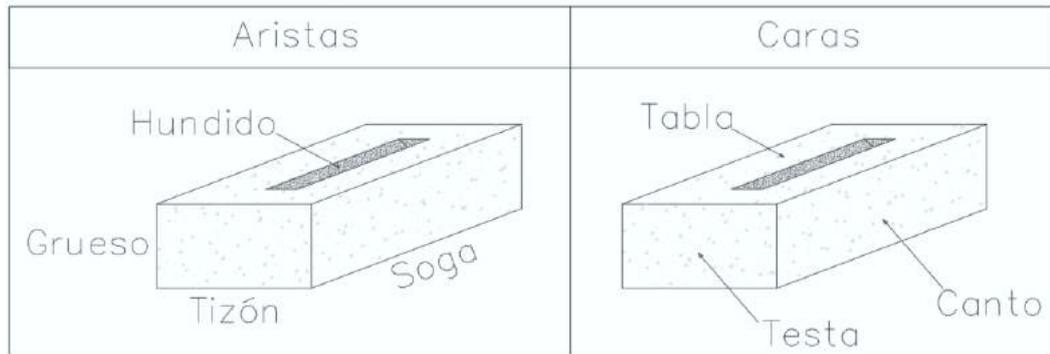
Para el desarrollo de esta tesis el ladrillo elaborado tiene las siguientes dimensiones:

Ancho 13 cm, largo 24 cm, altura 8 cm y peso promedio 6.250 kg.

2.2.1.4. Geometría

Nomenclatura de las partes de un ladrillo. Su forma es la de un prisma rectangular, en el que sus diferentes aristas reciben el nombre de soga, tizón y grueso, siendo la soga su dimensión mayor; así mismo, las diferentes caras del ladrillo reciben el nombre de tabla, canto y testa (la tabla es la mayor). Por lo general, la soga es del doble de longitud que el tizón o, más exactamente, dos tizones más una junta, lo que permite combinarlos libremente. El grueso, por el contrario, puede no estar modulado (Materiales de construcción, 2014).

Figura 1: Partes del ladrillo



Fuente: Adaptado de www.proyectistas.com/ladrillos.htm

2.2.2. Componentes de las unidades de albañilería de concreto:

2.2.2.1. Cemento

A. Cemento Portland:

Es el producto de la calcinación de rocas calizas y arcillosas; ocupa entre el 7% y 15% del volumen de la mezcla. El agua hidrata al cemento portland por complejas reacciones químicas, dando como producto final Tobermorita que es el producto responsable de la resistencia del concreto.

En el Perú se utiliza el cemento portland normal cuya composición corresponda a los tipos I, II y V de la norma ASTM C150. Adicionalmente se utilizan cementos compuestos por adición de un material puzolánico (puzolana o escoria molida; cenizas o microsílices) que correspondan a la norma ASTM C959. Todos los cementos peruanos permiten obtener concretos con buenas características de durabilidad. (Rivva, 2006:17)

Se denomina “Clinker portland” al producto de la fusión (proceso de clinkerización) de las partículas finamente molidas tales como Cal (CaO); Sílice (SiO₂); Alúmina (Al₂O₃) Y óxido de hierro (Fe₂O₃); Y el producto obtenido de pulverización del clinker con la adición eventual del sulfato de calcio o yeso es el que conocemos como cemento Portland (Amaro I. 2002). Después de la formación del clinker y la molienda final, se obtienen los compuestos tales como:

- Silicato Tricálcico - Alita ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow \text{C}_3\text{S}$)

El cual define la resistencia inicial en la primera semana y tiene mucha importancia en el calor de hidratación.

- Silicato Dicálcico - Belita ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{S}$)

Tiene menor incidencia en el calor de hidratación y es el que define la resistencia a largo plazo.

- Aluminato Tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_3\text{A}$)

Es el que condiciona el tiempo de fraguado actuando como catalizador, por ello es necesario añadir yeso de 3% al 6% en el proceso de fabricación, dependiendo el tipo de cemento a fabricar para controlar su tiempo de fraguado. Además, es el que condiciona la resistencia a los sulfatos ya que cuando reacciona con estos produce Sulfoaluminatos que son expansivos y en consecuencia es perjudicial para el concreto.

- Ferroaluminato Tetracálcico - Ferrita ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_4\text{AF}$)

Tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación, el cual es muy bajo y se estima de 100 cal/gr.

B. Tipos de cemento Portland:

“La norma técnica peruana establece seis tipos de cementos portland (NTP 334.009:2016):

- *Tipo I: Para uso general que no requiera propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.*
- *Tipo II: Para uso general, específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos.*
- *Tipo II (MH): Para usos general, específicamente cuando se desea un moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos.*
- *Tipo III: Para ser utilizado cuando se requiere altas resistencias iniciales.*
- *Tipo IV: Para usar cuando se desea bajo calor de hidratación.*
- *Tipo V: Para usar cuando se desea alta resistencia a los sulfatos”.*

C. Propiedades físicas químicas y mecánicas del cemento Pórtland:

Se consideran las siguientes propiedades físicas según ASTM C150-20:

- **Contenido de aire** (Método de ensayo C185): Mide el porcentaje de aire atrapado en la mezcla de mortero. Este ensayo nos da un índice indirecto de la finura del cemento y por ende el grado de molienda.
- **Peso específico** (Método de ensayo C188): Se determina por la relación entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto de esa masa. Está comprendido

entre 3.00 gr/cm³ a 3.20gr/cm³. Se determina por picnometría utilizando el volumenómetro de Le Chatelier.

- **Falso fraguado** (Método de ensayo C 451) Es la rigidez prematura que se presenta en los primeros minutos tras la adición de agua. Se diferencia del tiempo de fraguado por que no desprende calor de forma apreciable y desaparece al mezclar nuevamente la pasta. Se debe a la parcial deshidratación del yeso en los hornos
- **Tiempo de fraguado:** Se define como el proceso muy exotérmico y depende de varios factores:
 - ✓ La composición química del cemento
 - ✓ La cantidad de agua (a mayor cantidad mayor rapidez)
 - ✓ La temperatura ambiente: A menor temperatura se produce un ralentizamiento del proceso. Sin embargo, por encima de los 32 grados el aumento de velocidad se invierte
 - ✓ La finura del material

Se determina mediante dos métodos:

- ✓ Tiempo de fraguado por aguja de Gillmore - Método de ensayo C 266
 - ✓ Tiempo de fraguado por aguja de Vicat - Método de ensayo C 191
-
- **Fineza o Superficie específica:** Una de las etapas del proceso de fabricación del cemento es la molienda del Clinker con el yeso. La hidratación de los granos de cemento ocurre desde el interior, por lo que el área superficial constituye el material de hidratación. Al reducir el espesor de esta capa aumenta la velocidad de hidratación lo que posteriormente conlleva a una menor resistencia a la fisura. En definitiva, el tamaño de los granos definirá la posterior resistencia a fisura del cemento. Se determina mediante dos métodos:
 - ✓ Fineza por permeabilidad al aire – Método de ensayo C 204
 - ✓ Fineza por turbidímetro – Método de ensayo C 115
-
- **Expansión en autoclave** (Método de ensayo C151) Este ensayo se realiza para garantizar que el cemento no va a presentar expansión por algunos compuestos como el óxido de magnesio (MgO), el trióxido de azufre (SO₃) o la cal libre (CaO). Consiste en medir el cambio de longitud en barras de 2,5*2,5*25,4 cm, hechas de pasta de cemento sometidas a 3 horas de alta temperatura y presión, Este valor se expresa en %, con respecto a la longitud inicial.

- **Calor de Hidratación** Se genera cuando reacciona el cemento con el agua, es la cantidad de calor en calorías por gramos de cemento, este calor de hidratación depende de la composición química del cemento, algunos investigadores consideran que la mitad del calor total se libera entre el primer y tercer día, en torno al 75% a los siete días y hasta un 95% en seis meses.
- **La consistencia normal** se define como aquella fluidez determinada por una cierta cantidad de agua. Tiene relación con la calidad del cemento y el tiempo de fraguado. EL requerimiento de agua varía entre distintos cementos y puede llegar a suponer una variación de un 20-30%, este parámetro se determina con la aguja de Vicat.
- **Estabilidad del volumen o Retracción:** La capacidad que tiene el cemento de conservar su volumen después de fraguar. Esta propiedad puede verse afectada por la presencia de cantidades excesivas de cal libre.

Se consideran las siguientes propiedades Químicas según ASTM C150-20:

- **Compuestos secundarios:** Se determina el porcentaje en pequeñas proporciones de: Cal libre (0.5-1%), puede provocar expansividad si se hidrata durante el endurecimiento. Magnesita (máx 5%), por su carácter expansivo. Álcalis, reaccionan con algunos áridos de naturaleza silíceo, generando sales expansivas.
- **Índice de Hidraulicidad:** Se considera la alúmina, la cal y la sílice, su valor debe estar entre 0.50 y 0.64, para el clinker portland.
- **Módulo hidráulico:** Su valor oscila entre 1.7 y 2.3, se considera que los cementos que tiene un valor de 2 son de muy buena calidad. Los valores menores a 1.7 pueden generar resistencias mecánicas bajas y los valores superiores a 2.3 pueden presentar cambios volumétricos.
- **Módulo de silicatos:** Su valor oscila entre 1.9 y 3.2, no obstante, en los cementos blancos y con porcentaje altos en sílice llega a 5. Se considera un valor óptimo de 2.
- **Índice de saturación en cal:** Debido a que un exceso de cal puede producir cementos expansivos y un defecto puede ocasionar cementos de baja resistencia y lentos en graduado y endurecido, es necesario controlar que la relación de cal disponibles contenida en el clinker y la cal combinada (forma los cuatro principales compuestos), se aproxime lo más cercano a 1.

- **Pérdida por calcinación:** Se obtiene mediante el resultado obtenido de la pérdida de peso de una muestra de cemento cal calentarla a temperaturas entre 900 y 100°C, es decir la suma de CO₂ y H₂O.
- **Residuo insoluble:** Se determina mediante un método normalizado, el cual señala el porcentaje del cemento que tratado con HCl queda sin disolverse.
- **Módulo fundente:** Tiene influencia en la formación de fase líquida durante la clinkerización. Su valor oscila entre 1.5 y 2.5 siendo un valor normal 2.

Se consideran las siguientes propiedades mecánicas según ASTM C150-20:

- **Resistencia a la compresión** (1,3,7 y 28 días) - Método de ensayo C 109/C109 M: En términos estructurales es la capacidad más destacable de los cementos, y puede verse afectada por el paso del tiempo, la incidencia de las inclemencias meteorológicas; se elaboran cubos de una mezcla con 1 porción de cemento por 3 porciones de arena de OTAWA, que se ha adoptado como la de mayor aceptación, se elaboran 8 cubos para ensayarlos por pares a un día, 3 días, 7 días y 28 días.

D. Cemento utilizado en la investigación:

En esta investigación se utilizará el cemento Pórtland tipo I Pacasmayo, el cual cumple con los requisitos físicos y químicos especificados en la norma NTP 334.009:2016, la hoja de datos de seguridad del material y la ficha técnica que contiene las propiedades físicas y químicas, fue proporcionada por el fabricante de Cementos Pacasmayo, ver tablas 3 y 4 en el Anexo 1.

2.2.2.2. Agua:

En el volumen total de la mezcla de concreto el agua ocupa entre el 14% y el 18%. El agua para concreto puede utilizarse como agua de mezclado y/o curado del concreto, siempre que cumpla los requisitos mínimos exigidos por la norma. De preferencia se utilizará agua potable. Los cubos de pruebas de morteros preparados con agua no potable y ensayados de acuerdo a la norma ASTM C109 y NTP 339.088, deberán tener a los 7 y 28 días resistencias a compresión no menores del 90% de las muestras similares preparadas con agua potable que cumple con los requisitos de la oficina panamericana de la salud (Rivva, 2006:18).

Para evaluar el contenido total de sustancias inconvenientes debe considerarse el aporte en el agua de mezclado, las sales presentes en los agregados y otras sustancias nocivas en los aditivos. La suma de los contenidos de ion cloruro presentes en el agua y los demás componentes de la mezcla, no deberán exceder de los valores indicados en los capítulos de las normas. Por razones de durabilidad no se empleará agua de mar en ningún caso (Rivva, 2006:18).

Tabla 3: Límites permisibles para el agua de mezcla y curado

Descripción	Límites Permisibles		
Sólidos en suspensión	5,000	ppm	Máximo
Materia orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1,000	ppm	Máximo
Sulfatos (ión SO ₄)	600	ppm	Máximo
Cloruros (ión Cl ⁻)	1,000	ppm	Máximo
pH	5.5 a 8		Máximo

Fuente: Reproducida de NTP 339.088:2006.

2.2.2.3. Agregados:

En el volumen total de la mezcla los agregados ocupan entre el 59% y el 76 %. Son granulares; naturales o artificiales. Por comodidad se los clasifican en agregado fino y grueso. Proceden de rocas, pero también se emplean los artificiales. Los agregados se consideran llenantes de la mezcla que controlan los cambios volumétricos de la pasta e influye sobre muchas de las propiedades del concreto. Los agregados deberán cumplir con los requisitos de la norma NTP 400.037, que se complementarán con los de las especificaciones de obra (Rivva, 2006:18).

2.2.2.3.1. Clasificación de agregados

A. Agregado fino:

Procede de la desintegración natural o artificial de las rocas, pasa por el tamiz 3/8" y queda retenido en el tamiz N° 200. La arena es la más usual de los agregados finos, se clasifica en:

- Arena fina: Se considera entre los 0.25 mm y 1 mm de diámetro, se usa en enlucidos (tarrajeos).
- Arena media: Se considera entre 1 mm y 2.5 mm de diámetro y no se usa en las obras, es por eso que no es comercial.
- Arena Gruesa: Se considera entre los tamaños de 2.5 mm y 5 mm de diámetro, y se

usa en mortero (asentar ladrillo), falso piso, contra piso y concreto armado en losas, vigas y columnas. (Quevedo, 2015:9).

B. Agregado Grueso:

Se define como agregado grueso a aquel que queda retenido en el tamiz N° 4 y es proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, se clasifica en:

- Grava: Procedente de la desintegración y abrasión natural de materiales pétreos, se le encuentra generalmente en canteras y lechos de ríos depositado en forma natural y a su vez se clasifica en:
- Gravilla: La grava más pequeña, se encuentra entre 5mm y 10mm.
- Grava fina: Su dimensión oscila entre los 10 mm y 20mm, se le conoce comercialmente como gravilla de ½”, son usadas en las dosificaciones para columnas, placas, vigas y aligerados.
- Grava media: Su dimensión oscila entre los 20mm y 40mm, se le conoce comercialmente como gravilla de ¾”, se aplican en dosificaciones para columnas, placas, vigas, aligerados, veredas y en algunos casos en sobrecimientos muy angostos.
- Grava gruesa: Su dimensión oscila entre los 40mm y 75mm de tamaño, se le conoce como gravilla de 1 ½” hasta 2”, suelen usarse en sobrecimientos con armados menos robustos, no son muy comerciales, pero se pueden hacer pedidos.
- Canto rodado: Tiene su origen en los ríos, su tamaño fluctúa desde los 75mm a más, se usa especialmente en acabados, en la actualidad se reemplazan por cerámicos y porcelanatos. (Quevedo, 2015:16).

Piedra chancada o piedra triturada: Se obtiene producto de la trituración artificial de rocas y gravas, se clasifican en:

- Piedra grande: Son pedruscos de mayores tamaños encontrados en las canteras a cielo libre, sus tamaños van desde las 10” hasta un poco mayores, son usadas para elaborar concreto ciclópeo en cimientos y cimientos corridos.
- Piedra Media: Éstas se hallan en canteras al aire libre, sus tamaños van entre las 4” y 6”, se utilizan en sobrecimientos.
- Piedra chancada: Se obtiene de la trituración artificial de la piedra grande, suele

reemplazar a la grava, se logran en los tamaños comerciales de las gravillas siendo procesadas para la elaboración de concreto armado.

- Confitillo: Es el residuo de la trituración de la piedra chancada, son obtenidos en tamaños de 1.5cm y 2.5cm, se usa mezclando con otras sustancias para la pavimentación de las pistas y también son usados para fabricar ladrillos de techos artesanales. (Quevedo, 2015:24).

2.2.2.3.2. Propiedades de los agregados

A. Análisis granulométrico (NTP 400.011:2008 - NTP 400.012:2013 - NTP 400.037:2014)

“Procedimiento que representa la distribución de las masas de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices.

Según lo especificado en la norma NTP 400.037: 2014, el agregado fino para elaboración de ladrillos de concreto tiene la siguiente gradación”:

Tabla 4: Granulometría del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 µm (N° 30)	25 a 60
300 µm (N° 50)	05 a 30
150 µm (N° 100)	0 a 10

Nota: Concretos elaborados con agregado fino con deficiencias en los tamices 300 µm (N° 50) y 150 µm (N° 100) algunas veces presentan dificultades en la trabajabilidad, bombeo o excesiva exudación, esto se puede solucionar con cementos adicionado, adiciones minerales o aditivos.

Fuente: NTP 400.037: 2014.

Según lo especificado en la norma NTP 400.037:2014, el agregado grueso para elaboración de ladrillos de concreto tiene la siguiente gradación:

Tabla 5: Granulometría del agregado grueso

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1 ½ pulg)	25.0 mm (1 pulg)	19.0 mm (¾ pulg)	12.5 mm (½ pulg)	9.5 mm (¾ pulg)	4.75 mm (Nº 4)	2.36 mm (Nº 8)	1.18 mm (Nº 16)	300 µm (Nº 50)
1	90 mm. a 37.5 mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 15	...	...	...	...	...
2	63 mm. a 37.5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
3	50 mm. a 25.0 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
357	50 mm. a 4.75 mm (2 pulg a Nº 4)	...	...	...	100	90 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	37.5 mm. a 4.75 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...
467	37.5 mm. a 4.75 mm (1 ½ pulg a Nº 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...
5	25 mm. a 12.5 mm (1 pulg a ½ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
56	25 mm. a 9.5 mm (1 pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	25 mm. a 4.75 mm (1 pulg a Nº 4)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	19.0 mm. a 9.5 mm (¾ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	0 a 5	...	...
67	19.0 mm. a 4.75 mm (¾ pulg a Nº 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...
7	12.5 mm. a 4.75 mm (½ pulg a Nº 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	9.5 mm. a 2.36 mm (¾ pulg a Nº 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
89	9.5 mm. a 1.18 mm (¾ pulg a Nº 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10
9	4.75 mm. a 1.18 mm (Nº 4 a Nº 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10

Nota: Se permitirá el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá concreto de la calidad requerida.

Fuente: NTP 400.037:2014

B. Módulo de fineza (NTP 400.011:2008 - NTP 400.012:2013 - NTP 400.037:2014)

Es un factor que puede considerarse como el tamaño promedio ponderado de las partículas, la cual no representa la distribución de ellas.

Para el agregado fino, se calculará sumando el porcentaje retenido acumulado del material de los tamices Nº4, Nº8, Nº16, Nº30, Nº50, Nº100, y dividir la suma entre 100.

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

Ecuación 1: Módulo de fineza

El agregado fino no tendrá más de 45% entre las mallas consecutivas de las muestras, y su módulo de fineza no será menor de 2,3 ni mayor que 3,1.

Para el agregado Grueso, se calculará sumando el porcentaje retenido acumulado del material de los tamices Nº4, 3/8", más un valor de 500, y dividir la suma entre 100.

$$M.G = \frac{\sum \% Ret. Acum. (N^{\circ}4, 3/8" + 500)}{100}$$

Ecuación 2: Módulo de fineza agregado grueso

En una cantera determinada el módulo de fineza base no debe variar en más de 0,20, siendo este el valor típico de la cantera.

C. **Peso específico y absorción (NTP 400.021:2018 - NTP 400.022:2018)**

Peso Específico de Masa:

“Es la relación, a temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (incluyendo los poros permeables e impermeables en las partículas, pero no incluyendo los poros entre partículas); a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas” (Lezama, 1996:6).

- ✓ Cálculo para el agregado fino:

$$P_{em} = \frac{W_o}{V - V_a}$$

Ecuación 3: *Peso específico de masa A.F.*

Donde se denomina:

W_o: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C, gramos.

V: Volumen del frasco, cm³.

V_a: Volumen de agua añadida, cm³.

- ✓ Cálculo para el agregado grueso:

$$P_{em} = \frac{A}{B - C}$$

Ecuación 4: *Peso específico de masa A.G.*

Donde se denomina:

A: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C, gramos.

B: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca, gramos.

C: Peso en el agua, de la muestra saturada, gramos.

Peso Específico de Masa Saturada Superficialmente Seca:

“Posee la misma definición de peso específico de masa, con la salvedad que la masa incluye el agua en los poros permeables” (Lezama, 1996:6).

- ✓ Cálculo para el agregado fino:

$$P_{esss} = \frac{500}{V - V_a}$$

Ecuación 5: *Peso específico de masa saturada Superficialmente seca A.F.*

Donde se denomina:

V: Volumen del frasco, cm³.

Va: Volumen de agua añadida, cm³.

✓ Cálculo para el agregado grueso:

$$P_{esss} = \frac{B}{B - C}$$

Ecuación 6: *Peso específico de masa saturada Superficialmente seca A.G.*

Donde se denomina:

B: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca, gramos.

C: Peso en el agua, de la muestra saturada, gramos.

Peso Específico Aparente:

“Es la relación de la masa en el aire, de un volumen unitario de material, a la masa en el aire (de igual densidad) de un volumen igual de agua destilada libre de gas, a una temperatura estable; si el material es un sólido, se considera el volumen la porción impermeable” (Lezama, 1996:6).

✓ Cálculo para el agregado fino:

$$P_{ea} = \frac{W_o}{(V - VA) - (500 - W_o)}$$

Ecuación 7: *Peso específico aparente A.F.*

Donde se denomina:

Wo: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C, gramos.

V: Volumen del frasco, cm³.

Va: Volumen de agua añadida, cm³.

✓ Cálculo para el agregado grueso:

$$P_{ea} = \frac{A}{A - C}$$

Ecuación 8: *Peso específico aparente A.G.*

Donde se denomina:

A: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C, gramos.

C: Peso en el agua, de la muestra saturada, gramos.

Porcentaje de Absorción:

Capacidad que tienen los agregados para llenar de agua los vacíos permeables de su estructura interna, al ser sumergidos durante 24 horas en ésta. La relación del incremento en peso al peso de la muestra seca expresado en porcentaje, se denomina porcentaje de Absorción.

“Esta característica depende de la porosidad del agregado, por ello es importante para realizar las correcciones en las dosificaciones de mezclas de concreto.

También influye en algunas propiedades del agregado, como adherencia con el cemento, estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencia del concreto al congelamiento y deshielo” (Lezama, 1996:6).

✓ Cálculo para el agregado fino:

$$\text{Abs} = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100$$

Ecuación 9: Porcentaje de absorción A.F.

Donde se denomina:

Wo: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C, gramos.

✓ Cálculo para el agregado grueso:

$$\text{Abs} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Ecuación 10: Porcentaje de absorción A.G.

Donde se denomina:

A: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C, gramos.

B: Peso en el agua de la muestra saturada de superficie seca, gramos.

D. Peso unitario (NTP 400.017:2011)

Es el peso del material seco que se necesita para llenar un recipiente de volumen unitario. También se le denomina Peso Volumétrico y se emplean en la conversión de cantidades de peso a cantidades de volumen y viceversa.

El peso unitario está en función directa del tamaño, forma y distribución de las

partículas, y el grado de compactación (suelto o compactado).

Especificaciones técnicas:

Para las arenas, el peso unitario compactado varía entre 1550 kg/m³ y 1750 kg/m³, disminuyendo cerca en un 20% el peso unitario suelto.

Estudios realizados a los agregados de Cajamarca, indican que los pesos unitarios de los agregados finos varían entre 1400 kg/m³ y 1700 kg/m³ y para los agregados gruesos varían entre 1350 kg/m³ y 1680 kg/m³. (Lezama, 1996:20)

E. Contenido de Humedad (NTP 339.185:2002)

Es la cantidad de agua que contiene un agregado en un momento determinado. Se denomina Porcentaje de Humedad, si se expresa como porcentaje de la muestra seca, pudiendo ser mayor o menor que el porcentaje de absorción. También es muy importante para realizar las correcciones en las dosificaciones de mezclas de concreto. (Lezama, 1996:6).

Se calcula de la siguiente manera:

$$\%W = \frac{wh - ws}{ws} \times 100$$

Ecuación 11: *Contenido de Humedad.*

Donde se denomina:

wh: Peso húmedo de la muestra, gramos.

ws: Peso de la muestra secada al horno a 105°C, gramos.

F. Resistencia a la abrasión (NTP 400.019:2014)

Es el temple que presentan los agregados cuando son sometidos a fuerzas de impacto y al desgaste por abrasión y frotamiento. Se mide en función inversa al incremento de material fino; y cuando la pérdida de peso se expresa en porcentaje de la muestra original se le denomina Porcentaje de Abrasión.

El método más usado es el de la Prueba de los Ángeles, por su rapidez con que se efectúa y porque se puede aplicar a cualquier agregado. (Lezama, 1996:6).

Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Abrasión \%} = \frac{W_o - W_f}{W_o} \times 100$$

Ecuación 12: *Resistencia a la Abrasión*

Donde se denomina:

Wo: Peso original de la muestra, gramos.

Wf: Peso final de la muestra, gramos.

2.2.3. Ensayos físico mecánicos de las unidades de albañilería:

2.2.3.1. Propiedades Físicas

A. Muestreo (NTP 399.604:2015)

“Las unidades de albañilería de concreto serán seleccionados por el comprador y el vendedor o sus representantes, en pie de obra de acuerdo al método de muestreo aleatorio que acuerden. Por cada lote compuesto por hasta 50 000 de unidades se seleccionará al azar una muestra de 6 unidades, sobre las que se efectuarán las pruebas de variación de dimensiones, alabeo, resistencia a la compresión, peso unitario (densidad), y contenido de humedad”.

B. Variación Dimensional (NTP 399.601: 2016 y NTP 399.604:2015)

“Las dimensiones (ancho, alto y largo) no debe diferir por más de ± 3.2 mm. ($\pm 1/8$ pulgada), promediar las medidas estándares especificadas por el fabricante para determinar el espesor mínimo de la pared lateral de la unidad. Ninguna parte de algún agujero debe estar a menos de 19.1 mm (3/4 pulgada) de algún borde del ladrillo”.

Procedimiento:

Se limpia cada unidad de albañilería del polvo utilizando piedra, franela y brocha.

Se miden el ancho, largo y alto de cada unidad, en la longitud media de las caras respectivamente, con precisión de 1mm.

Se registran 4 medidas por cada una de las dimensiones, luego se determina el promedio de cada medida.

Se calcula la variabilidad dimensional con la siguiente fórmula expresada en porcentaje:

$$v(\%) = \frac{Md - Mp}{Md}$$

Ecuación 13: Variación dimensional del ladrillo

Donde:

V (%): Variación dimensional en porcentaje

Md: Medida de diseño

Mp: Medida promedio

C. Alabeo (NTP 399.613:2017)

La mayor concavidad o convexidad origina un aumento en el espesor de la junta y disminuye la adherencia mortero ladrillos al formarse vacíos en las zonas alabeadas, o incluso puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad.

Procedimientos de Medición de concavidad:

Se coloca una regla metálica sobre la diagonal en una de las caras mayores de apoyo del ladrillo.

Se introduce una cuña en el punto correspondiente a la flecha máxima.

Se realiza la medición y registra el valor con precisión de 1 mm.

Procedimientos de Medición de convexidad:

Se coloca una regla metálica sobre la diagonal de una de las caras mayores del ladrillo.

Se ubican en cada vértice las cuñas, buscando un punto de apoyo de la regla de tal manera que se obtenga en ambas cuñas la misma medida.

Se toman las lecturas de los datos y se registran con una precisión de 1 mm.

Finalmente, los resultados se promedian y se expresan en milímetros enteros.

D. Succión (NTP 399.613: 2017)

“La succión es la medida de avidéz de agua del ladrillo en la cara de asiento. Por lo tanto, cuando la succión es excesiva no se logra adherencias adecuadas entre el mortero y el ladrillo usando métodos ordinarios de construcción”.

Procedimientos:

Los especímenes se secaron en el horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas como mínimo y se registraron las lecturas de los pesos hasta no obtener variaciones en los pesos.

Se preparó una bandeja con agua y se sumergieron los ladrillos apoyados sobre dos barras durante 1 minuto.

Luego se tomaron los registros de los pesos de la unidad húmeda.

La succión está expresada en gramos por minuto en un área normalizada de 200 cm².

Se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$S = \frac{200 \times (P_{suc} - P_{sec})}{\text{área bruta}}$$

Ecuación 14: *Succión del ladrillo*

Dónde:

S: Succión

P suc: Peso en (gr) de la unidad sumergida durante 1 min.

P sec: peso en (gr) de la unidad luego de permanecer en el horno durante 24 horas.

Área bruta: Ancho x largo (cm²)

La norma E. 070 especifica que la succión de los ladrillos debe estar comprendida entre los 10 y 20 gr/200 cm² – min.

2.2.3.2. Propiedades Mecánicas

A. Absorción (NTP 399.604:2015):

Es la capacidad de retención agua de la unidad de albañilería al ser sumergida durante 24 horas. Se utilizarán tres unidades enteras que hayan sido marcadas, pesadas y registradas de un determinado lote que puedan ser identificadas posteriormente.

Procedimiento:

Se sumergen los ladrillos de prueba en agua a temperaturas que puede variar entre 15.6°C y 26.7°C durante 24 horas.

Pesar los ladrillos luego de estar sumergidos y suspendidos en un alambre de metal durante 24 horas registrar el Wi: peso sumergido.

Retirar del agua y dejar reposar durante 1 min colocándolo en una malla de alambre más grueso de 9.5 mm, retirando el agua superficial con un paño húmedo, registrar la medida de WS: Peso saturado.

Colocar los ladrillos de prueba en un horno a temperaturas de 100°C a 105°C, durante 24 horas, hasta obtener dos pesadas sucesivas dentro de 2 horas, que demuestren que la pérdida no sea mayor al 0.2% una respecto de la otra, registrar el Wd: peso seco al horno.

Se calcula la absorción con la siguiente formula expresada en:

$$\text{Absorción} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \left[\frac{Ws - Wd}{Ws - Wi} \right] \times 1000$$

Ecuación 15: *Absorción del ladrillo*

$$\text{Absorción \%} = [(Ws - Wd)/Wd] \times 100$$

Ecuación 16: *Porcentaje de Absorción del ladrillo*

Donde:

Ws: Peso saturado del ladrillo en kg.

Wi: peso sumergido del ladrillo en kg.

Wd: peso seco al horno del ladrillo en kg.

B. Resistencia a compresión (NTP 399.604:2015):

“Esta propiedad es una de las más importantes, porque no solo define la calidad estructural, sino también su nivel de resistencia al intemperismo”.

Cabe mencionar que por la gran variedad de formas y dimensiones de estas unidades especialmente en altura, son las que impiden relacionar de manera adecuada los resultados de compresión con las verdaderas masas que compone la unidad, es decir efectos de forma y esbeltez, además de las restricciones de los cabezales de las maquinas la cual modifica el estado de esfuerzo de la unidad. Cuanto menor sea la altura para la misma masa y forma, mayor será la resistencia, de tal manera que podemos concluir que los ensayos a compresión estándar no solo están en función de la resistencia de la masa, sino de la altura del testigo y de su forma.

También se ha determinado por experiencia que a mayor densidad le corresponde mayor resistencia a compresión. (Horna 2015).

En la tabla 2, se aprecia la resistencia a compresión mínima sobre el área bruta según la norma E.070.

2.2.4. Puzolanas

2.2.4.1. Definición

Según la norma ASTM C618-03 y la NTP 334.090:2016. Es un material silíceo o sílico-aluminoso, que finamente dividido y en presencia de agua, químicamente reacciona con el hidróxido de calcio para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas. Asimismo, son ingredientes, importantes en la producción de materiales alternativos al cemento Portland.

2.2.4.2. Clasificación:

Las puzolanas se clasifican en puzolanas naturales y artificiales:

- a) **Las puzolanas naturales:** Esencialmente son cenizas volcánicas de actividades volcánicas geológicamente recientes; y se clasifican en:
 - **Cenizas volcánicas:** Tienen su origen a partir de las explosiones volcánicas a

partir de avalanchas de rocas calientes que bajan por las laderas de los volcanes, estas se componen de finas partículas de roca volcánica fragmentada a temperatura ambiente, originando la formación del estado vítreo.

- **Tufos o tobas volcánicas (zeolitas):** Se forman de la acción hidrotermal sobre las cenizas volcánicas y de su posterior cementación diagenética.
 - **Tierras de diatomeas (diatomitas):** Puzolanas de origen orgánico. Acumulación de caparzones silíceos de microscópicas algas acuáticas unicelulares (diatomeas).
- b) Las puzolanas artificiales:** Es el resultado de diversos procesos industriales y agrícolas, generalmente como subproductos. Las puzolanas artificiales más importantes son arcilla cocida, cenizas de combustible pulverizado (pfa), escoria de altos hornos granulada y molida (ggbfs) y ceniza de cáscara de arroz (CCA); se clasifican en:
- **Cenizas volantes (fly ash):** Es el sub producto de centrales termoeléctricas que utilizan carbón pulverizado como combustible.

Según la norma ASTM C618-03 se diferencian tres clases de cenizas volantes:

Clase F: Ceniza volante obtenida por la calcinación de carbón antracítico o bituminoso. Cenizas que poseen propiedades puzolánicas.

Clase N: Puzolanas naturales crudas o calcinadas, tal como las diatomitas, opalino, lutitas, tufos o tobas volcánicas y cenizas volcánicas o pumitas, calcinadas o sin calcinar; y materiales que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias.

Clase C: Ceniza volante procedente de la calcinación de carbón sub-bituminoso o lignito. Esta clase de ceniza, éstas tienen propiedades puzolánicas y propiedades cementicias.

Tabla 6: Requisitos químicos de las puzolanas

Composición química	Clase		
	N	F	C
Dióxido de silicio + óxido de aluminio + óxido de fierro, min, %	70.0	70.0	50.0
Trióxido de azufre (SO ₃), máx, %	4.0	5.0	5.0
Contenido de humedad, máx, %	3.0	3.0	3.0
Pérdida por ignición, máx, %	10.0	6.0 [^]	6.0

Fuente: Ing. Rosaura Vásquez, Adiciones minerales - Normas y aplicaciones (Cementos Pacasmayo A.A).
 Nota: [^] El uso de Clase F puzolana contiene hasta pérdidas del 12,0% en la ignición, este puede ser aprobado por el usuario si se hacen los registros de rendimiento aceptables o con resultados de las pruebas de laboratorio disponibles.

Tabla 7: Requisitos físicos de las puzolanas

Requisitos	N	F	C
<i>Fineza:</i>			
Cantidad retenida en el tamizado vía húmeda en la malla de 45 μm (N°325), máx., % ^A	34	34	34
<i>Índice de actividad resistente:^B</i>			
Con cemento portland, a 7 días, mín, %	75	75	75
Con cemento portland, a 28 días, mín, %	75	75	75
Demanda de agua, máx., % del control	115	105	105
<i>Estabilidad:^D</i>			
Expansión, contracción en autoclave, máx,%	0.8	0.8	0.8
<i>Requisitos de uniformidad:</i>			
Densidad, máxima variación del promedio, %	5	5	5
Porcentaje retenido en 45 μm (N°325), variación máx., puntos de % del promedio	5	5	5

Fuente: Ing. Rosaura Vásquez, Adiciones minerales - Normas y aplicaciones (Cementos Pacasmayo S.A.A).

- **Arcillas activadas térmicamente:** Las arcillas naturales no presentan actividad puzolánica a menos que su estructura cristalina sea destruida mediante un tratamiento térmico a temperaturas del orden de 600 a 900°C.
- **Microsílice (sílica fume):** Subproducto de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en hornos de arco eléctrico para la producción de silicio o aleaciones de ferrosilicio. El material que es extremadamente fino es colectado por filtración de los gases de escape del horno, en filtro de mangas.
- **Cenizas de cáscara de arroz:** Se obtiene producto de la calcinación controlada de la cáscara de arroz (% ceniza obtenida es equivalente al 20 % peso de la cáscara de arroz), de forma general se puede indicar algunas características de estas cenizas que consisten básicamente en:
 - Sílice amorfa (>90 %)
 - Estructura celular de gran área superficial (50 a 60 m²/g)
 - Posee gran actividad puzolánica

Su actividad puzolánica depende principalmente de la temperatura, el tiempo de calcinación y de las condiciones de enfriamiento. El control de estas variables influye directamente en la obtención de gran porcentaje de sílice amorfa altamente reactiva el cual reacciona con el hidróxido de calcio producto de las

reacciones de hidratación del cemento, dando lugar a la formación de cristales de silicato de calcio hidratado (CHS) que promueven el aumento en la resistencia mecánica de los concretos adicionados. Las propiedades puzolánicas que posee la ceniza de cascarilla de arroz le otorga buenas propiedades físicas y mecánicas a las diferentes mezclas de concreto.

Por esta razón diferentes investigadores han venido trabajando la idea de evaluar cuanto mejoraría la presencia de las cenizas de cascarilla de arroz en elementos estructurales como ladrillos de concreto (Vigil, 2008).

2.2.4.3. Cenizas de cascarilla de arroz:

A. Descomposición de cascarilla de arroz:

La descomposición de la cáscara de arroz se realiza en cuatro etapas:

1. Liberación del agua adsorbida a temperaturas menores de 100 °C, con una pérdida de peso de 4 a 8%.
2. Liberación de materias volátiles como la lignina y la celulosa, las cuales se descomponen entre 225 a 500°C y 325 a 375°C, respectivamente. Las materias volátiles perceptibles se liberan entre 250 a 350°C con evolución considerable de humos.
3. Calcinación del carbón a temperaturas superiores a 350°C. Uno de los problemas en la oxidación del carbón es la oxidación de la capa superficial de la cáscara que no permite oxidar con facilidad la parte central del volumen calcinado a menos que el aire pase a través de la superficie. Aproximadamente el 45% de la pérdida de peso ocurre en la segunda etapa mientras que la pérdida de peso restante sucede en esta tercera etapa.
4. Cristalización de la sílice (amorfa) de la ceniza a temperaturas superiores a 700 °C, con formación de cristobalita y timidita (Vigil, 2008).

B. Propiedades de las cenizas cascarilla de arroz:

- **Resistencia a la Humedad:** En concreto, un estudio realizado por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal Paulista Júlio de Mesquita Filho, en Brasil, descubrió que la sustitución de una parte de cemento con el 10 por ciento de CCA disminuye su absorción de agua en un

40 por ciento. Aumentar la relación de CCA a cementar en una medida admisible aumenta la resistencia del hormigón al agua sin comprometer su calidad. Las aplicaciones prácticas incluyen pilotes de hormigón para puentes y otros entornos marinos. (Vigil, 2008).

- **Resistencia a la compresión:** La adición de cenizas de cáscara de arroz, con un alto contenido de sílice amorfa, favorece a la resistencia del concreto a edades intermedias y tardías, es decir tiene relativamente efecto a largo plazo. (Vigil, 2008).
- **Resistencia química:** La adición de ceniza de cáscara de arroz mejora en gran medida la durabilidad del cemento y por ende el concreto. Se ha demostrado que la ceniza de cáscara de arroz ayuda a reducir sustancialmente la pérdida de masa del concreto expuesto en una solución de ácido clorhídrico, y disminuye considerablemente la expansión debido al ataque de sulfatos y a la reacción álcali-sílice. (Vigil, 2008).

C. Composición química y características físicas de las cenizas cascarilla de arroz:

Vigil, determinó que la composición química de la ceniza calcinada entre 350°C y 900°C contiene como principal componente sílice entre 91% y 94 % y el segundo en orden de importancia es el potasio en 3%, como se indica en la tabla 8.

Tabla 8: Composición química de la CCA

COMPOSICIÓN (%)	CENIZA CALCINADA		
	350°C	400°C	900°C
Al ₂ O ₃	0.08	0.07	0.20
CaO	0.20	0.23	0.26
Fe ₂ O ₃	0.09	0.08	0.08
MgO	0.28	0.28	0.32
K ₂ O	3.09	3.08	2.80
Na ₂ O	0.29	0.29	0.39
SiO ₂	91.78	92.92	93.8
Carbón	5.69	4.72	0.39

Fuente: Vigil, P. Universidad de Piura 2008.

La ceniza de cáscara de arroz posee una densidad más baja en comparación al cemento, sin embargo, presenta una gran área superficial en razón de su estructura

celular, esto indica que es una puzolana bastante activa, tal como se indica en la tabla 9.

Tabla 9: Características físicas de la CCA

Muestra	Densidad	Blaine	RPM 325
	g/cm ³	cm ² /g	%
CCA	2.16	22600	14.58

Fuente: Vigil, P. Universidad de Piura 2008.

D. Tipos de cenizas cascarilla de arroz:

La cascarilla de arroz luego de la combustión puede tener como resultado cenizas totalmente quemada, puede ser de color negro, gris, morada o blanca, dependiendo de las impurezas presentes y las condiciones de combustión.

En la quema al aire libre o en ambientes de combustión no controlada, las cenizas se mantendrán en su mayoría menos reactivas debido a la composición mineralógica desfavorable.

La ceniza reactiva es de color gris oscura o blanca, dependiendo del carbón residual en ella, que no tiene efecto negativo si es menor al 10%. La ceniza puede reemplazar hasta 30 por ciento del cemento en un concreto.

Pero la ceniza reactiva color morada tiene una estructura amorfa con mayor capacidad reactiva, si el proceso de quemado es controlado entre 400 °C y 750 °C, debido a que entre estas temperaturas la fase de cristalización reacciona favorablemente creando propiedades cementantes.

Las cenizas pulverizadas en molinos en bolas durante un tiempo aproximado de 60 min, mejora su reactividad, esto a su vez permite reemplazar hasta 30% del cemento en el concreto (Loayza, 2014).

E. Proceso de elaboración de las cenizas de cáscara de arroz:

Para el presente trabajo de investigación se obtuvo la ceniza de cascara de arroz de la Molinera Valle Dorado.

➤ Pilado:

Al ingresar el arroz en cáscara a unas máquinas especiales (piladoras) se separan el arroz de la cáscara, luego se acopia la cáscara de arroz en un área de almacenamiento.

➤ **Humedad:**

Se lava y se seca a temperatura ambiente; para ser transportada mediante tuberías hacia un horno de quemado.

➤ **Calcinación:**

La cáscara de arroz se calcina a campo abierto a temperaturas que oscilan entre 450 y 750 °C; durante este proceso se obtiene la ceniza cuya apariencia variará de acuerdo a la temperatura de calcinación, gris, blanco o rosado.

➤ **Molienda y Tamizado:**

Se realizó el proceso de molienda en la máquina de abrasión Los Ángeles a un promedio de 2000 revoluciones para de esta manera mejorar su actividad puzolánica, posteriormente se tamizaron hasta que las partículas de cenizas pasaron la malla N° 200 (75µm).

Todo el proceso de elaboración de cenizas de cascarilla de arroz se puede apreciar en el Anexo 3.

2.2.5. Concreto vibrado

A. Definición de vibración del concreto:

La vibración es un método que consiste en someter a una serie de sacudidas a la mezcla de concreto y cuyas partículas se juntan minimizando el aire atrapado o vacíos y el agua excedente asciende a la superficie; esto permite mejorar las características de densidad, resistencia mecánica, durabilidad, compacidad y buen acabado (Peñaherrera, 2001).

Los concretos de consistencia seca es decir con asentamientos de 1” a 2”, son muy poco trabajables, pero cuando se aplica la vibración soluciona este problema además de aumentar su resistencia (Peñaherrera, 2001).

B. Principios fundamentales de la vibración

La vibración tiene dos características la frecuencia e intensidad. La frecuencia es el número de impulsiones a que se somete el concreto en un minuto. La intensidad tiene una correspondencia directa con la amplitud. Amplitud es el máximo desplazamiento de la superficie vibrante entre dos impulsiones. La vibración puede ser de alta o baja frecuencia. Se considera de baja frecuencia valores usuales de 3000 vibraciones/minuto; cuando éstas son iguales o superiores a 6000 vibraciones/minuto

se consideran en el rango de alta frecuencia logrando una mejor compactación, en tanto la vibración de baja frecuencia obliga el empleo de mezclas con una mayor relación a/c. Se debe considerar como un factor de gran importancia al tiempo, este a su vez depende de la frecuencia de vibración, ya que al aumentar la frecuencia de vibración disminuye el tiempo de vibrado, considerar que mayor tiempo de vibrado puede ocasionar segregación, en este sentido la vibración se considera completa cuando la lechada de cemento empieza a fluir hacia la superficie (Peñaherrera, 2001).

C. Propiedades del concreto vibrado:

Compacidad: Es la que facilita la trabajabilidad con la que es compactado o consolidado un concreto, con la finalidad de reducir el volumen de vacíos y por ende el aire atrapado. Permite alcanzar una mayor resistencia mecánica, física y química (Peñaherrera, 2001).

Impermeabilidad: Esta propiedad tiene relación directa con la densidad y la compacidad; es por ello que la granulometría tiene gran importancia en la impermeabilidad. Si complementamos una granulometría continua, un elevado dosaje de cemento y un óptimo periodo de vibración, podemos asegurar un concreto con alta impermeabilidad (Peñaherrera, 2001).

Resistencia mecánica: Esta es considerada la más importante de todas las propiedades del concreto; porque va directamente relacionada con la vibración (Peñaherrera, 2001).

Resistencia a la abrasión, congelamiento: Estas propiedades dependen directamente de su compacidad, pues el concreto tendrá mayor resistencia frente al desgaste, acciones agresivas del clima (heladas), debido a la menor cantidad de agua de amasado y mayor captación (Peñaherrera, 2001).

Durabilidad: Capacidad del concreto de resistir durante un tiempo determinado la acción a ataques químicos, físicos, biológicos y ambientales vinculadas al efecto climático global, manteniendo su serviciabilidad, conservando su forma original y propiedades mecánicas (Peñaherrera, 2001).

Desmolde rápido: El vibrado en la fabricación de elementos prefabricados como ladrillos de concreto, ayudan a conseguir un desmolde inmediato, si el concreto

cumple con cierta granulometría y la cantidad de agua incorporada a la mezcla es poca es decir que presenta una consistencia seca.

Si al efectuar el desmolde la unidad se rompe, podría deberse al exceso de agua, contiene material muy fino o al escaso tiempo de vibrado (Peñaherrera, 2001).

2.2.6. Mortero

Es un material empleado para adherir horizontal y verticalmente a las unidades de albañilería. Está constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino a los cuales se añadirá la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado. Para la elaboración de mortero destinado a obras de albañilería, se tendrá en cuenta lo indicado en las normas NTP 399.607:2013 y NTP 399.610:2013 (Según NTE E.070:2006).

2.2.6.1. Componentes del mortero:

NTE E.070 - 2006

A. Los componentes aglomerantes del mortero pueden ser:

- Cemento portland tipo I y II, NTP 334.009
- Cemento adicionado IP, NTP 334.830
- Una mezcla de cementos portland o cemento adicionado y cal hidratada normalizada de acuerdo a la NTP 339.002.

B. El agregado fino será arena gruesa natural, libre de materia orgánica y sales con las indicaciones a continuación:

Tabla 10: Granulometría de la arena gruesa para mortero

Malla ASTM	% Que Pasa
N° 4 (4,75 mm)	100
N° 8 (2,36 mm)	95 a 100
N° 16 (1,18 mm)	70 a 100
N° 30 (0,60 mm)	40 a 75
N° 50 (0,30 mm)	10 a 35
N° 100 (0,15 mm)	2 a 15
N° 200 (0,075 mm)	Menos de 2

Fuente: Reproducido de NTE E.070, 2006

- No deberá quedar retenido más del 50% de arena entre dos mallas consecutivas, ni más del 25% entre las mallas N° 50 y N° 100.
- El módulo de fineza se calculará sumando de porcentajes retenidos por las mallas

N°100, N°50, N°30, N°16, N°8 y N°4, dividido entre 100; estará comprendido entre 1,6 y 2,5.

- El porcentaje máximo de partículas quebradizas será: 1% en peso.
- No deberá emplearse arena de mar.

C. El agua será potable y libre de sustancias deletéreas, ácidos, álcalis y materia orgánica.

2.2.6.2. Proporciones del mortero:

Según la NTE E.070 – 2006

Los componentes del mortero tendrán proporciones volumétricas (en estado suelto); tal como se indican a continuación:

Tabla 11: Clasificación de morteros para fines estructurales y sus proporciones

COMPONENTES				USOS
Tipo	Cemento	Cal	Arena	
P1	1	0 a 1/4	3 a 3 1/2	Muros Portantes
P2	1	1 a 1/2	4 a 5	Muros Portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros No Portantes

Fuente: Reproducido de NTE E.070, 2006

2.2.6.3. Ensayo de resistencia a compresión del mortero:

Según ASTM C109/C 109M-05.

Moldes para especímenes cúbicos de 2 in. o 50 mm en todos sus lados, ajustados herméticamente. Las variaciones admisibles para los moldes se indican a continuación:

Tabla 12: Variaciones Admisibles de Moldes de Especímenes para morteros

Parámetro	Moldes cúbicos de 2 in		Moldes cúbicos de 50 mm	
	Nuevo	En Utilización	Nuevo	En Utilización
Planicidad de los lados	<0.001 in.	<0.002 in.	[<0.025 mm]	[<0.05 mm]
Distancia entre lados opuestos	2 in. ± 0.005	2 in. ± 0.02	[50 mm ± 0.13 mm]	[50 mm ± 0.50 mm]
Altura de cada compartimento	2 in.+ 0.01 in. a - 0.005 in.	2 in.+ 0.01 in. a - 0.015 in.	[50 mm + 0.25 mm a - 0.13 mm]	[50 mm + 0.25 mm a - 0.38 mm]
Ángulo entre caras adyacentes	90 ± 0.5°	90 ± 0.5°	90 ± 0.5°	90 ± 0.5°

^A Medido en puntos ligeramente fuera de la intersección. Medido separadamente para cada compartimento entre todas las caras interiores y la cara adyacente y entre las caras inferiores y los planos superior e inferior del molde.

Fuente: Reproducido de ASTM C109/C 109M-05

El número de especímenes de ensayo será de dos o tres de una amasada de mortero para cada periodo de ensayo o edad de ensayo.

Ensaye a compresión los especímenes inmediatamente después de sacarlos del gabinete húmedo en el caso de especímenes de 24 horas y del agua almacenamiento de los especímenes de 3 días 7 días y 28 días, considerando la tolerancia admisible que a continuación se detalla.

Tabla 13: Tolerancia Admisible para ensayo a compresión para morteros

Edad de Ensayo	Tolerancia Admisible
24 h	± 1/2 h
3 días	± 1 h
7 días	± 3 h
28 días	± 12 h

Fuente: ASTM C109/C 109M-05

La resistencia a compresión se calcula como sigue:

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Ecuación 17: Resistencia a compresión del mortero

Donde se denomina:

f_m : Resistencia a compresión en psi o [MPa]

P: Carga total máxima en lbf o [N], y

A: Área de superficie cargada in² o [mm²].

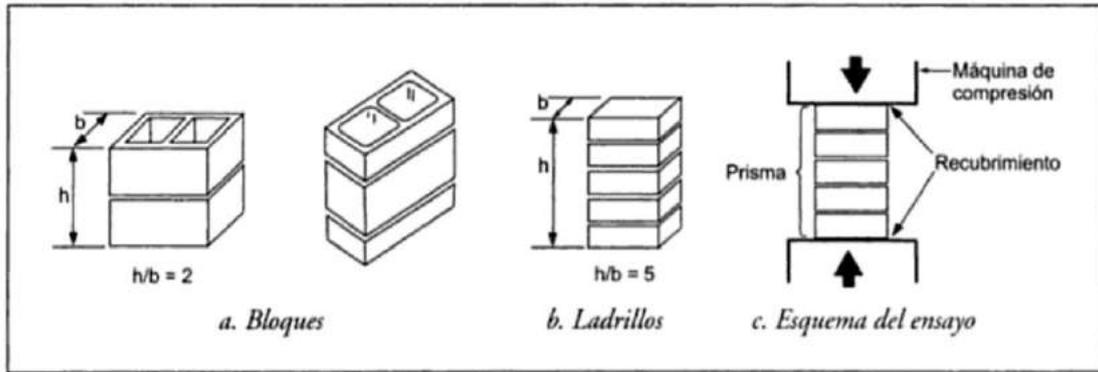
2.2.7. Propiedades de la Albañilería Simple

2.2.7.1. Ensayo para determinar la resistencia a compresión.

Las pilas de albañilería son prismas compuestos por dos o más hiladas de unidades enteras, asentadas una sobre la otra con mortero

El espécimen para determinar la resistencia a la compresión de la albañilería está estandarizado a nivel mundial, consiste en asentar en un prisma dos o más hiladas de unidades enteras unidas mediante mortero (Figura 2), Los prismas se llenan con concreto líquido para unidades huecas, asentadas o apiladas para unidades sólidas. (Gallegos y Casabonne, 2005).

Figura 2: Prisma estándar para ensayos a compresión



Fuente: Gallegos y Casabonne, 2005.

Según la norma NTE E.070. En el caso de no realizarse ensayos de prismas, podrá emplearse los valores mostrados en la Tabla 14, correspondientes a pilas y muretes construidos con mortero 1:4 cuando la unidad sea de arcilla.

Tabla 14: Resistencia a compresión en pilas según la norma E.070 de albañilería

Resistencias Características de la Albañilería Mpa (kg/cm ²)				
Materia prima	Denominación	UNIDAD f'_b	PILAS f'_m	MURETES v'_m
Arcilla	King Kong Artesanal	5.4 (55)	3.4 (35)	0.5 (5.1)
	King Kong industrial	14.2 (145)	6.4 (65)	0.8 (8.1)
	Rejilla Industrial	21.1 (215)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
Sílice - Cal	King Kong Normal	15.7 (160)	10.8 (110)	1.0 (9.7)
	Dédalo	14.2 (145)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
	Estándar y mecano (*)	14.2 (145)	10.8 (110)	0.9 (9.2)
Concreto	Bloque Tipo P (*)	4.9 (50)	7.3 (74)	0.8 (8.6)
		6.4 (65)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
		7.4 (75)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
		8.3 (85)	11.8 (120)	1.1 (10.9)

(*) Utilizados para la construcción de Muros Armados.

(**) El valor f'_b se proporciona sobre área bruta en unidades vacías (sin grout), mientras que las celdas de las pilas y muretes están totalmente rellenas con grout de $f'_c = 13.72 \text{ MPa}$ (140 kg/cm^2).

El valor f'_m ha sido obtenido contemplando los coeficientes de corrección por esbeltez del prisma que aparece la norma.

Fuente: NTE E.070, 2006

2.2.7.2. Relación de esbeltez

“La resistencia característica a compresión axial de las pilas (f'_m) depende de la esbeltez. La esbeltez de los prismas depende si la albañilería es de ladrillos o de bloques. Se calculará para cada prisma la relación h_p/t_p relación entre la altura (h_p) y la menor dimensión lateral (t_p), estará entre 2 y 5. En el caso de las pilas de bloques, la esbeltez estará entre 1.3 y 5” (Gallegos y Casabonne, 2005).

“Los valores f'_m han sido obtenidos de acuerdo a los coeficientes de corrección por esbeltez del prisma que aparecen en las Tablas N° 15 y 16. Para los valores de h_p/t_p intermedios, el factor de corrección se calculará mediante interpolación lineal de los valores dados”.

Tabla 15: Factores de corrección de f'_m por esbeltez según NTP 399.605

Esbeltez (h_p/t_p) ^A	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Factor de corrección	0.75	0.86	1.00	1.04	1.07	1.55	1.22

^A: h_p/t_p Relación de la altura del prisma y las medidas menores laterales del prisma.

Fuente: NTP 399.605:2013

Tabla 16: Factores de corrección de f'_m por esbeltez según NTE E.070

Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
Factor de corrección	0.73	0.80	0.91	0.95	0.98	1.00

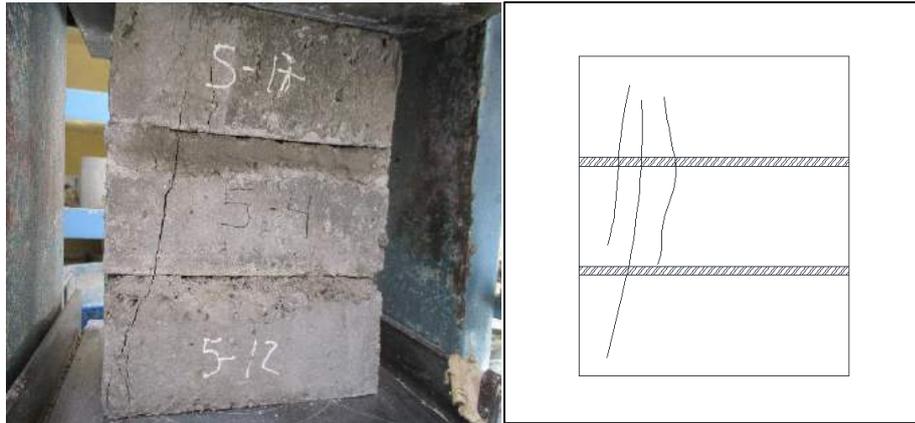
Fuente: NTE E.070:2006

2.2.7.3. Mecanismo de falla

Según Gallegos y Casabonne (2005) varias características han sido observadas en los ensayos de los prismas de ladrillos en compresión.

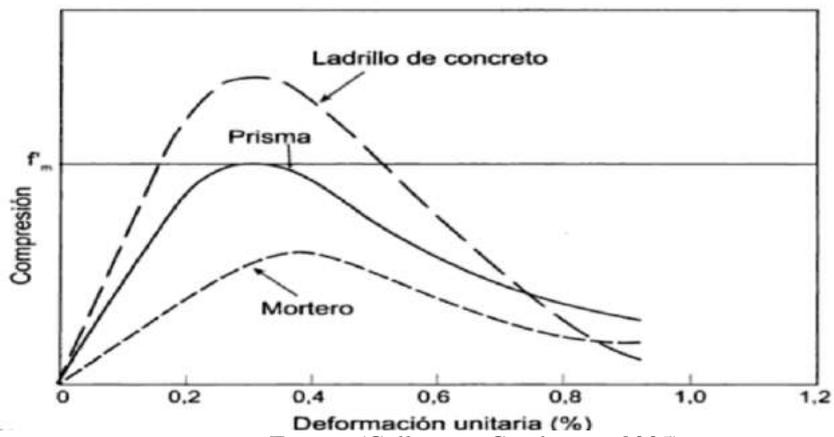
- “Las grietas en los ladrillos comienzan a aparecer aproximadamente a partir del 70% de la carga última. Las primeras se ubican alejadas de los efectos restrictivos del cabezal de carga y hacia el centro del prisma, y van acompañadas de ruidos crujientes”.
- “La carga máxima última ocurre cuando el avance de estas grietas verticales son sustantivos”.

Figura 3: Esquema de agrietamiento típico



c) “El esfuerzo y la deformación unitaria en rotura del prisma corresponden a valores intermedios de los que corresponden al ladrillo y al mortero que conforman el prisma”.

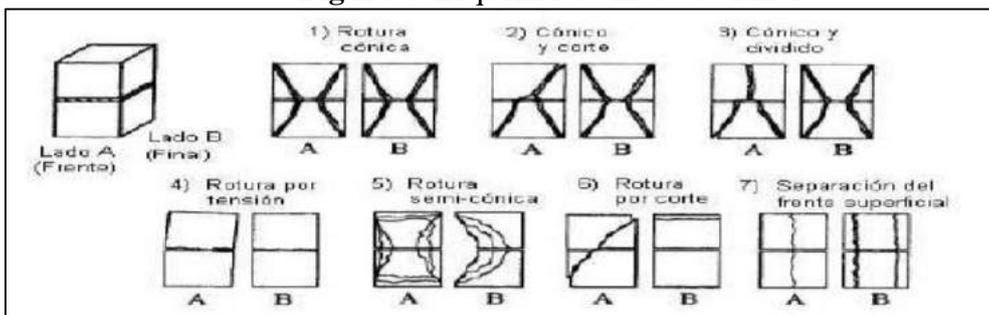
Figura 4: Gráfico normalizado compresión vs deformación unitaria para prismas ensayados a compresión.



Fuente: (Gallegos y Casabonne, 2005).

“Estos hechos llevan a deducir que el agrietamiento vertical de los ladrillos está relacionado con la deformación lateral del mortero. En la albañilería que analizamos, es usual que los ladrillos sean más resistentes y rígidos que el mortero”. (Gallegos y Casabonne, 2005).

Figura 5: Esquemas de modo de fallas



Fuente: (NTP 399.605:2013).

2.2.7.4. Módulo de elasticidad en pilas (Em)

“El cálculo del módulo de elasticidad se obtiene de la gráfica esfuerzo vs deformación unitaria, tomando el 50% del esfuerzo y restado al 10% del mismo, dividido al 50 % de la deformación unitaria menos el 10%, esto se debe a que por razones de seguridad y precisión en los ensayos se obvia la parte inicial del ensayo (10%) porque las deformaciones obtenidas son de la capa nivelante, y se toma el 50 %, debido a que las pilas contienen cemento y en este elemento se considera que el primer 50 % es elástico lineal”. (Bardales, 2019)

Por lo descrito anteriormente la fórmula a utilizar para el cálculo del módulo de elasticidad es el siguiente:

$$Em = \frac{(P_{50\%} - P_{10\%})/A}{(\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%})/L_i}$$

Ecuación 18: Módulo de elasticidad en pilas

Dónde se denomina:

P_{50%} - P_{10%}: Carga axial al 50% y al 10%
ε_{50%} - ε_{10%}: Deformación al 50% y al 10%
A: Área de la sección transversal
L_i: Longitud Inicial
Em: Modulo de elasticidad.

En resumen:

$$Em = \frac{\delta}{\epsilon}$$

Ecuación 19: Módulo de elasticidad en pilas- Resumida

Dónde:

Em: Modulo de elasticidad.
δ = σ'(50%) – σ'(10%): 50% menos el 10% del esfuerzo.
ε = ε'(50%) – ε'(10%): 50% menos el 10% de la deformación unitaria.

La norma E. 070, considera que el valor del módulo de elasticidad de las pilas de unidades de concreto vibrado es:

$$Em = 700 * f'm$$

Ecuación 20: Módulo de elasticidad en pilas- Norma E.070

2.2.8. Procedimientos utilizados en el presente proyecto según NTP

2.2.8.1. Refrentado de los especímenes de prueba (NTP 399.604:2015)

- a) El Refrentado con yeso cemento: Colocar la unidad en una superficie de refrentado que no se absorbe, cubrir ligeramente con aceite.
- b) Mezclar yeso cemento con agua a una consistencia seca, la cual podrá ser ensayada en un tiempo no menor de 2 horas y debe alcanzar una resistencia mínima de 24.1 Mpa.
- c) Colocar la superficie de la unidad a ser refrentada en contacto con la pasta, presionar la unidad firmemente hacia abajo con un solo movimiento y manteniendo la perpendicularidad hacia la superficie de refrentado.
- d) Considerar que el espesor medio de refrentado no excederá 3.2 mm y no se permite parchado en el refrentado, preferible retirar y reemplazar por nuevas capas.

2.2.8.2. Ensayo a compresión de las unidades de albañilería de concreto (NTP 399.604:2015)

- a) Colocar los especímenes con el centroide de las superficies de las unidades alineada verticalmente con el centro de empuje de la rótula de la máquina.
- b) Luego de fijar la unidad, se aplica la carga hasta la mitad de la máxima prevista a una velocidad conveniente, luego ajustar los controles de la máquina para uniformizar el movimiento del cabezal móvil, de tal manera que la carga restante se aplique entre el rango de 1 a 2 min.
- c) Registrar la carga a compresión máxima en Newtons y determinar el esfuerzo a compresión del área bruta del espécimen con aproximación a 0.1 Mpa.

2.2.8.3. Ensayo a compresión de los prismas de albañilería (NTP 399.605:2013)

- a) Construcción de prismas: Construir cada prisma en una bolsa grande como para poder encerrar y sellar el prisma completo, construir los prismas en una base plana y nivelada, unir las unidades una sobre otra con mortero, verificar verticalidad y horizontalidad del prisma antes de sellar la bolsa.
- b) Transporte y traslado: No se deberán mover los prismas antes de las 48 horas luego de la fabricación y mantener los prismas dentro de las bolsas bien apretadas hasta las 48 horas antes de ser ensayadas.
- c) Mantener los prismas dentro de bolsas selladas en una zona que mantenga la

temperatura en $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$ hasta 48 horas antes de ser ensayadas, luego retirar las bolsas y mantener los prismas a la misma temperatura y una humedad relativa del 80%.

- d) Edad de ensayo de prismas: Se ensayarán los prismas a los 28 días o edad solicitada, la edad de los prismas se determina a partir del día del asentado de las unidades con mortero.
- e) Medición de prismas: Medir con aproximación de 1mm las dimensiones de las caras superior e inferior de los prismas, determinar la longitud y el ancho promediando las cuatro medidas de cada dimensión. Determinar la altura del prisma promediando las cuatro medidas obtenidas en el centro de cada cara con aproximación de 1 mm.
- f) Colocación del prisma en la máquina de ensayo: Colocar el prisma sobre la placa de apoyo alinear los ejes centroidales del prisma y del centro de aplicación de carga de la máquina, fijar el prisma acercando la placa superior sobre el prisma, verificando que tenga un apoyo uniforme.
- g) Ensayo a compresión de prismas: Aplicar una carga inicial al prisma de la mitad de la carga total prevista a una velocidad conveniente, luego ajustar los controles de la máquina para uniformizar el movimiento del cabezal móvil, luego aplicar la carga remanente entre el rango de 1 a 2 min.
- h) Modo de falla: Si no se puede determinar el modo de falla una vez alcanzada la carga máxima; se debe continuar incrementando la carga hasta identificar el modo de falla, luego registrar la carga máxima y el modo de falla.
- i) Resistencia del prisma: Se calcula la resistencia de cada prisma dividiendo la carga máxima soportada por cada prisma entre el área neta de la sección transversal del prisma, expresar el resultado con una precisión de 69 KPa. Es importante calcular el factor de corrección altura / espesor mediante la interpolación lineal indicada en la norma para determinar la resistencia a compresión de los prismas.

2.3. Definición de términos básicos

Adiciones: Materiales minerales que se incorporan al cemento, generalmente en molienda conjunta como ciertas rocas naturales o no (Puzolanas, escoria granulada de alto horno, caliza, humo de sílice) que actúan, o bien aumentando las propiedades hidráulicas del cemento o mejorando otras cualidades debido a una adecuada granulometría (aumento de la trabajabilidad y retención de agua, disminución de la porosidad y capilaridad, reducción de la fisuración, etc.) (NTP 334.001:2001).

Cenizas de cascarilla de arroz: Procede del quemado controlado de la cascarilla de arroz. Es considerada un tipo de puzolana artificial que se utiliza como adición mineral en los cementos portland adicionados, en concretos y en elementos prefabricados. (Mattey, 2015).

Concreto vibrado: Es aquel concreto que, incrementa su densidad debido a la reducción del contenido de aire atrapado, resistencia y durabilidad. (Peñaherrera, 2001).

Granulometría: Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado. La NTP 400.012 establece el procedimiento para su distribución mediante el tamizado, obteniéndose la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices. Eventualmente se calcula la masa retenida y/o que pasa, también los porcentajes parciales y acumulados.

Ladrillos de concreto: Unidad de albañilería de dimensiones modulares fabricado con cemento portland, agua y agregados, que puede ser manipulada con solo una mano. (NTP 399.601:2016).

Muestra: Una muestra consiste de por lo menos tres prismas contruidos del mismo material y ensayados a la misma edad. (NTP399.605:2013).

Módulo de Fineza: Factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividido por 100. (NTP 400.011:2008).

Mortero: Material empleado para adherir horizontal y verticalmente a las unidades de albañilería. (NTP 399.621:2015).

Pilas de albañilería: Son prismas compuestos por dos o más hiladas de unidades enteras (ladrillos o bloques) asentadas una sobre la otra mediante mortero, con una altura total que no debe ser excesiva a fin de facilitar su construcción, almacenaje y transporte desde la obra hacia un laboratorio. Estas pilas, con una edad nominal de 28 días se ensayan a compresión axial. (Quiun, 2007).

Puzolanas: Son sustancias naturales o industriales, silíceas o silicoaluminosas, o una combinación de ambas. Los materiales no endurecen por si mismos cuando se amasan con agua, pero finamente molidos, reaccionan, en presencia de agua, a la temperatura ambiente con el hidróxido de calcio disuelto $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ y forman compuestos de silicatos de calcio y aluminato de calcio, capaces de desarrollar resistencia. Estos compuestos son similares a los que forman durante el endurecimiento de los materiales hidráulicos. Las puzolanas constaran esencialmente de SiO_2 reactivo y al Al_2O_3 . El resto contiene Fe_2O_3 y otros óxidos. El contenido de Si_2O_3 reactivo no será menor del 25% en masa. (NTP 334.001:2001)

Resistencia a compresión: Es la relación entre la carga de rotura a compresión de un ladrillo y su sección bruta. (NTP 399.601:2016).

Resistencia a compresión nominal: Es aquel valor de referencia a la sección bruta y utilizado en la designación del ladrillo. (NTP 399.601:2016).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

El capítulo de materiales y métodos en esta investigación están separados en los siguientes ítems: Ubicación geográfica, metodología de la investigación y procedimientos de la investigación; este último comprende determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, propiedades de las cenizas de cascarilla de arroz, diseño de mezclas del concreto patrón, ajuste de diseño de mezclas, determinación del tiempo óptimo de vibrado, elaboración de las unidades de albañilería de concreto vibrado con 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de adición de cenizas de cascarilla de arroz, determinación de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería de concreto, elaboración y ensayo a compresión del mortero de prueba, elaboración y ensayos a compresión axial de los primas de albañilería de concreto, en cada ítem se describe la normativa o metodología (método de experimentación y procedimientos), para conseguir los resultados a través del procesamiento de los datos obtenidos.

3.1. Ubicación geográfica

3.1.1. Ubicación del desarrollo de la Investigación.

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz, Ubicado en Cajamarca en la Zona 17 M, coordenadas UTM– WGS 1984 datum: 9206980.64m Sur, 776624.13m Este y Altitud 2683 msnm.

Figura 6: Ubicación de la Universidad Nacional de Cajamarca.



Fuente: Google Earth Pro 2019.

3.1.2. Ubicación de la Cantera de Agregados:

Los agregados finos y gruesos, se obtuvieron de la cantera ubicada en el distrito de Baños del Inca en el margen izquierdo del río Chonta, cuyo propietario es el ingeniero José Ernesto Acosta Gálvez, Ubicado en Cajamarca en la Zona 17 M, coordenadas UTM– WGS 1984 datum: 9207539.19m Sur, 779652.26 m Este y Altitud 2662 msnm.

Figura 7: Ubicación de la cantera Roca fuerte (Río Chonta)



Fuente: Google Earth Pro 2019.

3.1.3. Ubicación de la Molinera de Ceniza de cascarilla de arroz.

Las cenizas de cascarilla de arroz utilizadas para este estudio fueron obtenidas de la Molinera El Dorado, ubicada en carretera Jaén km 25 caserío Yanuyacu el distrito de Jaén – San Ignacio, Provincia de Jaén, departamento de Cajamarca; en la Zona 17 M, coordenadas UTM– WGS 1984 datum: 9373632.25m Sur, 747298.79m Este y Altitud 602 msnm.

Figura 8: Ubicación de la Molinera El dorado



Fuente: Google Earth Pro 2019.

3.2. Metodología de la investigación

3.2.1. Tipo de investigación

Tabla 17: Tipificación de la investigación

CRITERIO	TIPO
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque metodológico	Cuantitativa
Objetivos	Correlacional
Fuente de datos	Primaria
Diseño de prueba de hipótesis	Experimental
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Contexto donde se desarrolla	Laboratorio
Intervención disciplinaria	Unidisciplinaria

3.2.2. Diseño y Nivel de Investigación

1. Se realizó el diseño de la mezcla patrón con el método del módulo de fineza de la combinación de agregados.
2. Se elaboraron 3 probetas con mezcla patrón, con la finalidad de determinar sus propiedades físicas y mecánicas para realizar el ajuste de mezclas.
3. Se elaboraron 12 ladrillos utilizando una mesa vibratoria, cuyo tiempo de vibrado fue variando por cada 3 unidades entre los rangos de 15 a 20 segundos, 20 a 25 segundos, 25 a 30 segundos y de 30 a 35 segundos; con el fin de determinar el tiempo óptimo de vibrado que permita obtener una mayor resistencia.
4. Se elaboraron 24 ladrillos con mezcla patrón; cuyo tiempo de vibrado óptimo fue de 20 a 25 segundos, los mismos que fueron curados y ensayados en grupos de 6 unidades a edades de 3,7,14 y 28 días.
5. Se elaboraron 96 ladrillos con adiciones de cenizas de cascarilla de arroz en proporciones de: 5%, 10%, 15% y 20 % en peso del cemento, y para evaluar la resistencia mecánica a la compresión en estado endurecido a los 3, 7,14 y 28 días, se hicieron 6 repeticiones por cada tratamiento; es decir 24 ladrillos por cada adición.

Tabla 18: Matriz experimental de diseño y niveles de variable de estudio

RESULTADOS		FACTORES DE ANÁLISIS				
		L Patrón	Ladrillos con adición cenizas de cascarilla de arroz			
Dosificación		Sin Adición	5% en peso de cemento	10% en peso de cemento	15% en peso de cemento	20% en peso de cemento
		0%				
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	3 días	CP-1	A5-1	A10-1	A15-1	A20-1
		CP -2	A5-2	A10-2	A15-2	A20-2
		CP -3	A5-3	A10-3	A15-3	A20-3
		CP -4	A5-4	A10-4	A15-4	A20-4
		CP -5	A5-5	A10-5	A15-5	A20-5
		CP -6	A5-6	A10-6	A15-6	A20-6
	7 días	CP-7	A5-7	A10-7	A15-7	A20-7
		CP -8	A5-8	A10-8	A15-8	A20-8
		CP -9	A5-9	A10-9	A15-9	A20-9
		CP -10	A5-10	A10-10	A15-10	A20-10
		CP -11	A5-11	A10-11	A15-11	A20-11
		CP -12	A5-12	A10-12	A15-12	A20-12
	14 días	CP -13	A5-13	A10-13	A15-13	A20-13
		CP -14	A5-14	A10-14	A15-14	A20-14
		CP -15	A5-15	A10-15	A15-15	A20-15
		CP -16	A5-16	A10-16	A15-16	A20-16
		CP -17	A5-17	A10-17	A15-17	A20-17
		CP -18	A5-18	A10-18	A15-18	A20-18
	28 días	CP -19	A5-19	A10-19	A15-19	A20-19
		CP -20	A5-20	A10-20	A15-20	A20-20
		CP -21	A5-21	A10-21	A15-21	A20-21
		CP -22	A5-22	A10-22	A15-22	A20-22
		CP -23	A5-23	A10-23	A15-23	A20-23
		CP -24	A5-24	A10-24	A15-24	A20-24

- El número total de pruebas realizadas en estado endurecido es igual a: Variable dependiente (Resistencia a la compresión) X Número de tratamientos de estudio X Número de réplicas=4x5x6=120 ensayos de resistencia mecánica del ladrillo de concreto.

6. Se determinó las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto con adición de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% de cenizas de cascarilla de arroz.

3.2.3. Población, muestra y unidad de análisis.

Población de estudio:

No aplica a este estudio.

Muestra:

La muestra ha sido elegida por juicio o conveniencia, se tomó como muestra 120 ladrillos diseñados con diferentes dosificaciones, los cuales fueron sometidos a ensayos compresión axial, basándose en lo sugerido por la norma NTP 399.604:2015.

Unidad de análisis:

La unidad de análisis ha sido los ladrillos de concreto sin adición y con adiciones de cenizas de cascarilla de arroz.

El tratamiento de datos se realizó mediante estadística descriptiva, utilizando el programa Microsoft Excel para el procesamiento de los mismos.

La presentación de los resultados obtenidos se realizó mediante tablas de datos y figuras con el fin de tenerlos ordenados y confiables.

Finalmente se determinó la influencia en la resistencia a compresión de las unidades y pilas de los ladrillos de concreto sin adición y con adición de cenizas de cascarilla de arroz.

3.2.6. Equipos, materiales, insumos, etc.

Dentro de los recursos materiales necesarios para la investigación se requirió lo siguiente:

Materiales e insumos:

- Agregado fino de la cantera Acosta – Río Chonta.
- Agregado grueso (confitillo) de la cantera Acosta – Río Chonta.
- Agregado fino (arena gruesa para mortero) de la cantera Acosta – Río Chonta.
- Cementos Pacasmayo tipo I.
- Cenizas de cascarilla de arroz – Molinera El Dorado.
- Agua potable de la ciudad Universitaria

Equipo y herramientas:

- Máquina de abrasión los Ángeles
- Máquina universal de ensayos
- Mesa vibratoria
- Molde doble para ladrillos
- Balanza 30kg
- Palana
- Badilejo
- Plancha
- Regla metálica graduada a 1mm
- Wincha
- Nivel
- Baldes medidores
- Plomada
- Carretilla
- Cámara fotográfica
- Vernier digital de laboratorio graduado al 0.1mm
- Olla Washington calibrada

- Horno mufla
- Poza de curado del laboratorio de materiales.

3.3. PROCEDIMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados para elaboración de las unidades de concreto

Las propiedades físicas y mecánicas de los agregados que se utilizaron para la elaboración de las unidades de concreto, se realizaron en el “Laboratorio de ensayo de materiales Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz” de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Metodología:

Para determinar las propiedades físicas y mecánicas, se realizaron los procedimientos indicados en las normas técnicas peruanas (NTP); que son una adaptación de las normas American Section of the International Association for Testing Materials (ASTM).

Las normas aplicadas en los ensayos de los agregados son los siguientes:

Tabla 20: Propiedades físicas y mecánicas con normas respectivas realizadas a los agregados.

ENSAYO	NORMA
Análisis granulométrico Tamaño máximo y máximo nominal de los agregados (la cual se determina en el ensayo de granulometría)	ASTM C136-05, NTP 400.037:2014
Módulo de fineza	ASTM C125-07, ASTM C 136-06, NTP 400.012:2013
Peso específico y absorción para el agregado grueso	ASTM C127-04, NTP 400.021:2018
Peso específico y absorción para el agregado fino	ASTM C128-04, NTP 400.022:2018
Contenido de humedad	STM C566-04, NTP 339.185:2002
Resistencia a la abrasión	ASTM C131-03, NTP 400.019:2014, NTP 400.020:2014
Peso unitario del agregado	ASTM C29-07, NTP 400.017:2011

3.3.2. Propiedades físicas de las cenizas de cascarilla de arroz

Se realizó la molienda, tamizado y ensayo de peso específico de las cenizas de la cascarilla de arroz en estudio en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Metodología:

El proceso de molienda se realizó en la máquina de abrasión Los Ángeles colocando 6kg durante un periodo de tiempo de 1 hora es decir 2000 revoluciones, posteriormente a ello se tamizaron las partículas de cenizas en la malla 200 (75 μ m).

Para determinar el peso específico promedio de las cenizas de cáscara de arroz, se realizaron tres ensayos, de acuerdo a los procedimientos indicados en las normas NTP 400.022:2018 o ASTM C128-04.

3.3.3. Diseño de mezclas del concreto patrón para la elaboración de unidades de albañilería

El diseño de mezclas del concreto patrón utilizado para la elaboración de las unidades de albañilería, se realizó mediante el método del módulo de fineza de la combinación de agregados, debido a que se utiliza cuando los agregados no cumplen con el huso granulométrico, pues este método manipula el módulo de fineza y las propiedades físicas y mecánicas de ambos agregados, además tiene un mejor acomodo de las partículas y por ende da mejor resultados en su resistencia.

Metodología:

Para el diseño se realizaron los siguientes pasos.

1. Determinar las características de los materiales.
2. Características del cemento
3. Volumen unitario de agua
4. Tamaño máximo nominal del agregado
5. Selección de la resistencia promedio
6. Cálculo del asentamiento
7. Cálculo del contenido de aire
8. Relación del agua cemento
9. Factor cemento
10. Volúmenes de pasta.
11. Volumen de agregados
12. Cálculo del módulo de finura de la combinación de agregados.
13. Peso de materiales de diseño
14. Materiales corregidos por humedad

15. Proporciones en peso húmedo

16. Proporciones en volumen

3.3.4. Propiedades de la mezcla del concreto patrón para la elaboración de las unidades de albañilería.

A continuación, se describen los ensayos realizados a la mezcla de concreto fresco patrón, para determinar sus propiedades físicas necesarios para realizar el ajuste del diseño de mezclas que se utilizó en la elaboración de unidades de albañilería de acuerdo a las normas vigentes:

3.3.4.1. Peso unitario del concreto:

Es el peso varillado de una muestra de concreto representativa respecto del volumen ocupado por dicha muestra, expresado en kilos por metro cúbico, se realizó de acuerdo al procedimiento indicado en la norma NTP 339.046:2018 o ASTM C138-08.

3.3.4.2. Consistencia del concreto fresco:

Esta propiedad se mide mediante el ensayo de revenimiento o Slump test; este método de ensayo tiene como fin proveer al usuario de un procedimiento para determinar el asentamiento del concreto plástico. El ensayo se realizó de acuerdo al procedimiento indicado en la norma NTP 339.035:2015 o ASTM C143-08.

Tabla 21: Medidas de las Consistencia/ Revenimiento del Concreto

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO
Seca	0" a 2"
Plástica	3" a 4"
Fluida	Mayor a 5"

3.3.4.3. Temperatura del concreto fresco

Es la propiedad está relacionado con la humedad relativa y el tiempo de fragua del concreto, esta prueba se realizó de acuerdo al procedimiento indicado en la norma NTP 339.184:2013 o ASTM C1064-08.

Tabla 22: Tiempo de fragua vs. Temperatura del concreto

TEMPERATURA	TIEMPO DE FRAGUA APROXIMADO
70° F (21°C)	6 horas
60° F (16°C)	8 horas
50° F (10°C)	11 horas
40° F (4°C)	14 horas
30° F (-1°C)	Más de 19 horas , inicio de congelamiento
20° F (-7°C)	Se detiene la hidratación , se congeló

Tabla 23: Temperatura del concreto vs. Humedad Relativa

TEMPERATURA DEL CONCRETO	HUMEDAD RELATIVA
41 °C	90%
38 °C	80%
35 °C	70%
32°C	60%
29 °C	50%
27°C	40%
24°C	30%

3.3.4.4. Contenido de aire atrapado en el concreto

Esta propiedad está en función de las proporciones de los ingredientes del concreto, de las características físicas de los agregados y del método de compactación, se realizó de acuerdo al procedimiento indicado en la norma NTP 339.083:2003 o ASTM C231-04.

3.3.5. Ajuste del diseño de mezclas del concreto patrón.

Debido a que la resistencia a compresión de las probetas de concreto, no cumplían con la resistencia de diseño, se procedió ajustar el diseño de mezclas original, utilizando los resultados de las propiedades del concreto en estado fresco.

Metodología:

Para realizar la corrección del diseño de mezclas se siguieron los pasos que a continuación se detallan:

1. Datos de la tanda obtenidos en laboratorio.
2. Peso de tanda (Materiales corregidos por humedad)
3. Rendimiento de tanda en ensayo
4. Se determinó la nueva cantidad de agua de mezclado por tanda
5. Se determinó el agua de mezclado requerida por m³
6. Se efectuó la corrección por aire
7. Cálculo de aire total por el método gravimétrico
8. Corrección por asentamiento (slump)
9. Se dedujo la nueva relación agua/cemento
10. Se estableció el factor cemento
11. Nuevo peso del concreto
12. Cálculo de nuevos pesos secos por m³

13. Corrección por humedad
14. Proporción en pesos húmedos
15. Corrección por volumen
16. Proporción en volumen y proporción en tanda por volumen.

3.3.6. Tiempo óptimo de vibrado para las unidades de albañilería de concreto

Se determinó el tiempo óptimo de vibrado de la mezcla patrón del ladrillo de concreto para poder alcanzar una resistencia destacada.

Metodología:

Para determinar el tiempo óptimo de vibrado se realizó los pasos que a continuación se detallan:

1. Se pesó los materiales según la dosificación del diseño de mezclas corregido en función a una tanda (12 ladrillos).
2. Se preparó la mezcla para una tanda
3. Se realizó el ensayo de slump óptimo (0 pulg.)
4. Se colocó la mezcla en el molde sobre la mesa vibratoria.
5. Se controló el tiempo de vibrado de 15 a 20 seg, para 3 ladrillos de prueba.
6. Se controló el tiempo de vibrado de 20 a 25 seg, para 3 ladrillos de prueba.
7. Se controló el tiempo de vibrado de 25 a 30 seg, para 3 ladrillos de prueba.
8. Se controló el tiempo de vibrado de 30 a 35 seg, para 3 ladrillos de prueba.
9. Se cubrió los ladrillos de prueba con un plástico durante 18 a 24 horas, de tal manera que lograron el fraguado.
10. Se codificó los ladrillos de prueba y colocó en la poza de curado durante 28 días.
11. Se refrentó los ladrillos de prueba con una mezcla de yeso-cemento, dejó reposar durante 2 horas como mínimo antes de iniciar el ensayo a compresión, como indica la norma NTP 399.604:2015.

3.3.7. Elaboración de las unidades de albañilería de concreto vibrado sin adición y con adición de cenizas de cascarilla de arroz.

Se elaboró los ladrillos de concreto vibrado, utilizando una mesa vibratoria y con adiciones de 0%, 5%,10%, 15% y 20% en peso de cenizas cascarilla de arroz.

Características de los equipos utilizados:

Los equipos que se utilizó para fabricar las unidades de albañilería de concreto vibrado son:

Mesa vibratoria:

Dimensiones de la mesa vibratoria: Ancho: 0.63 m, largo: 0.63 m, altura: por 0.83 m

Características del motor: Motor monofásico de 220V, 7.52 A, de 1HP, 60 Hz y 1680 r.p.m.

Figura 10: Dimensiones de la mesa vibratoria



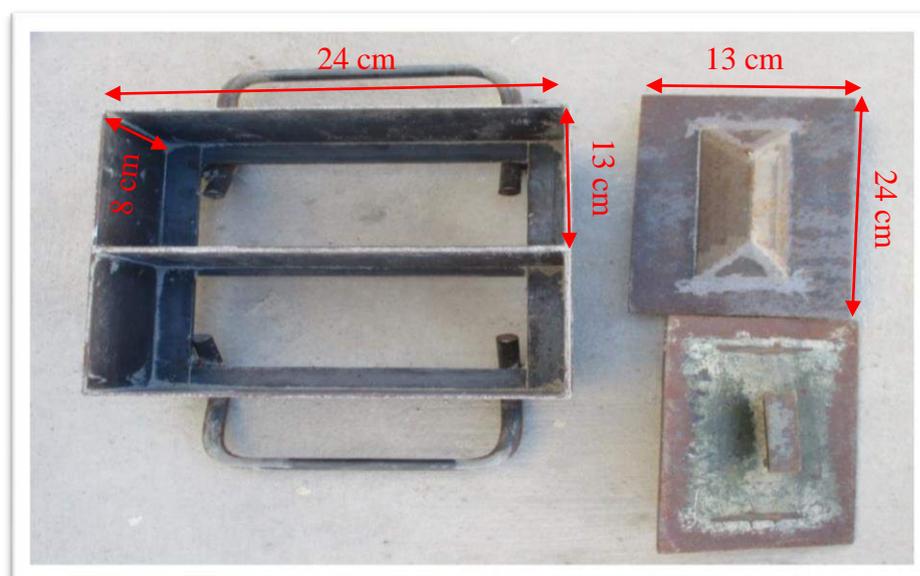
Molde metálico:

El molde metálico permitió fabricar los ladrillos de concreto cuyas dimensiones son: 13 cm de ancho, 24cm de largo y 8 cm de altura.

Por lo general los moldes metálicos tienen un mecanismo de expulsión que facilita el desmoldaje. Este molde está constituido por una platina móvil que se retira luego de presionar las asas rotatorias, cuenta con dos cavidades de similares medidas.

Para mantener su operatividad se recomienda limpiar con agua inmediatamente luego del uso por jornada y barnizar con petróleo.

Figura 11: Dimensiones molde metálico



Metodología:

Para la elaboración de los ladrillos de concreto vibrado con adición de cenizas de cascarilla de arroz se siguieron los pasos que a continuación se detallan:

1. Se pesó los materiales determinados en el diseño de mezcla corregido para una tanda determinada.
2. Se pesó las cenizas de cascarilla de arroz, al 5%, 10%, 15% y 20% en peso del cemento.
3. Se preparó la mezcla patrón (sin adición) para una tanda de 24 ladrillos.
4. Se realizó el ensayo de revenimiento (0 pulg.)
5. Se humedeció el molde antes de iniciar la fabricación de los ladrillos patrón.
6. Se colocó la mezcla en el molde sobre la mesa vibratoria.
7. Se controló tiempo de vibrado de 15 a 20 seg.
8. Se cubrió con plástico los ladrillos durante 18 a 24 horas hasta que alcanzó el fraguado necesario, para luego codificar.
9. Se repitió los pasos, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 para la fabricación de los ladrillos con adición de 5%, 10%, 15 % y 20 % en peso del cemento de cenizas de cascarilla de arroz.
10. Sumergió los ladrillos en la poza de curado durante 3,7,14 y 28 días, según la edad de ensayo programado en la máquina a compresión.

3.3.8. Propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería

Se realizó ensayos de variación dimensional, alabeo, absorción por sumersión durante 24 horas, succión y resistencia a compresión de los ladrillos sin adición y con adición de cenizas de cascarilla de arroz. Según lo indicado en las normas que a continuación se detallan.

Tabla 24: Propiedades físicas y mecánicas con normas respectivas realizadas a las unidades de albañilería.

ENSAYO	NORMA
Variación Dimensional	NTP 399.601: 2016 y NTP 399.604:2015
Alabeo	NTP 399.613:2017
Succión	NTP 399.613: 2017
Absorción (sumersión 24 horas)	NTP 399.604:2015
Resistencia a compresión	NTP 399.604:2015

3.3.9. Elaboración y ensayo a compresión del mortero de prueba

Se realizó el diseño de mezclas de mortero y se elaboraron probetas cúbicas de 50 mm, se ensayaron a compresión axial, de acuerdo a lo indicado en la norma ASTM C109 / C 109 M-07.

3.3.10. Elaboración y ensayo a compresión axial de prismas

Para la elaboración de prismas con tres unidades de albañilería de concreto vibrado sin adición y con adición de cenizas de cascarilla de arroz se realizaron los siguientes pasos:

1. Se pesó los materiales necesarios para la elaboración del mortero con la relación en volumen 1:4 cemento arena.
2. Se construyó cada prisma ubicándolo dentro de una bolsa lo suficientemente grande como para encerrar y sellar el prisma completo.
3. Se construyó cada prisma sobre una base plana y nivelada y se colocó en un lugar donde permanecieron sin perturbaciones y bajo sombra.
4. Se colocó un espesor de junta de 1cm a 1.5cm entre cada unidad.
5. Se utilizó un martillo de goma mediante el cual se efectuaron golpes distribuidos sobre toda la superficie de cada unidad, para asegurar que no queden vacíos entre las juntas.
6. Se verificó la verticalidad con la plomada en las cuatro caras del prisma.
7. Se verificó la verticalidad y horizontalidad con plomada y nivel, de tal manera que sus dimensiones opuestas varíen como máximo ± 1 mm, y que el mortero quede cortado al ras.
8. Se fabricó los prismas con una altura de tres unidades, con una relación alto – espesor, h_p/t_p , entre 1,3 y 5,0.
9. Inmediatamente después de la construcción del prisma, se selló la bolsa ajustándola para mantener la humedad alrededor del prisma. Se realizaron los procedimientos indicados en la NTP 399.605:2013.

3.4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.4.1. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados.

Se realizaron los ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, que se obtuvieron del promedio de tres ensayos sucesivos; los ensayos completos se encuentran en el anexo 4.

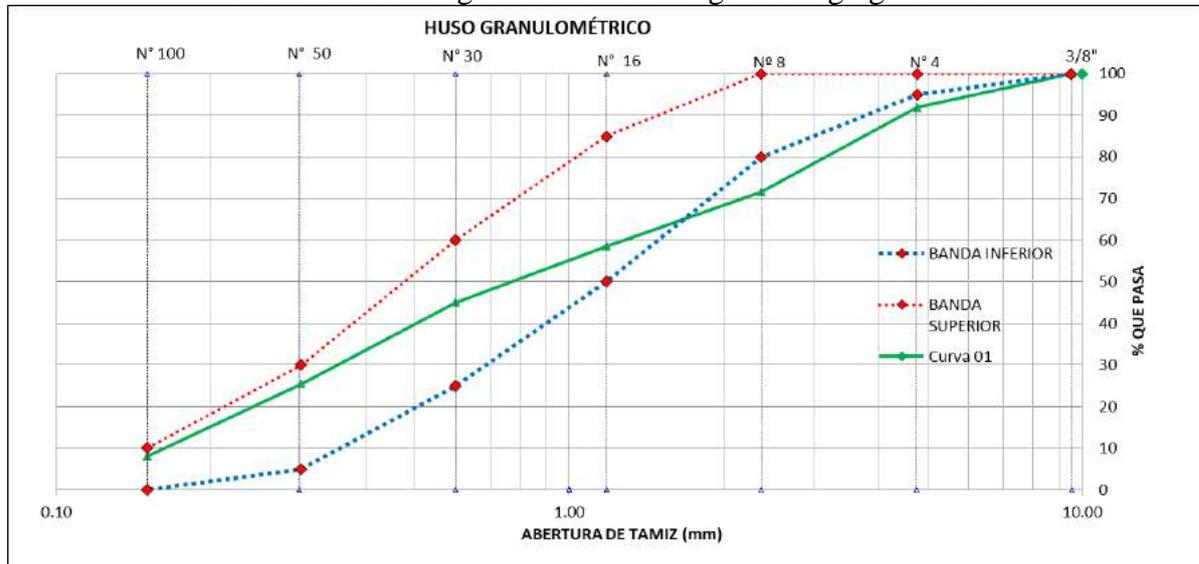
A. Ensayo de granulometría del agregado fino:

Tabla 25: Granulometría y módulo de fineza integral del agregado fino

**GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO Y MÓDULO DE FINURA
(ASTM C 125, ASTM C 136, NTP 400.037)**

ENSAYO PROMEDIO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO								
TAMIZ		Peso Ret (gr)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q. Pasa	Huso granulométrico		
#	(mm)							
3/8"	9.51	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
Nº4	4.76	141.80	8.13	8.13	91.87	95	-	100
Nº8	2.36	354.57	20.28	28.41	71.59	80	-	100
Nº16	1.18	227.53	13.02	41.43	58.57	50	-	85
Nº30	0.60	236.10	13.48	54.91	45.09	25	-	60
Nº50	0.30	343.83	19.65	74.56	25.44	5	-	30
Nº100	0.15	303.03	17.35	91.92	8.08	0	-	10
cazoleta		141.37	8.08	100.00	0.00	Módulo de finura		
SUMA		1748.23	100.00			2.99		

Gráfico 1: Curva granulométrica integral del agregado fino



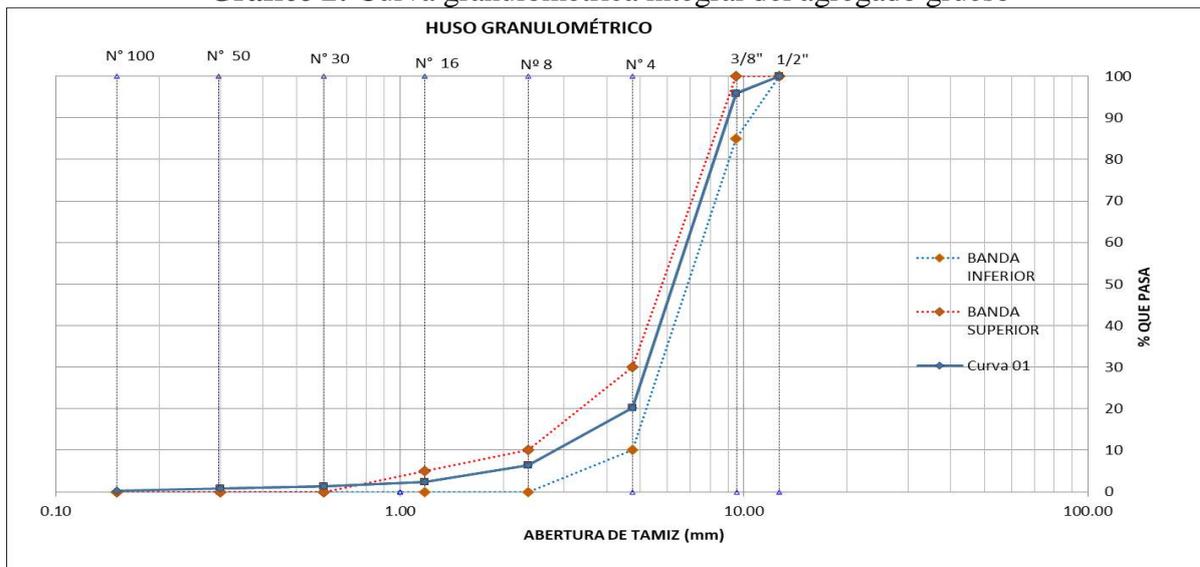
B. Ensayo de granulometría del agregado grueso:

Tabla 26: Granulometría y módulo de fineza integral del agregado grueso

**GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO Y MÓDULO DE FINURA
(ASTM C 125, ASTM C 136, NTP 400.037)**

ENSAYO PROMEDIO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO								
TAMIZ		Peso (gr)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q. Pasa	Huso granulométrico A.S.T.M N°8		
#	(mm)							
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
3/8"	9.51	268.30	4.07	4.07	95.93	85	-	100
Nº 4	4.76	4990.43	75.71	79.77	20.23	10	-	30
Nº8	2.36	909.30	13.80	93.57	6.43	0	-	10
Nº16	1.18	265.70	4.03	97.60	2.40	0	-	5
Nº30	0.60	72.33	1.10	98.70	1.30	0	-	0
Nº50	0.30	36.70	0.56	99.26	0.74	0	-	0
Nº100	0.15	26.73	0.41	99.66	0.34	0	-	0
cazoleta		22.10	0.34	100.00	0.00	Módulo de finura		
SUMATORIA		6591.60	100.00			5.73		

Gráfico 2: Curva granulométrica integral del agregado grueso



C. Propiedades del agregado fino y agregado grueso:

Tabla 27: Resumen del promedio de los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados.

AGREGADOS : CARACTERÍSTICAS	A. FINO	A. GRUESO
Módulo de fineza	2.99	5.73
T.M.N	-----	3/8"
Peso específico de Masa (gr/cm ³)	2.598	2.587
Peso específico superficialmente seco (gr/cm ³)	2.634	2.616
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.695	2.665
Absorción (%)	1.386	1.136
Contenido de Humedad (%)	5.17	3.52
Abrasión (%)	-----	29.98
Peso unitario seco suelto (kg/m ³)	1625.99	1360.68
Peso unitario seco compactado (kg/m ³)	1776.18	1459.63
Vacíos reales %		43.83
Vacíos teóricos %		43.97
Perfil	Redondeado	Angular

3.4.2. Propiedades físicas de las cenizas de cáscara de arroz.

Se realizó la molienda de la ceniza de cascarilla de arroz en la máquina los Ángeles luego se tamizó por la malla # 200.

El resultado del peso específico de las cenizas de cascarilla de arroz, se obtuvo del promedio de tres ensayos sucesivos, tal como se detalla a continuación:

Tabla 28: Peso específico promedio de la ceniza de cáscara de arroz

DESCRIPCIÓN	P-1	P-2	P-3
A: Peso del material seco (gr)	138	135	136
B: Peso del picnómetro lleno de agua (gr)	661	660	660
C: A+B	799	795	796
D: Peso del picnómetro + agua+material (gr)	741	738	739
E: C-D Volumen de agua desplazado (cm ³)	58	57	57
A/E: Peso específico (gr/cm ³)	2.379	2.368	2.386
Peso específico promedio (gr/cm³)	2.38		

3.4.3. Diseño de Mezclas.

El Diseño de mezcla se realizó mediante el Método Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados; ver anexo 5.1; las proporciones que a continuación de indican corresponden a una tanda de tres especímenes de concreto.

Tabla 29: Proporciones del diseño de mezclas para tres especímenes de concreto

PROPORCIONES	CEMENTO	A.FINO	A.GRUESO	AGUA
Proporción en pesos húmedos (PP)	1.00	2.96	2.44	20 lts/bolsa
Proporción en volumen	1.00	2.60	2.60	20 lts/bolsa
Proporción por tanda de 3 especímenes de concreto	6.59 kg	19.51 kg	16.07 kg	3.07 lt

3.4.4. Propiedades de la mezcla de concreto patrón para unidades de albañilería.

A continuación, se presenta un breve resumen de las propiedades de la mezcla de concreto fresco, los resultados fueron obtenidos del promedio de tres pruebas sucesivas.

Tabla 30: Propiedades del concreto fresco

PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	RESULTADOS PROMEDIO
Peso unitario del concreto fresco NTP 339.046 / ASTM C-138	2254.67 kg/cm ³	2250.90 kg/cm ³	2238.42 kg/cm ³	2248.00 kg/cm ³
Consistencia o Slump del concreto fresco NTP 339.035 / ASTM C-143	0"	0"	0"	0"
Temperatura del concreto fresco NTP 339.184 / ASTM C-1064	22.4 °C	19.6 °C	20.2 °C	20.7 °C
Contenido de aire del concreto fresco NTP 339.083 / ASTM C-231	7%	5%	6%	6%
Resistencia a compresión a los 28 días NTP 399.604 / ASTM C-140	122 kg/cm ²	154 kg/cm ²	143 kg/cm ²	140 kg/cm ²

3.4.5. Ajuste del diseño de mezclas

Se realizó el ajuste de mezclas por exceso del contenido de aire; ver anexo 5.2; este método nos dio como resultado proporciones en peso y volumen de los materiales para cada tanda (30 unidades de ladrillos).

Tabla 31: Proporciones en peso y volumen de los ingredientes de las mezclas

PROPORCIONES		CEMENTO	ARENA FINA	ARENA GRUESA CONFITILLO	AGUA	CCA (*)
Diseño de mezclas	Proporción en pesos húmedos (PP)	1.00	3.15	2.18	20.00 L/bolsa	---
	Proporción en volumen	1.00	2.77	2.32	20.02 L/bolsa	---
Proporción por tanda para 30 ladrillos sin adición de cenizas		33.66 kg	106.14 kg	73.29 kg	15.63 lt	---
Proporción por tanda para 30 ladrillos con 5% adición de cenizas		33.66 kg	106.14 kg	73.29 kg	15.63 lt	1.68 kg
Proporción por tanda para 30 ladrillos con 10% adición de cenizas		33.66 kg	106.14 kg	73.29 kg	15.63 lt	3.37 kg
Proporción por tanda para 30 ladrillos con 15% adición de cenizas		33.66 kg	106.14 kg	73.29 kg	15.63 lt	5.05 kg
Proporción por tanda para 30 ladrillos con 20% adición de cenizas		33.66 kg	106.14 kg	73.29 kg	15.63 lt	6.73 kg

* Cenizas de cascarilla de arroz

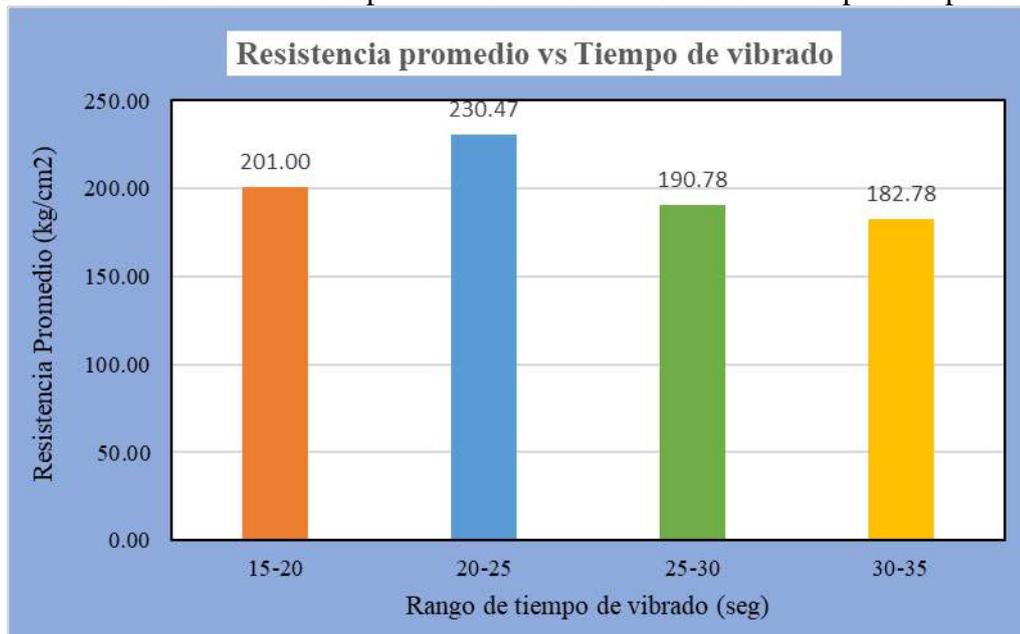
3.4.6. Tiempo óptimo de vibrado

Para determinar el tiempo óptimo de vibrado, se elaboraron 3 unidades de albañilería por cada intervalo de tiempo; a edad de 28 días se ensayaron a compresión.

Tabla 32: Influencia del Tiempo de vibrado en la resistencia a compresión

Código de ladrillos	Edad (días)	Tiempo de Vibrado (seg)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Resistencia a compresión promedio (kg/cm ²)	Desviación estándar (s)	Coefficiente de variación (c.v)
M-1	28	15-20	318	65750	206.76	201.00	5.52	2.75%
M-2	28	15-20	318	63750	200.47			
M-3	28	15-20	318	62250	195.75			
M-4	28	20-25	318	73240	230.31	230.47	2.95	1.28%
M-5	28	20-25	318	72375	227.59			
M-6	28	20-25	318	74250	233.49			
M-7	28	25-30	318	60500	190.25	190.78	2.40	1.26%
M-8	28	25-30	318	61500	193.40			
M-9	28	25-30	318	60000	188.68			
M-10	28	30-35	318	58500	183.96	182.78	3.12	1.71%
M-11	28	30-35	318	58875	185.14			
M-12	28	30-35	318	57000	179.25			

Gráfico 3: Influencia del tiempo de vibrado en la resistencia a compresión promedio



3.4.7. Propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería

3.4.7.1. Propiedades físicas de las unidades de albañilería

A. Características Generales de las unidades de albañilería

A continuación, se presenta un cuadro de las características que tienen los ladrillos de concreto.

Tabla 33: Características de los ladrillos

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Tipo	macizo
% de huecos	6.2
Dimensiones (cm)	24*13*8
Volumen bruto (cm ³)	2496
Volumen neto (cm ³)	2342
Peso promedio (kg)	6.3

B. Alabeo de las unidades de albañilería

A continuación, se presenta un cuadro con los resultados del ensayo de alabeo, es decir las medidas de la concavidad y convexidad de ambas caras.

Tabla 34: Alabeo de las unidades de albañilería

Adición	Especimen	Cara superior		Cara inferior	
		Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
0%	E-01	0.00	0.50	0.00	0.00
0%	E-02	0.00	1.50	0.00	0.00
0%	E-03	0.00	1.00	0.00	0.00
5%	E-04	0.00	1.50	0.00	0.00
5%	E-05	0.00	1.00	0.00	0.00
5%	E-06	0.00	1.50	0.00	0.00
10%	E-07	0.00	0.50	0.00	0.00
10%	E-08	0.00	0.50	0.00	0.00
10%	E-09	0.00	1.00	0.00	0.00
15%	E-10	0.00	1.00	0.00	0.00
15%	E-11	0.00	1.00	0.00	0.00
15%	E-12	0.00	0.50	0.00	0.00
20%	E-13	0.00	0.50	0.00	0.00
20%	E-14	0.00	1.00	0.00	0.00
20%	E-15	0.00	0.50	0.00	0.00
	Promedio	Cóncavo (mm)	0.00		
		Convexo (mm)	0.45		

C. Variabilidad dimensional de las unidades de albañilería

A continuación, se presentan tres cuadros con los resultados de las variaciones dimensionales de la longitud, ancho y altura.

Tabla 35: Variabilidad dimensional de la longitud de las unidades de albañilería

Adición	Especimen	Longitud (mm)				
		L1	L2	L3	L4	Lo
0%	E-01	241.00	240.50	240.80	240.30	240.65
0%	E-02	240.70	240.60	241.20	240.10	240.65
0%	E-03	240.90	240.20	241.00	240.10	240.55
5%	E-04	241.00	240.60	240.50	241.00	240.78
5%	E-05	240.10	240.30	240.40	240.70	240.38
5%	E-06	240.10	240.50	240.00	240.40	240.25
10%	E-07	240.50	240.40	240.50	240.80	240.55
10%	E-08	241.00	240.70	240.30	241.00	240.75
10%	E-09	240.80	240.90	240.70	240.75	240.79
15%	E-10	241.00	240.30	240.40	240.50	240.55
15%	E-11	240.70	240.60	240.30	240.40	240.50
15%	E-12	240.40	240.10	240.30	240.20	240.25
20%	E-13	240.20	240.40	240.50	240.80	240.48
20%	E-14	240.60	240.70	240.80	240.75	240.71
20%	E-15	240.40	240.60	241.00	240.60	240.65
		Longitud teórica L:				240.00
		Desviación s :				0.17
		Longitud promedio				240.57
		Variabilidad dimensional %:				-0.24
		Coeficiente de variación %:				0.07

Tabla 36: Variabilidad dimensional del ancho de las unidades de albañilería

Adición	Espécimen	Ancho (mm)				
		A1	A2	A3	A4	Ao
0%	E-01	131.50	131.30	131.20	131.80	131.45
0%	E-02	132.00	131.70	131.30	131.50	131.63
0%	E-03	132.00	131.50	131.30	131.10	131.48
5%	E-04	131.30	131.30	131.50	132.00	131.53
5%	E-05	131.60	131.50	131.10	131.90	131.53
5%	E-06	131.90	131.40	131.50	131.00	131.45
10%	E-07	131.60	132.00	131.70	131.00	131.58
10%	E-08	132.00	131.50	131.50	131.80	131.70
10%	E-09	130.70	131.40	131.70	131.90	131.43
15%	E-10	132.00	131.70	131.40	131.30	131.60
15%	E-11	131.20	132.00	131.80	131.70	131.68
15%	E-12	131.30	131.50	131.60	131.30	131.43
20%	E-13	130.80	131.10	130.90	131.80	131.15
20%	E-14	130.70	131.60	130.70	131.90	131.23
20%	E-15	132.00	131.20	130.50	131.70	131.35
Ancho teórico A:						130.00
Desviación s :						0.15
Ancho promedio promedio						131.48
Variabilidad dimensional %:						-1.14
Coeficiente de variación %:						0.12

Tabla 37: Variabilidad dimensional de la altura de las unidades de albañilería

Adición	Espécimen	Altura (mm)				
		H1	H2	H3	H4	Ho
0%	E-01	82.70	82.50	82.40	82.30	82.48
0%	E-02	82.20	82.80	82.00	82.70	82.43
0%	E-03	82.50	82.60	82.40	82.60	82.53
5%	E-04	82.30	82.40	82.60	81.80	82.28
5%	E-05	82.75	82.00	82.70	82.40	82.46
5%	E-06	82.80	82.00	83.00	82.70	82.63
10%	E-07	82.60	82.60	82.30	82.00	82.38
10%	E-08	81.80	82.05	82.80	81.70	82.09
10%	E-09	81.90	82.10	82.90	83.00	82.48
15%	E-10	82.70	82.50	82.80	81.90	82.48
15%	E-11	82.30	82.70	82.90	82.10	82.50
15%	E-12	82.60	82.00	82.60	82.00	82.30
20%	E-13	82.20	82.50	81.90	81.80	82.10
20%	E-14	82.10	82.90	82.80	81.70	82.38
20%	E-15	82.50	82.50	82.10	82.20	82.33
Altura teórica H:						80.00
Desviación s :						0.15
Altura promedio						82.39
Variabilidad dimensional %:						-2.98
Coeficiente de variación %:						0.18

D. Succión de las unidades de albañilería

A continuación, se presenta un cuadro con los resultados del ensayo de succión realizados a los ladrillos.

Tabla 38: Succión de las unidades de albañilería

Adición	Espécimen	Largo (mm)	Ancho (mm)	Área (cm ²)	Peso Seco (g)	Peso Succión (g)	Succión (gr/200 cm ² /min)	Promedio (X) Succión (gr/200 cm ² /min)	Desviación estándar (s)	Coefficiente de variación (c.v)
0%	S-01	240.65	131.45	316.33	6308	6327	12.0	11.7	0.31	2.69%
0%	S-02	240.65	131.63	316.76	6297	6315	11.7			
0%	S-03	240.55	131.48	316.26	6273	6291	11.4			
5%	S-04	240.78	131.53	316.68	6340	6360	12.6	12.5	0.17	1.35%
5%	S-05	240.38	131.53	316.15	6282	6302	12.7			
5%	S-06	240.25	131.45	315.81	6233	6253	12.3			
10%	S-07	240.55	131.58	316.50	6410	6432	13.6	13.3	0.32	2.38%
10%	S-08	240.75	131.70	317.07	6373	6394	13.2			
10%	S-09	240.79	131.43	316.45	6368	6389	13.0			
15%	S-10	240.55	131.60	316.56	6322	6342	12.6	12.3	0.30	2.44%
15%	S-11	240.50	131.68	316.68	6350	6369	12.3			
15%	S-12	240.25	131.43	315.75	6361	6380	12.0			
20%	S-13	240.48	131.15	315.38	6006	6024	11.4	11.8	0.35	2.99%
20%	S-14	240.71	131.23	315.87	6004	6023	12.0			
20%	S-15	240.65	131.35	316.09	5928	5947	12.0			

3.4.7.2. Propiedades mecánicas de las unidades de albañilería

A. Resistencia a compresión de las unidades de albañilería

Se elaboraron las unidades de albañilería, considerando 24 muestras por cada adición, las cuales fueron ensayadas a compresión en un número de 06 unidades, por cada edad de 3, 7, 14 y 28 días.

Tabla 39: Porcentaje de adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 3 días

Adición %	Resistencia a compresión promedio fb (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión característica (f'b)	Desviación estándar (s)	Coefficiente de variación (c.v)
0	193.18	184	9.17	4.74%
5	214.94	207	7.50	3.49%
10	227.51	221	6.56	2.88%
15	181.96	173	8.89	4.89%
20	164.61	156	8.89	5.40%

Gráfico 4: Porcentaje de Adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 3 días

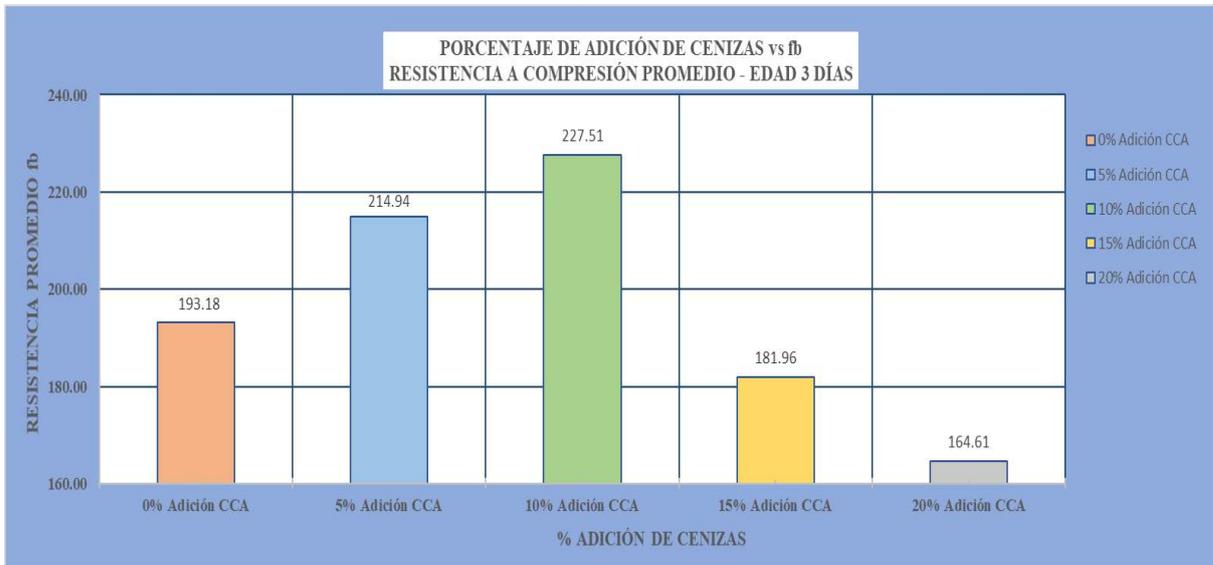


Tabla 40: Porcentaje de adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 7 días

Adición %	Resistencia a compresión promedio fb (kg/cm2)	Resistencia a la compresión característica (f'b)	Desviación estándar (s)	Coefficiente de variación (c.v.)
0	228.07	221	6.82	2.99%
5	253.68	244	9.58	3.78%
10	268.29	262	6.49	2.42%
15	217.23	208	9.40	4.33%
20	187.40	177	9.91	5.29%

Gráfico 5: Porcentaje de Adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 7 días

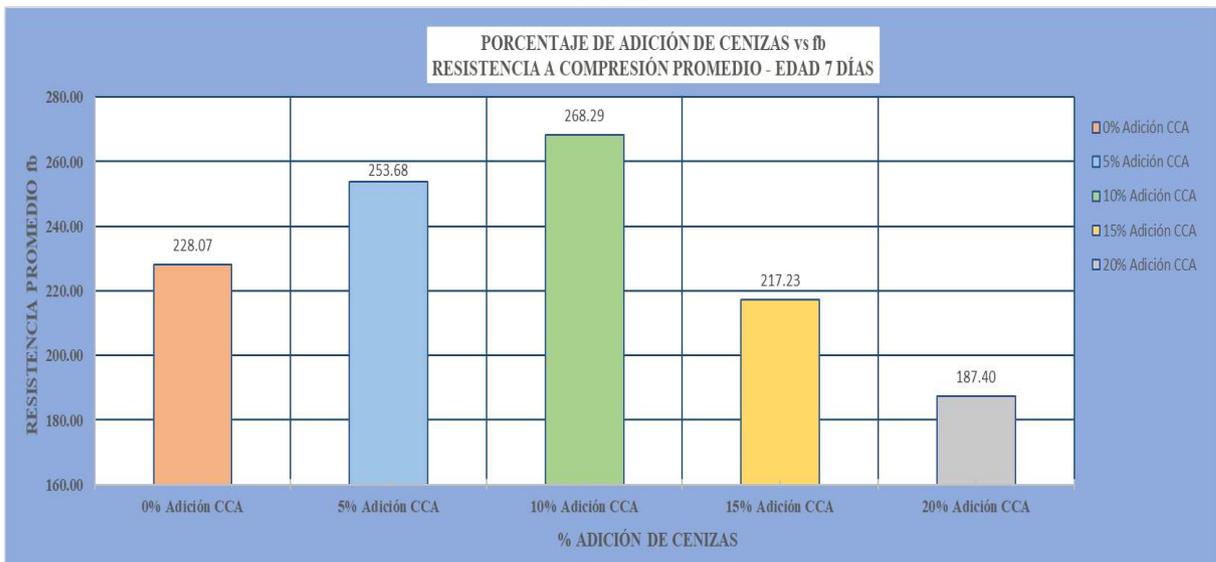


Tabla 41: Porcentaje de adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 14 días

Adición %	Resistencia a compresión promedio fb (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión característica (f'b)	Desviación estándar (s)	Coefficiente de variación (c.v.)
0	258.66	251	7.25	2.80%
5	263.07	253	9.74	3.70%
10	287.33	278	9.76	3.40%
15	247.76	238	9.92	4.00%
20	209.46	201	8.74	4.17%

Gráfico 6: Porcentaje de Adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 14 días

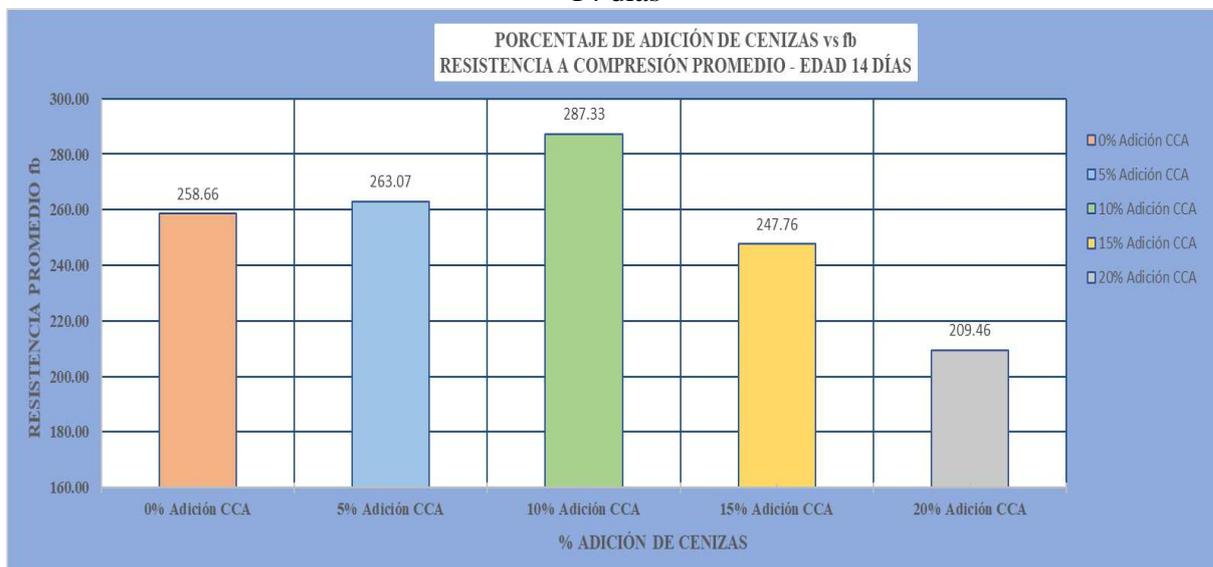
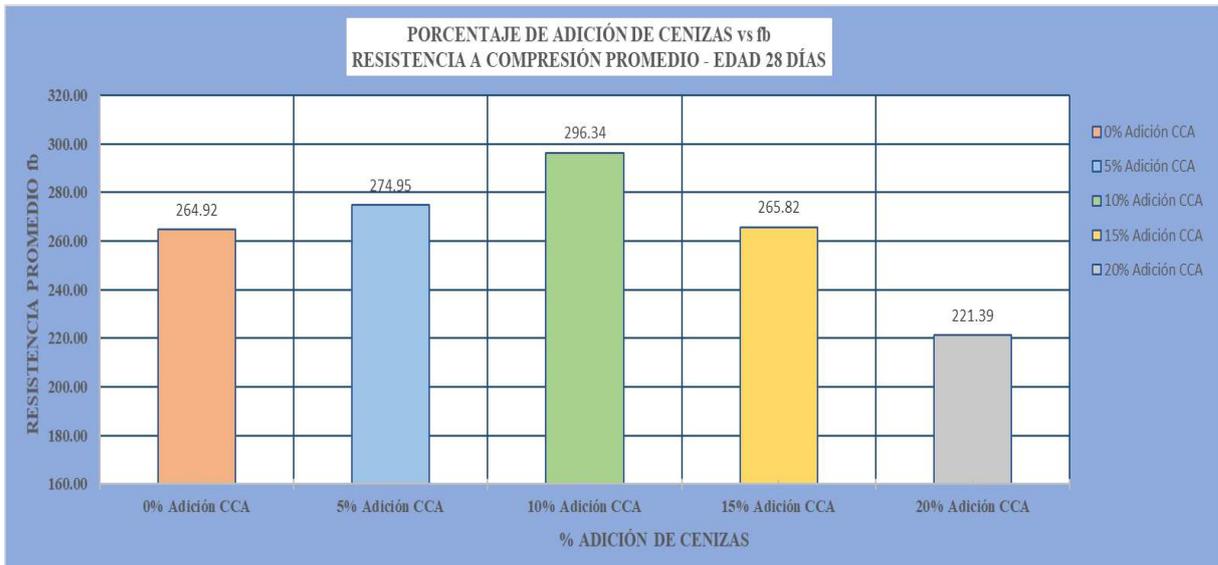


Tabla 42: Porcentaje de adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 28 días

Adición %	Resistencia a compresión promedio fb (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión característica (f'b)	Desviación estándar (s)	Coefficiente de variación (c.v.)
0	264.92	255	9.84	3.71%
5	274.95	265	9.57	3.48%
10	296.34	287	9.33	3.15%
15	265.82	257	8.64	3.25%
20	221.39	215	6.44	2.91%

Gráfico 7: Porcentaje de Adición de cenizas vs Resistencia a compresión promedio a edad de 28 días



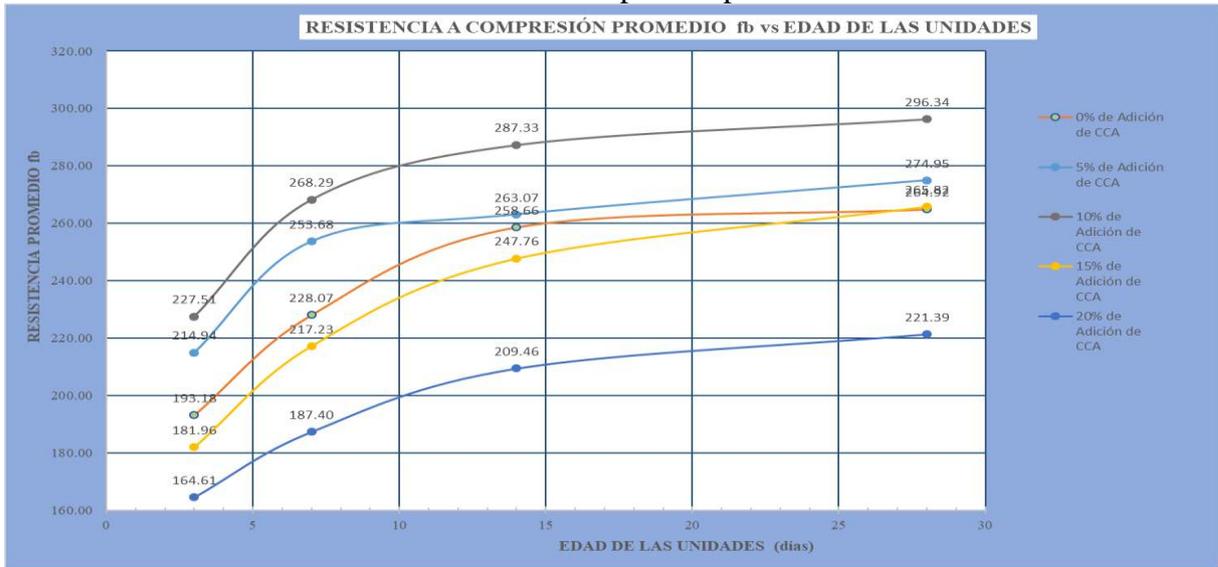
A continuación, se presenta un gráfico que muestra el desarrollo de la resistencia a compresión promedio versus el porcentaje de adición de las cenizas de cascarilla de arroz, respecto a la edad de las unidades.

Gráfico 8: Desarrollo de la Resistencia a compresión promedio vs el Porcentaje de adición de cenizas



A continuación, se presenta un gráfico que muestra el desarrollo de la resistencia a compresión promedio versus la edad de las unidades, respecto al porcentaje de adición de CCA.

Gráfico 9: Desarrollo de la Resistencia a compresión promedio vs La edad de las unidades



B. Absorción de las unidades de albañilería

A continuación, se presenta un cuadro con los resultados del ensayo de absorción realizados a 15 ladrillos a edad de 28 días.

Tabla 43: Absorción de las unidades de albañilería

Adición	Espécimen	Peso Seco 1 (g)	Peso Seco 2 (g)	Peso Seco 3 (g)	Peso Saturado (g)	Absorción (%)	Absorción Promedio (%)	Desviación estándar (s)	Coficiente de variación (c.v)
0%	A-01	6272	6265	6265	6642	6.0	6.05	0.10	1.60%
0%	A-02	6246	6239	6239	6623	6.2			
0%	A-03	6258	6250	6250	6623	6.0			
5%	A-04	6281	6269	6269	6676	6.5	6.42	0.09	1.38%
5%	A-05	6298	6286	6286	6692	6.5			
5%	A-06	6327	6316	6316	6715	6.3			
10%	A-07	6343	6329	6329	6784	7.2	7.15	0.04	0.59%
10%	A-08	6318	6301	6301	6752	7.1			
10%	A-09	6306	6291	6291	6738	7.1			
15%	A-10	6198	6180	6180	6635	7.4	7.29	0.28	3.84%
15%	A-11	6158	6143	6143	6572	7.0			
15%	A-12	6060	6041	6041	6496	7.5			
20%	A-13	6004	6017	6017	6397	6.3	6.33	0.09	1.41%
20%	A-14	5922	5909	5909	6278	6.2			
20%	A-15	5979	5964	5964	6347	6.4			

3.4.8. Mortero de prueba

A. Propiedades físicas del agregado para mortero

A continuación, se presenta un cuadro resumen de las propiedades físicas del agregado utilizado para el mortero, para la cual se utilizó arena gruesa natural pasante por la malla

N° 8, cuya curva granulométrica promedio se encuentra dentro del huso granulométrico requerido por la norma E.070.

Tabla 44: Resumen de ensayos de la arena gruesa natural para mortero

Parámetros	A. Fino
Peso específico de masa Cemento tipo I (gr/cm ³)	3.11
Porcentaje de aire %	1.00
Relación agua cemento	0.60
Módulo de fineza	2.41
Peso específico de Masa (gr/cm ³)	2.61
Peso específico superficialmente seco (gr/cm ³)	2.65
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.72
Absorción (%)	1.50
Contenido de Humedad (%)	3.18
Peso unitario seco suelto (kg/m ³)	1603.92
Peso unitario seco compactado (kg/m ³)	1723.21

B. Diseño de mezclas de mortero

A continuación, se presenta la dosificación del diseño de mezclas del mortero, para 6 probetas cúbicas de 5cm.

Tabla 45: Dosificación para mezcla 1:4 para una relación agua/cemento 0.53

Materiales	Sin considerar desperdicios	Considerando desperdicios
Cemento:	0.290	0.319
Arena:	1.280	1.408
Agua:	0.153	0.169

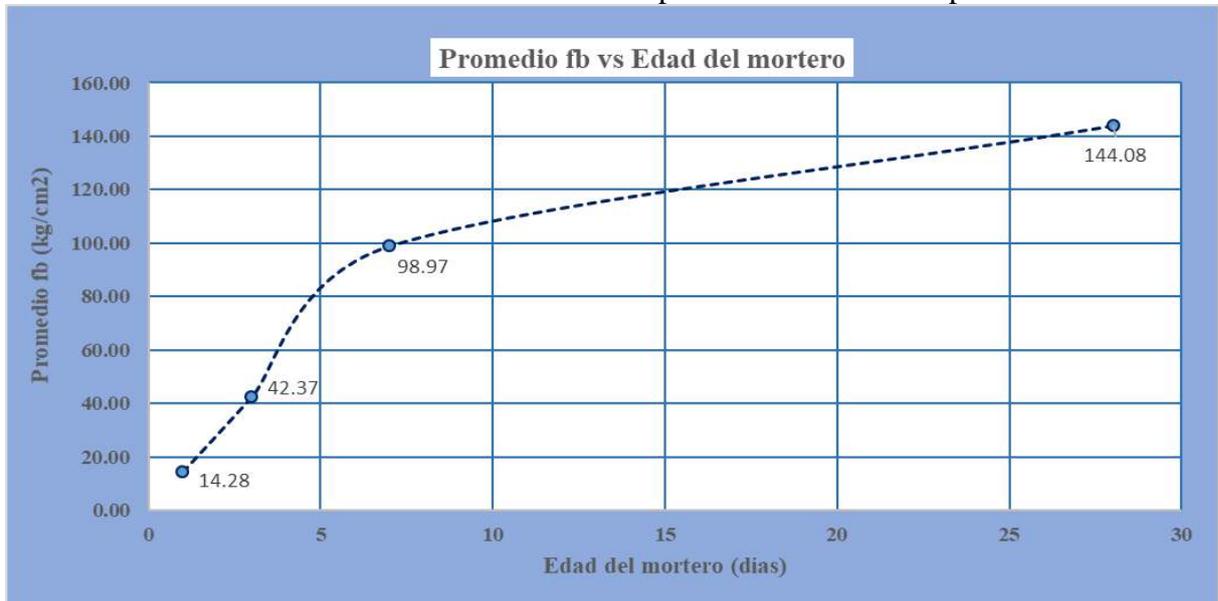
C. Ensayo a compresión de probetas de mortero

A continuación, se presenta cuadro resumen de ensayos a compresión de probetas de mortero a diferentes edades.

Tabla 46: Resumen de ensayos a compresión probetas de mortero

Código de Mortero	Edad (días)	Área (cm ²)	Carga Última (kg)	Esfuerzo máximo fb (kg/cm ²)	Esfuerzo máximo promedio (kg/cm ²)	Desviación estandar σ	Coefficiente variación	fb Característica
I-1	1	25.09	335.49	13.37	14.28	0.83	5.81	13.45
I-2	1	25.09	347.79	13.86				
I-3	1	25.08	364.11	14.52				
I-4	1	25.10	389.60	15.52				
I-5	1	25.10	372.92	14.86				
I-6	1	25.10	340.26	13.56				
I-7	3	25.12	1053.37	41.94	42.37	1.10	2.60	41.27
I-8	3	25.11	1024.89	40.82				
I-9	3	25.06	1099.53	43.88				
I-10	3	25.09	1049.43	41.83				
I-11	3	25.06	1085.12	43.30				
I-12	3	25.06	1063.84	42.46				
I-13	7	25.08	2609.32	104.05	98.97	5.73	5.79	93.24
I-14	7	25.05	2376.69	94.87				
I-15	7	25.06	2629.71	104.95				
I-16	7	25.20	2300.21	91.29				
I-17	7	25.09	2582.67	102.96				
I-18	7	25.07	2398.99	95.68				
I-19	28	25.07	3695.67	147.42	144.08	5.42	3.76	138.66
I-20	28	25.04	3568.20	142.49				
I-21	28	25.06	3621.30	144.51				
I-22	28	25.05	3815.11	152.27				
I-23	28	25.11	3425.51	136.43				
I-24	28	25.09	3546.24	141.33				

Gráfico 10: Promedio de resistencia a compresión vs edad de las probetas del mortero



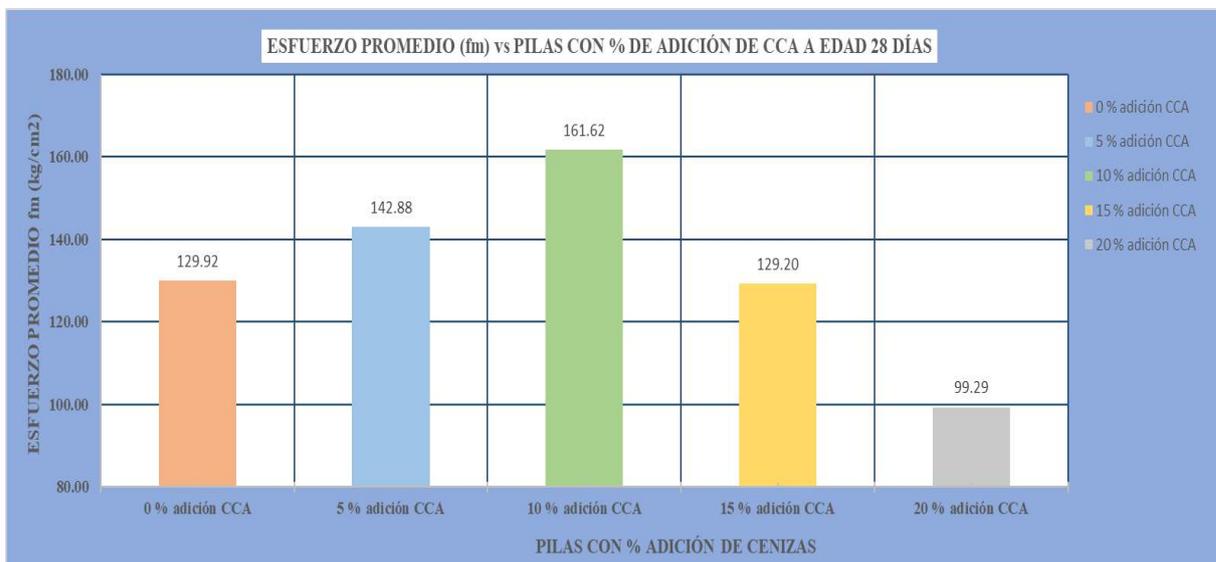
3.4.9. Ensayo a compresión axial de prismas

A continuación, se presenta un cuadro resumen de los resultados del esfuerzo a compresión axial promedio de las pilas elaboradas con unidades que contienen diferentes adiciones, a la edad de 28 días.

Tabla 47: Resumen de ensayos a compresión axial de pilas a los 28 días

Código pila	Adición %	Esfuerzo corregido (kg/cm ²)	fm Esfuerzo Promedio (kg/cm ²)	Modo de falla	Desviación s	f'm	c.v.
P0-1	0	130.69	129.92	1	7.98	121.94	6.14%
P0-2	0	139.21		1			
P0-3	0	117.95		3			
P0-4	0	127.48		3			
P0-5	0	134.26		3			
P5-1	5	147.55	142.88	3	8.43	134.45	5.90%
P5-2	5	132.94		2			
P5-3	5	141.45		2			
P5-4	5	137.88		3			
P5-5	5	154.58		3			
P10-1	10	167.38	161.62	7	4.28	157.34	2.65%
P10-2	10	163.43		7			
P10-3	10	161.35		3			
P10-4	10	155.73		2			
P10-5	10	160.21		3			
P15-1	15	141.46	129.20	2	7.33	121.87	5.67%
P15-2	15	126.16		2			
P15-3	15	122.83		2			
P15-4	15	125.45		7			
P15-5	15	130.09		7			
P20-1	20	100.15	99.29	3	4.18	95.11	4.21%
P20-2	20	99.21		7			
P20-3	20	104.83		7			
P20-4	20	99.16		2			
P20-5	20	93.10		7			

Gráfico 11: Resistencia a compresión axial de pilas vs Pilas de unidades con adiciones



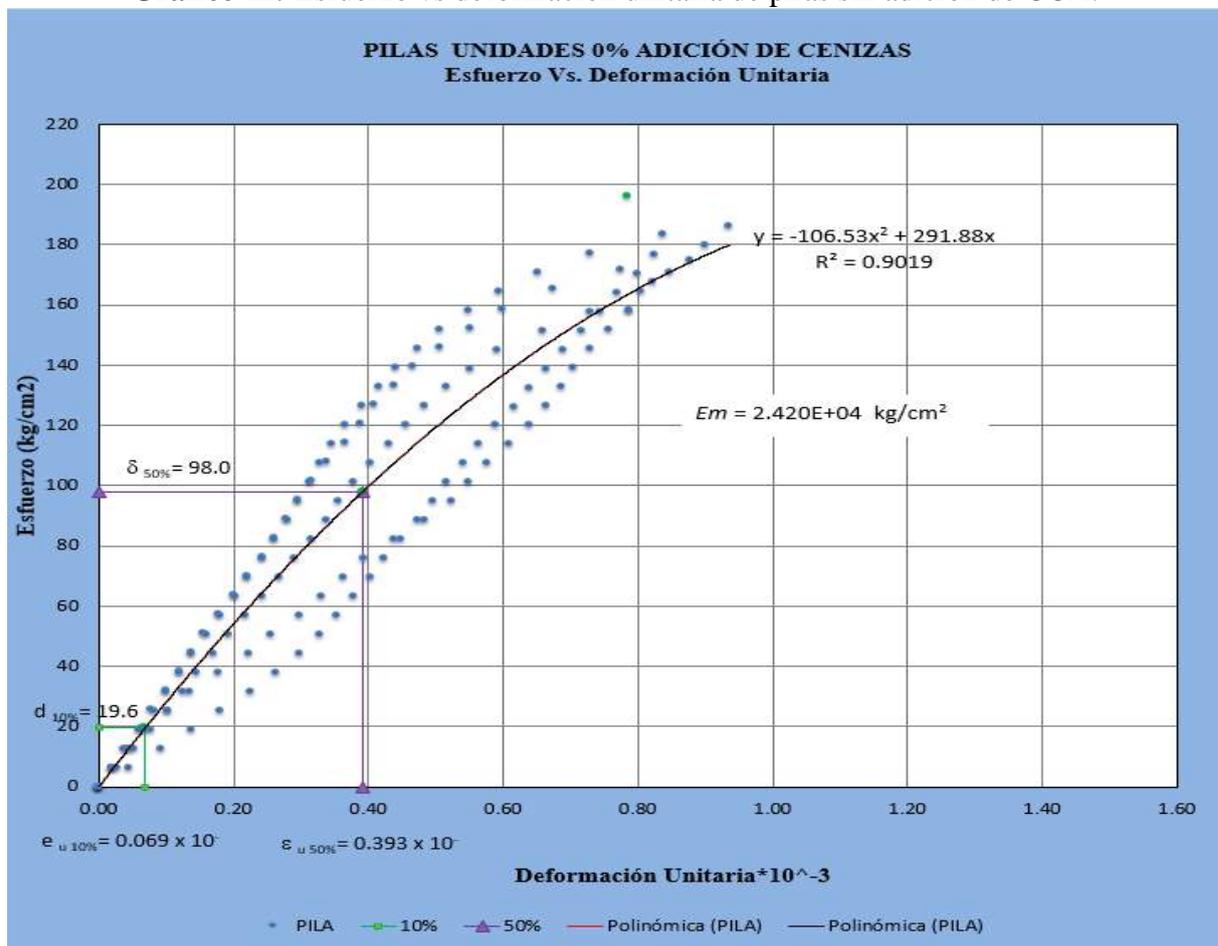
3.4.10. Módulo de elasticidad de prismas

A. Módulo de elasticidad de pilas de albañilería sin adición de cenizas de cascarilla de arroz:

Tabla 48: Módulo de elasticidad de pilas de albañilería sin adición de CCA.

Código pila	Adición %	Esfuerzo Promedio (kg/cm ²)	Modo de falla	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)
P0-1	0	129.92	1	24234.93
P0-2	0		1	
P0-3	0		3	
P0-4	0		3	
P0-5	0		3	

Gráfico 12: Esfuerzo vs deformación unitaria de pilas sin adición de CCA.

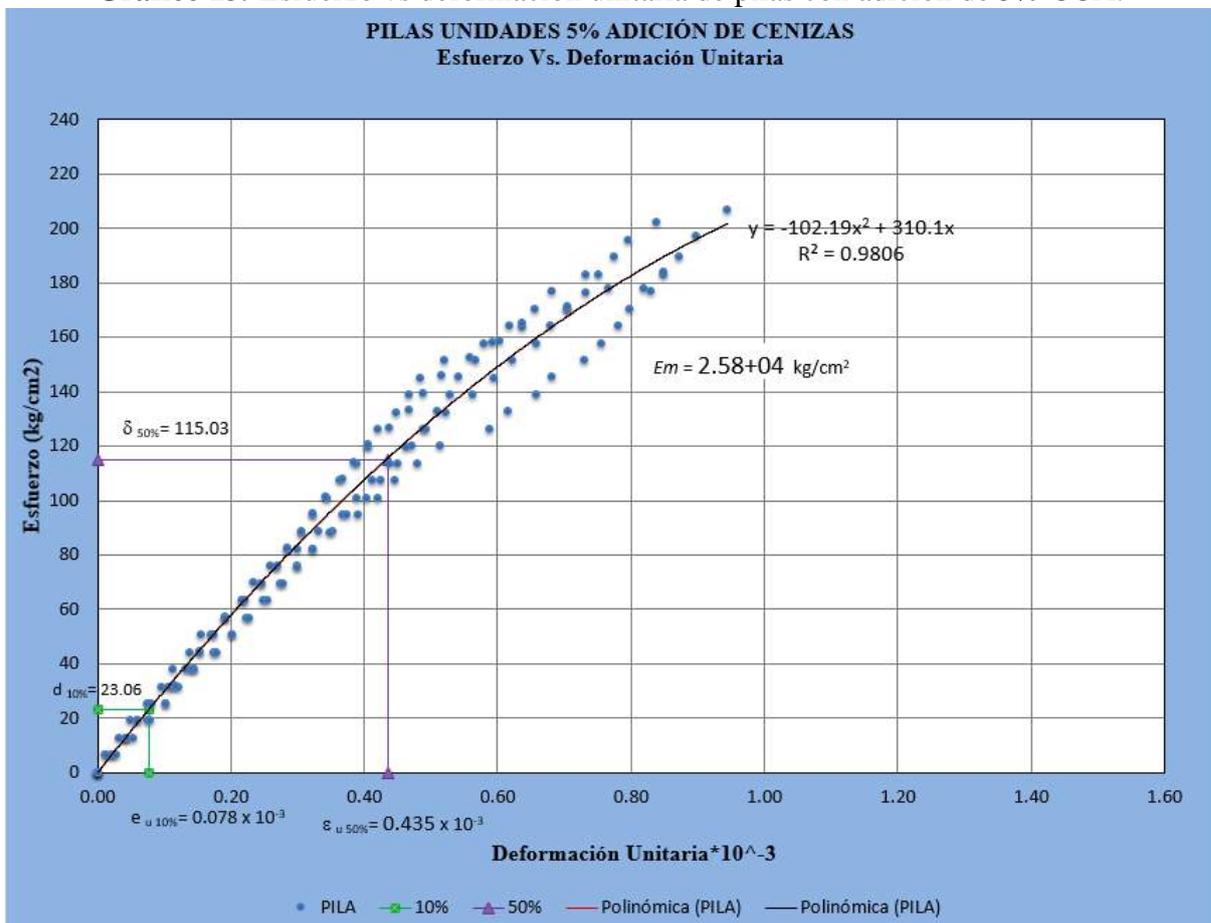


B. Módulo de elasticidad de pilas de albañilería con adición del 5% de cenizas de cascarilla de arroz:

Tabla 49: Módulo de elasticidad de pilas de albañilería con adición de 5% CCA.

Código pila	Adición %	Esfuerzo Promedio (kg/cm ²)	Modo de falla	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)
P5-1	5	142.88	3	25761.90
P5-2	5		2	
P5-3	5		2	
P5-4	5		3	
P5-5	5		3	

Gráfico 13: Esfuerzo vs deformación unitaria de pilas con adición de 5% CCA.

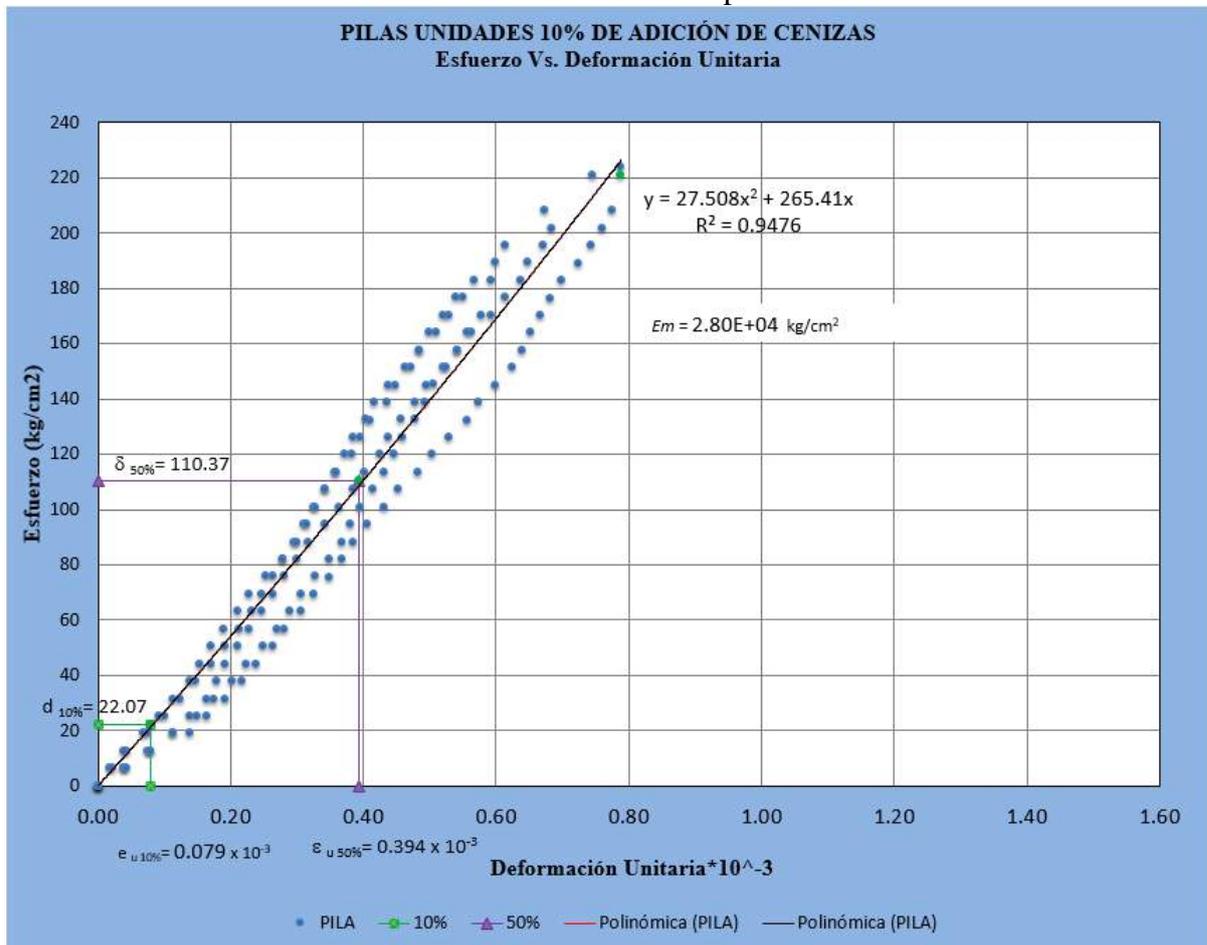


C. Módulo de elasticidad de pilas de albañilería con adición del 10% de cenizas de cascarilla de arroz:

Tabla 50: Módulo de elasticidad de pilas de albañilería con adición de 10% CCA.

Código pila	Adición %	Esfuerzo Promedio (kg/cm ²)	Modo de falla	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)
P10-1	10	161.62	7	27996.00
P10-2	10		7	
P10-3	10		3	
P10-4	10		2	
P10-5	10		3	

Gráfico 14: Esfuerzo vs deformación unitaria de pilas con adición de 10% CCA.

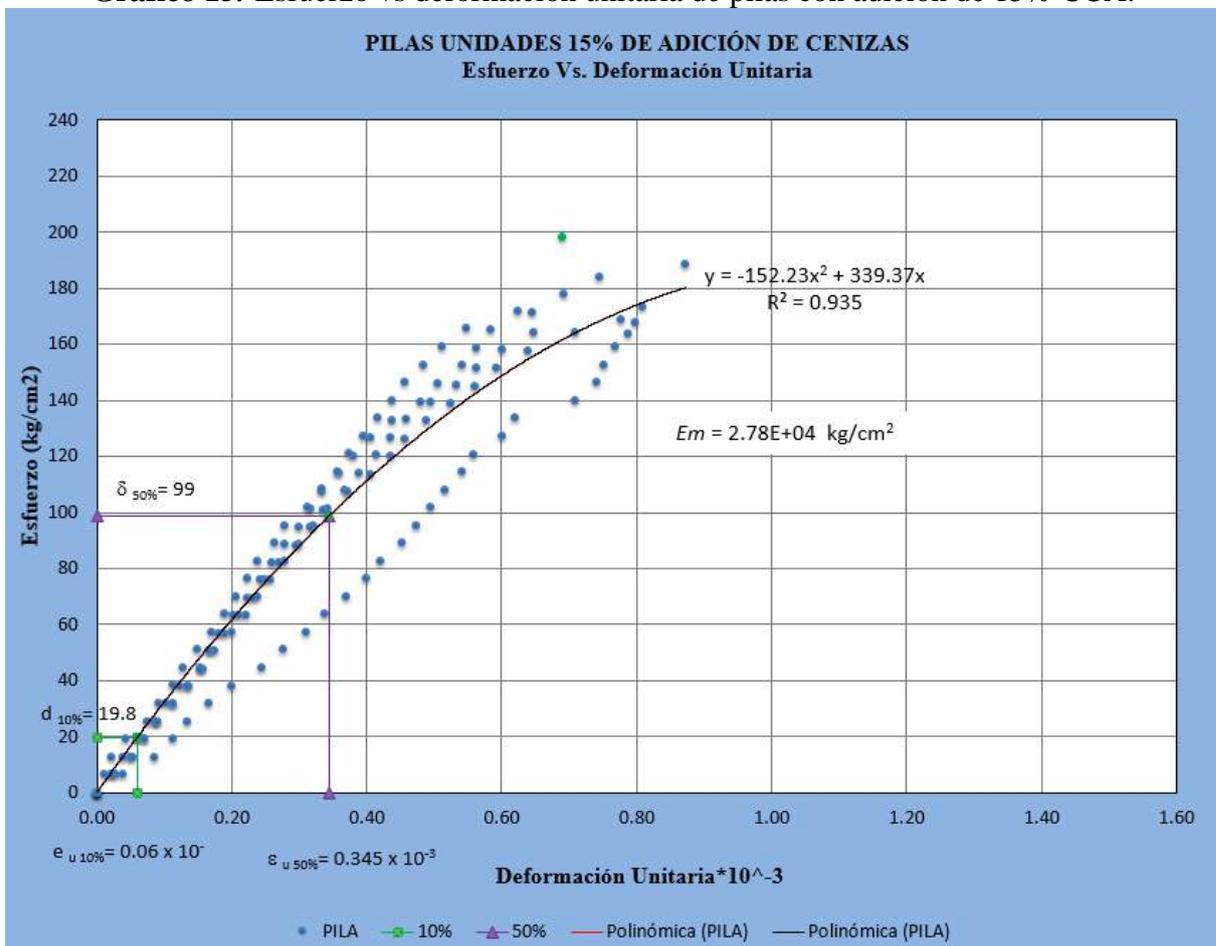


D. Módulo de elasticidad de pilas de albañilería con adición del 15% de cenizas de cascarilla de arroz:

Tabla 51: Módulo de elasticidad de pilas de albañilería con adición de 15% CCA.

Código pila	Adición %	Esfuerzo Promedio (kg/cm ²)	Modo de falla	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)
P15-1	15	129.20	2	27789.47
P15-2	15		2	
P15-3	15		2	
P15-4	15		7	
P15-5	15		7	

Gráfico 15: Esfuerzo vs deformación unitaria de pilas con adición de 15% CCA.

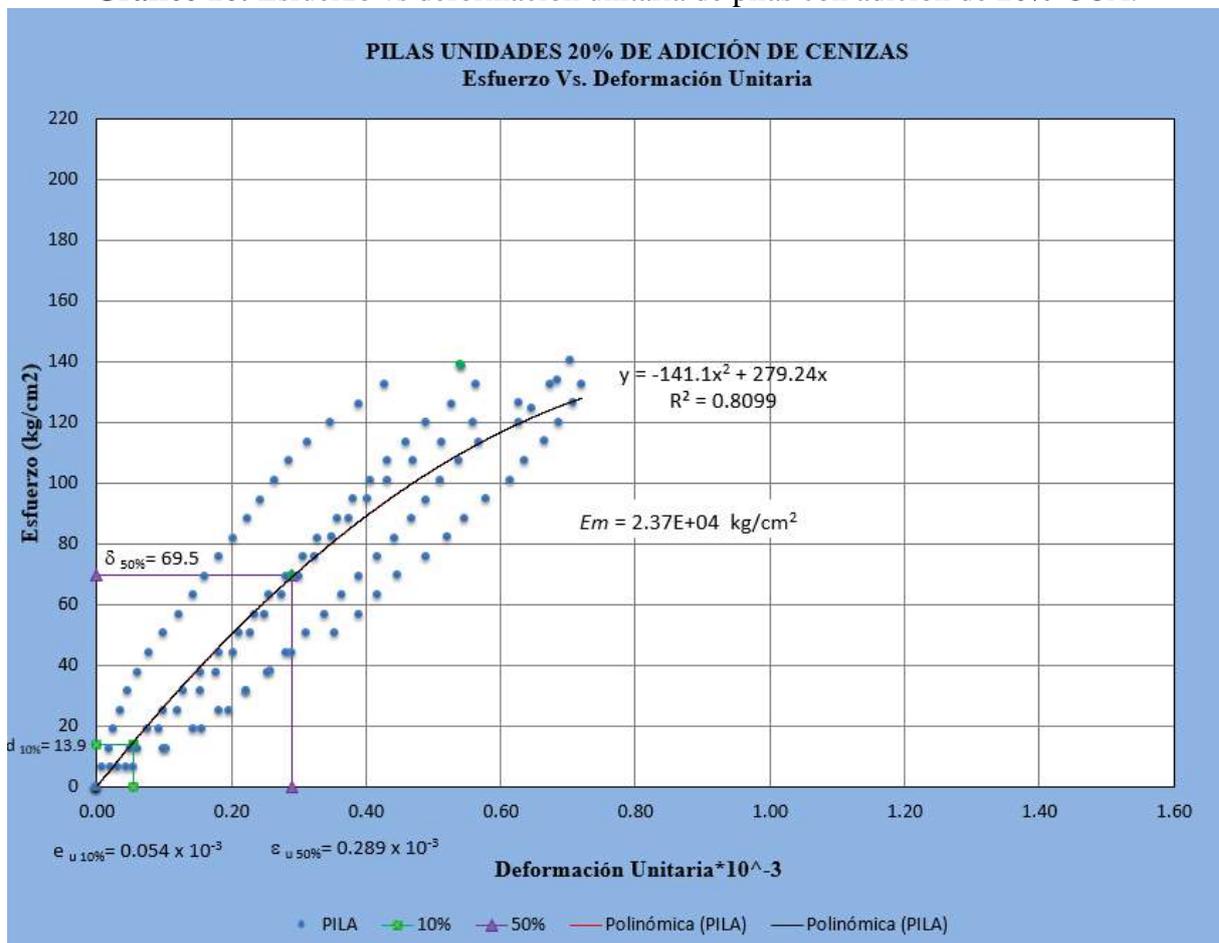


E. Módulo de elasticidad de pilas de albañilería con adición del 20% de cenizas de cascarilla de arroz:

Tabla 52: Módulo de elasticidad de pilas de albañilería con adición de 20% CCA.

Código pila	Adición %	Esfuerzo Promedio (kg/cm ²)	Modo de falla	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)
P20-1	20	99.29	3	23659.57
P20-2	20		7	
P20-3	20		7	
P20-4	20		2	
P20-5	20		7	

Gráfico 16: Esfuerzo vs deformación unitaria de pilas con adición de 20% CCA.



CAPITULO IV

ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo, se presentan el análisis, discusión e interpretación de los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación.

4.1.1. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados.

- ✓ De la tabla 25 se puede indicar que, la granulometría del agregado fino no cumple con lo requerido en la norma NTP 400.037 en las mallas N°4 y N°8, es ligeramente grueso; pues presenta mayor porcentaje de material retenido, a pesar de ello se ha utilizado en esta investigación, debido a que hay referencias de estudios donde ha dado buenos resultados cumpliendo con la resistencia requerida.
- ✓ De la tabla 26 se puede indicar que, la granulometría del agregado grueso cumple con el huso granulométrico N° 8 de la norma ASTM.
- ✓ De la tabla 27 se puede evidenciar que, al determinar el módulo de fineza del agregado fino se obtuvo un valor promedio de 2.99, este valor se ubica dentro del rango de 2.3 a 3.1, cumpliendo con lo especificado en la norma NTP 400,037.
- ✓ En la tabla 27 se aprecia que, los valores obtenidos del peso específico de los agregados son de 2.70 g/cm^3 y 2.67 g/cm^3 , considerando que el valor del peso específico del agregado para el concreto de la presente investigación se encuentra entre dentro del rango para concretos normales de 2.3 g/cm^3 a 2.9 g/cm^3 , podemos indicar que el peso específico de los agregados cumple con lo señalado anteriormente (Lezama 1996).
- ✓ En la tabla 27 se aprecia que, los resultados obtenidos del porcentaje de absorción de los agregados son 1.39% y 1.14%; sin embargo, el porcentaje de absorción de los agregados generalmente varían en el intervalo de 0.20% y 3.5%, pero para las canteras de Cajamarca estos valores oscilan entre 0.87% y 2.75%; en tal sentido se puede indicar que estos valores cumplen con lo indicado anteriormente (Lezama 1996).
- ✓ En la tabla 27 se puede apreciar que, los pesos unitarios obtenidos de los agregados se encuentran en el rango de 1626 kg/m^3 y 1716 kg/m^3 para el agregado fino y 1361 kg/m^3 y 1460 kg/m^3 para el agregado grueso, estos resultados cumplen con lo indicado en el texto del ingeniero Lezama, cuya experiencia indica que los agregados finos de la ciudad de Cajamarca varían entre 1400 kg/m^3 a 1700 kg/m^3 , mientras que para los agregados gruesos varían entre 1350 kg/m^3 a 1680 kg/m^3 .
- ✓ En la tabla 27 se aprecia que, el resultado del porcentaje de abrasión del agregado grueso

es 29.98%, cumpliendo con lo requerido en la norma NTP 400.019, el cual acepta una pérdida no mayor del 50% del peso original de la muestra.

4.1.2. Propiedades físicas de las cenizas de cáscara de arroz.

- ✓ En la tabla 28 se aprecia que, la ceniza estudiada presenta un valor del peso específico de 2,38 g/cm³; según la investigación de A. M. Neville (1977) fija un valor del peso específico de las puzolanas entre 2,10 g/cm³ y 2,40 g/cm³; por lo que podría aceptarse el valor obtenido.

4.1.3. Propiedades de la mezcla de concreto patrón para unidades de albañilería.

- ✓ En la tabla 30 se aprecia que, el resultado obtenido de la muestra fue de 2232 kg/ cm³, y que el peso unitario del concreto varía entre 1842 kg/m³ y 2483 kg/m³, esto quiere decir que estamos dentro del rango, según lo indica la NTP 339.046:2018
- ✓ En la tabla 30 se aprecia que, el resultado de la prueba obtenida fue de 0", es decir que el concreto presentó consistencia seca.
- ✓ En la tabla 30 se aprecia, que al realizar tres pruebas se obtuvo un promedio de 20.7°C, y que la temperatura del concreto fresco varía entre 21°C ±2; entonces podemos indicar cumplió con la prueba de temperatura.
- ✓ En la tabla 30 se aprecia que, la prueba de contenido de aire por el método de presión realizada dio un resultado de 6%, debido a su consistencia seca, deficiente compactación y a las características del agregado.
- ✓ En la tabla 30 se aprecia que, el resultado obtenido del ensayo a compresión a los 28 días fue de 140 kg/cm², podemos indicar que no llegó a su resistencia máxima de diseño del concreto patrón 17 Mpa, debido a la cantidad excesiva de aire atrapado, que influye directamente en la caída de la resistencia a compresión, por lo que se realizó el ajuste de mezclas.

4.1.4. Tiempo óptimo de vibrado

- ✓ De la tabla 32, podemos indicar que la mayor resistencia a compresión promedio de las unidades de albañilería es de 230.47 kg/cm²; y el tiempo de vibrado óptimo fue entre el rango de 20' a 25', esto se debe a que a menor tiempo de vibrado la resistencia es baja, debido a la presencia de vacíos en la mezcla, así mismo a mayor tiempo de vibrado tiende a bajar su resistencia, debido a la segregación de las partículas de la mezcla.

4.1.5. Propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería

4.1.5.1. Propiedades físicas de las unidades de albañilería

- ✓ En la tabla 33, se puede apreciar entre las características de las unidades de albañilería que presentó un peso promedio de 6.3 kg.
- ✓ De la tabla 34, podemos indicar que el valor promedio de la convexidad es de 0.45 mm; y en la Norma E.070 se indica que el alabeo máximo para ladrillo tipo V es de 2 mm; es decir que cumple con lo requerido en la norma.
- ✓ La Norma E.070, indica que la variación dimensional para ladrillos tipo V, en la dimensión hasta 100mm es $\pm 3\%$, en la dimensión hasta 150 mm es $\pm 2\%$ y en la dimensión más de 150 mm es $\pm 1\%$, en tanto la Norma NTP 399.601, indica que las dimensiones (ancho, alto y largo) no deben diferir por más de ± 3.2 mm ($\pm 1/8$ pulgada) de las dimensiones estándar especificadas por el fabricante.
- ✓ De la tabla 35 se puede apreciar que la variabilidad dimensional es -0.24% en la dimensión de la longitud teórica 240 mm, respecto de la longitud promedio 240.57 mm.
- ✓ De la tabla 36 se puede apreciar que la variabilidad dimensional es -1.14% en la dimensión del ancho teórico 130mm, respecto del ancho promedio 131.41mm.
- ✓ De la tabla 37 se puede apreciar que la variabilidad dimensional es -2.98% en la dimensión de la altura teórica 80mm, respecto de la altura promedio 82.39 mm, cumpliendo con lo indicado anteriormente en ambas normas.
- ✓ De la tabla 38 se puede apreciar que los resultados del ensayo de succión se encuentran entre 11.7 y 13.3 gr/200 cm²-min; y la norma E.070 recomienda que la succión esté comprendida entre 10 a 20 gr/200 cm²-min, es decir que cumple con lo requerido en la norma.

4.1.5.2. Propiedades mecánicas de las unidades de albañilería

- ✓ En las gráficas 4, 5, 6 y 7 se aprecia los resultados de resistencia a compresión promedio de las unidades de albañilería con adición de cenizas de cascarilla de arroz del 10% en peso del cemento son mayores, en comparación a las unidades de albañilería con adiciones del 0%, 5%, 15% y 20%; esta tendencia se mantiene a edades de 3, 7, 14 y 28 días.
- ✓ En las gráficas 8 y 9, se aprecia que el mayor incremento en la resistencia a compresión promedio de las unidades, ocurre cuando se adiciona el 10% de CCA en peso del cemento; esta tendencia se observa a edades de 3,7,14 y 28 días.

- ✓ En la tabla 42 se puede apreciar que, la resistencia a compresión promedio de las unidades de albañilería con adición del 10% de cenizas de cascarilla de arroz, es mayor en aprox. 12% respecto a la resistencia característica a compresión de la unidad patrón, a edad de 28 días.
- ✓ La norma E.070 recomienda que, la Absorción no sea mayor a 12% para bloques de concreto, en tanto la Norma NTP 399.601, indica que la absorción máxima para ladrillos de concreto de 21 Mpa sea de 8% máximo.
- ✓ De la tabla 43 se puede indicar que, la absorción promedio de las unidades de albañilería con 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, se encuentran entre el rango de 6.05% a 7.29%, por lo tanto, cumplen con ambas normas.

4.1.6. Mortero de prueba

A. Propiedades físicas del agregado para mortero

- ✓ El ensayo granulométrico realizado a la arena gruesa utilizada para la elaboración de ladrillos, no cumple con lo requerido en la norma E.070, sin embargo, se retiró todo el material retenido en la malla N° 8, de esta manera la curva granulométrica promedio de tres ensayos, ingresó dentro del huso granulométrico indicado en la norma, siendo el módulo de fineza 2.41, tal como se evidencia en la tabla 44, el cual está comprendida entre 1.6 y 2.5, como indica la norma.

B. Diseño de mezclas de mortero

- ✓ La norma E.070, recomienda que los componentes del mortero tengan la proporción volumétrica 1:4 relación cemento: arena, para el mortero tipo P.
- ✓ Del diseño de mezclas del mortero, se obtuvo la proporción en volumen de cemento: arena 1: 4 respectivamente, con una relación agua/cemento de 0.53 y la proporción en peso para seis probetas cúbicas de mortero considerando desperdicios fue de 0.319 kg: 1.408 kg: 0.169 l; de cemento, arena y agua respectivamente; como se evidencia en la tabla 45 y en la gráfica 10.

C. Ensayo a compresión de probetas de mortero

- ✓ En la tabla 46 se puede apreciar que, el promedio de la resistencia a compresión axial de 6 probetas de mortero, a la edad de 28 días es de 144 kg/cm²; el cual es menor a la resistencia de diseño 170kg/cm².

4.1.7. Ensayo a compresión axial de prismas

- ✓ Se puede apreciar que en el gráfico 11, el resultado de esfuerzo a compresión promedio de las pilas de unidades de albañilería con adiciones de cenizas de cascarilla de arroz del 10% en peso del cemento son mayores, en comparación a las pilas elaboradas con unidades de albañilería cuyas adiciones fueron del 0%, 5%, 15% y 20%.
- ✓ En la tabla 47 se puede apreciar que, la resistencia a compresión promedio de las pilas de albañilería con adición del 10% de cenizas de cascarilla de arroz, fue mayor en 24.4 % respecto a la resistencia a compresión de las unidades de albañilería patrón, ensayadas a los 28 días.

4.1.8. Módulo de elasticidad de prismas

- ✓ El módulo de elasticidad promedio de las 5 pilas construidas con unidades de albañilería patrón, presentó una línea de tendencia cuadrática y su valor fue de $2.42 * 10^4$ kg/cm², además se puede indicar que sus tipos de falla corresponden al tipo 1 y tipo 3.
- ✓ El módulo de elasticidad promedio de las 5 pilas construidas con unidades de albañilería con adición de cenizas del 5% en peso del cemento, presentó una línea de tendencia cuadrática y su valor fue de $2.58 * 10^4$ kg/cm², además se puede indicar que sus tipos de falla corresponden al tipo 2 y tipo 3.
- ✓ El módulo de elasticidad promedio de las 5 pilas construidas con unidades de albañilería con adición de cenizas del 10% en peso del cemento, presentó una línea de tendencia cuadrática y su valor fue de $2.80 * 10^4$ kg/cm², además se puede indicar que sus tipos de falla corresponden al tipo 3 y tipo 7.
- ✓ El módulo de elasticidad promedio de las 5 pilas construidas con unidades de albañilería con adición de cenizas del 15% en peso del cemento, presentó una línea de tendencia cuadrática y su valor fue de $2.78 * 10^4$ kg/cm², además se puede indicar que sus tipos de falla corresponden al tipo 2 y tipo 7.
- ✓ El módulo de elasticidad promedio de las 5 pilas construidas con unidades de albañilería con adición de cenizas del 20% en peso del cemento, tuvo una línea de tendencia cuadrática y su valor fue de $2.37 * 10^4$ kg/cm², además se puede indicar que su tipo de falla corresponde al tipo 7.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ✓ Respecto a la hipótesis del incremento del 10% en la resistencia a compresión del ladrillo de concreto se cumple, dado que la resistencia a compresión de los ladrillos con adición del 10% de CCA en peso del cemento, tienen un incremento aproximado del 12% respecto a la resistencia a compresión de los ladrillos patrón.
- ✓ Se determinó que la influencia de la adición de cenizas de cascarilla de arroz en 5%,10%,15% y 20% en peso del cemento en la resistencia mecánica del ladrillo fue el siguiente:
- ✓ La adición del 5% de CCA en peso del cemento, incrementó la resistencia mecánica en un 3.78% respecto a la resistencia mecánica de la unidad patrón a la edad de 28 días.
- ✓ La adición del 10% de CCA en peso del cemento, incrementó la resistencia mecánica en un 11.86 % respecto a la resistencia mecánica de la unidad patrón a la edad de 28 días.
- ✓ La adición del 15% de CCA en peso del cemento, incrementó la resistencia mecánica en un 0.34 % respecto a la resistencia mecánica de la unidad patrón a la edad de 28 días.
- ✓ La adición del 20% de CCA en peso del cemento, disminuyó la resistencia mecánica en un 16.43 % respecto a la resistencia mecánica de la unidad patrón a la edad de 28 días.
- ✓ Se determinó que el tiempo óptimo de vibrado está entre el rango 20 a 25 segundos; el cual tiene una influencia positiva en el incremento de la resistencia a compresión.
- ✓ Del ensayo de las propiedades físicas de las unidades de albañilería con adiciones se obtuvo que: La convexidad es de 0.45 mm, La variación dimensional en la longitud es 0.24mm la cual es menor a 1mm, la variación dimensional en el ancho es 1.14 mm la cual es menor a 2mm y la variación en la altura es 2.98 mm la cual es menor a 3 mm y los resultados del ensayo de succión se encuentren entre 11.7 y 13.3gr//cm²-min, la cuales están dentro del rango de 10 a 20 gr/cm²-min, por eso se concluye que las propiedades físicas cumplen con la norma E.070.
- ✓ Los resultados de ensayos a compresión de las unidades de albañilería, presentan una misma tendencia evaluada a diferentes edades, siendo los ladrillos con adición del 10% de cenizas de cascarilla de arroz aquellos que, tienen una mayor resistencia a compresión.

- ✓ Las pilas de los ladrillos con adición del 10% de cenizas tienen un incremento del 24.4% en la resistencia a compresión, respecto a las pilas de ladrillo sin adición.
- ✓ De acuerdo a la norma E 0.70 los valores de los módulos de elasticidad de las pilas deberían estar comprendidos entre los rangos de 6.95×10^4 y 11.31×10^4 , sin embargo, los valores reales obtenidos en el ensayo de compresión axial y a través de la gráfica esfuerzo vs deformación unitaria se encuentran entre 2.37×10^4 y 2.80×10^4 ; esto significa que los valores teóricos exceden en más de tres veces a los valores obtenidos en el laboratorio.

5.2. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda continuar investigando en este tema con adiciones intermedias a las realizadas, a fin de evaluar rangos más cercanos donde aumente la resistencia a compresión.
- ✓ Se recomienda realizar el análisis químico a las cenizas de cascarilla de arroz, para determinar su composición química y sea posible clasificarla.
- ✓ Se recomienda realizar otras investigaciones con adiciones de otro tipo de cenizas, que puedan aportar en la resistencia a compresión en los ladrillos de concreto.
- ✓ Se recomienda realizar investigaciones donde se sustituya la cantidad de cenizas de cascarilla de arroz por la cantidad del cemento utilizado en la elaboración de ladrillos de concreto.
- ✓ En base a esta investigación realizar la evaluación económica de la adición, en zonas donde abunde CCA, a fin de determinar la rentabilidad de la elaboración de ladrillos de concreto con estas adiciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artículos científicos:

Mattey, PE; Robayo, RA; Díaz, JE; Delvasto, S; Monzo, J. 2013. Influencia del mezclado en dos etapas en la fabricación de ladrillos de mampostería con ceniza de cascarilla de arroz como agregado fino. Revista Colombiana de materiales. N. 5: 242-249.

Serrano, T; Borrachero, M.V.; Monzó, J; Payá, J. 2013. Morteros Aligerados con cascarilla de arroz: Diseño de mezclas y evaluación de Propiedades. Colombia. Dyna, 79. (175): 128-136.

Tesis:

Cabo Laguna, M. 2011. Ladrillo Ecológico Como Material Sostenible Para La Construcción España. Tesis Bachiller, Navara España, Universidad Pública de Navara. 121p.

Vigil, P. 2008. Las cenizas de cáscara de arroz, adición puzolánica en cemento y concreto. Universidad de Piura, 131p.

Villegas Martínez, C. 2012. Utilización de puzolanas naturales en la elaboración de prefabricados con base cementicia destinados a la construcción de viviendas de bajo costo. Ingeniero. Lima Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 120 p.

Huarc Palacio, A. 2017. Influencia del porcentaje de micro sílice a partir de la ceniza de cascarilla de arroz sobre la resistencia a la compresión, asentamiento, absorción y peso unitario de un concreto mejorado. Bachiller. Trujillo Perú. Universidad Privada del Norte. 145 p.

Linarez Ocmin, H. 2014. Elaboración de ladrillos ecológicos a partir de residuos agrícolas (cáscara y ceniza de arroz), como material sostenible para la construcción. Bachiller. Iquitos Perú. Universidad de la Amazonía Peruana. 62 p.

Ponce Portocarrero, C. 2014. Estudio del concreto reciclado de mediana a baja resistencia, utilizando cemento portland tipo I. Bachiller. Lima Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 275 p.

Percy Loayza, G. 2014. Efecto de la ceniza de cáscara de arroz sobre la resistencia a la compresión del concreto normal. Bachiller. Cajamarca Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 117 p.

Peñaherrera Deza, E. 2001. Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibratoria. Lima Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 67p.

Amaro Vicuña, IM. 2002. Estudio de la Variación de la resistencia en compresión en concretos de alta resistencia debido al curado en laboratorio y bajo condiciones de obra. Tesis. Lima Perú, Universidad Nacional de Ingeniería. 196 p.

Bardales Briones, B. 2019. Comparación de las propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales de concreto y arcilla. Tesis. Cajamarca Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 133 p.

Textos bibliográficos:

Abanto Castillo, F. 1992. Tecnología Del Concreto. Editorial San Marcos pp. 91.

Rivva López. 2006. Durabilidad y Patología del Concreto. pp.973.

Lezama Leiva, JL. 1996. Tecnología del concreto. Cajamarca-Perú, S/E, UNC. pp.82.

Rivva López, E. 1998. Tecnología del Concreto. Lima-Perú. Hozlo S.CR.L. 290p.

Rivva López, E. 2010. Concreto Tomo 2 Diseño de Mezclas. Fondo Editorial ICG.192p.

Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). Albañilería estructural Lima: PUCP.

San Bartolomé, A. (2007). Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E.070. Solicitado por el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. SENCICO.

Quiun, D., San Bartolomé, Á., & Silva, W. (2011). Diseño y construcción de estructuras sismo resistentes de albañilería. Lima: PUCP.

Materiales audiovisuales:

Rosaura Vásquez. 2006. Adiciones Minerales - Normas y aplicaciones, Doctora en ingeniería civil, Lima, Materiales de Construcción y tecnología el concreto. Cementos Pacasmayo S.A.A.

Quevedo Elena. 2015. Agregados, Ingeniera civil, Chimbote, Universidad Nacional del Santa.

Juan Polanco y Jesús Setién. 2018 Cementos, morteros y hormigones. Departamento de ciencias e ingeniería del terreno y de los materiales. Universidad de Cantabria.

Normas Técnicas:

ASTM C 618-2003 Especificación estándar para cenizas volantes de carbón y puzolana natural cruda o calcinada para uso en concreto. Última edición aprobada (10-01-2013) por el Comité de normas C09 de ASTM. Publicada en febrero de 2016.

NTP E.070 ALBAÑILERÍA. R 11-2006 EL PERUANO p. 295-309 (2006-05-23).

NTP 339.601:2016. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Ladrillos de concreto. Requisitos. 3a. Ed. R 43-2016 INACAL/DN (29-12-2016).

NTP 399.604:2015. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. Requisitos. 1a. Ed. R. N°010-2015 INACAL/DN (25-12-2015).

NTP 399.613.2017. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayos de ladrillos de arcilla usados en albañilería. 2ª . Ed. R. 057-2017 INACAL/DN (27-12-2017).

NTP 399.621.2015. UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería. 1ª. Ed. R.N. 010-2015 INACAL/DN (25-12-2015).

NTP 334.009:2016 Cementos. Cemento Pórtland. Requisitos. 6a. Ed. R 43-2016 INACAL/DN (31-12-2016).

NTP 400.011:2008 Agregados. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones. 2a. Ed. R 0042-2008 INDECOPI- CNB (11-01-2009).

NTP 400.012:2013 Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3a. Ed. R 0006-2013 INDECOPI- CNB (01-02-2013).

NTP 400.037:2014 Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. 3a. Ed. R 0151-2014 CNB INDECOPI (14-01-2015).

NTP 400.021:2018 Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado grueso. 3a. Ed. R 016-2018 INACAL/DN (13-07-2018).

NTP 400.022:2018 Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado fino. 3a. Ed. R 016-2018 INACAL/DN (13-07-2018).

NTP 400.017:2011 Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso unitario) y los vacíos en los agregados. 3a. Ed. R 0002-2011 CNB- INDECOPI (12-03-2011).

NTP 400.019:2014 Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. 3a. Ed. R 133-2014 CNB-INDECOPI (28-12-2014).

ANEXOS

1. Hoja de datos de seguridad del Cemento tipo I Pacasmayo

Tabla 53: Hoja de datos de seguridad del material del cemento portland tipo I Pacasmayo

 PACASMAYO	CEMENTOS PACASMAYO S.A.A. HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MATERIAL	 MSDS-01 Versión 01																		
Nro. de Página 7 / 7																				
SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL ISO - 14001																				
CPSAA	CEMENTO			Fórmula																
	CEMENTO TIPO I																			
	Criterios de Seguridad	Color	Valor	Característica																
N° de Secuencia Ingrediente: 01 Porcentaje: 100 Número NIOSH: EW3100000 N° CAS: 1305-78-8 Límite permisible de Exposición OSHA: 5 mg/m ³ Límite Mínimo AGGIH: 2mg/m ³	Inflamabilidad	Rojo	0	NO INFLAMABLE																
	Toxicidad	Azul	1	LEVEMENTE TÓXICO																
	Reactividad	Amarillo	1	LEVEMENTE REACTIVO																
	Q: Producto Químico	Blanco		NO APLICA																
		<table style="width: 100%; font-size: x-small;"> <tr> <td style="width: 50%;">CaO (Óxido de calcio)</td> <td style="width: 50%;">63.15%</td> </tr> <tr> <td>SiO₂ (Dióxido de silicio)</td> <td>20.69%</td> </tr> <tr> <td>Al₂O₃ (Óxido aluminio)</td> <td>4.81%</td> </tr> <tr> <td>Fe₂O₃ (Óxido de Hierro)</td> <td>3.34%</td> </tr> <tr> <td>SO₃ (Trióxido de sulfuro)</td> <td>2.64%</td> </tr> <tr> <td>MgO (Óxido de Magnesio)</td> <td>1.92%</td> </tr> <tr> <td>K₂O (Óxido de Potasio)</td> <td>0.54%</td> </tr> <tr> <td>Na₂O (Óxido de sodio)</td> <td>0.28%</td> </tr> </table>			CaO (Óxido de calcio)	63.15%	SiO ₂ (Dióxido de silicio)	20.69%	Al ₂ O ₃ (Óxido aluminio)	4.81%	Fe ₂ O ₃ (Óxido de Hierro)	3.34%	SO ₃ (Trióxido de sulfuro)	2.64%	MgO (Óxido de Magnesio)	1.92%	K ₂ O (Óxido de Potasio)	0.54%	Na ₂ O (Óxido de sodio)	0.28%
CaO (Óxido de calcio)	63.15%																			
SiO ₂ (Dióxido de silicio)	20.69%																			
Al ₂ O ₃ (Óxido aluminio)	4.81%																			
Fe ₂ O ₃ (Óxido de Hierro)	3.34%																			
SO ₃ (Trióxido de sulfuro)	2.64%																			
MgO (Óxido de Magnesio)	1.92%																			
K ₂ O (Óxido de Potasio)	0.54%																			
Na ₂ O (Óxido de sodio)	0.28%																			
Inflamabilidad		Equipo de Protección personal																		
Punto de Inflamación: N/A Límite Inferior de Explosión: N/A Límite Superior de Explosión: N/A Extinción Media: No combustible Procedimiento especial en caso de fuego: Ninguno		Protección Respiratoria: En lugares polvorientos use respiradores aprobados (NIOSH/MSHA). Ventilación: Mecánica (general): Aplicar la ventilación adecuada y mantener el polvo debajo del límite inferior permisible. Guantes de Protección: Guantes de trabajo Protección de los Ojos: Gafas de Protección aprobados. Otros Equipos de Protección: Anteojos de emergencia aprobados por ANSI. Duchas con abundante agua, camisa de manga larga con botones y pantalones largos. Prácticas de Higiene: Lavarse bien con jabón y agua al finalizar el turno.																		
Toxicidad		Consideraciones ante emergencias																		
Vía de Ingreso – Inhalación: Si Vía de Ingreso – Pie: Si Vía de Ingreso – Ingestión: Si Riesgos Críticos y Crónicos para la Salud: Causa irritación a las vías respiratorias superiores, quemaduras en ojos, irritación a la piel, tos por irritación a las vías respiratorias. Carcinogénico – NTP: No Carcinogénico – IARC: No Carcinogénico – OSHA: No Explicación Carcinogénica: No relevante		Procedimiento para Emergencias: INGESTIÓN: Llamar al médico inmediatamente. PIEL: Lavar con abundante agua fresca y jabón. OJOS: Lavar con agua por lo menos 15 minutos y luego ir al médico inmediatamente. INHALACIÓN: Moverlo a lugar con aire fresco para reducir la congestión. Pasos a seguir en el caso de Salpicaduras: Limpieza normal en este caso no usar agua. Agente neutralizante: No especificado por CPSAA. Métodos para Disponer los Desechos: Disposición de desechos deberá ser de acuerdo a leyes peruanas. Precauciones de Manipuleo / Almacenaje: Almacenar en lugares secos. Otras Precauciones: N/A																		
Reactividad																				
Estabilidad: Si Materiales a evitar: No Productos peligrosos de la descomposición: No hay Ocurre Polimerización de productos peligrosos: No																				

2. Especificación técnica del cemento tipo I Pacasmayo

Tabla 54: Ficha técnica - Requisitos físicos y mecánicos del cemento portland tipo I Pacasmayo.

 Pacasmayo Control de Calidad		ESPECIFICACIÓN TÉCNICA CEMENTO TIPO I				P-CC-EST-08 Versión 19 / 03 de setiembre de 2018 Página 1/1	
<p>Descripción: El Cemento Pórtland TIPO I es un producto que se obtiene mediante la pulverización conjunta de clinker, yeso y en ocasiones caliza en pequeñas proporciones. El clinker es un mineral artificial y esta compuesto esencialmente de silicatos de calcio producidos a partir de materiales calcáreos y correctores de sílice, alúmina y hierro en un proceso efectuado a temperaturas cercanas a los 1450°C. Este tipo de cemento sigue los requisitos de la Norma Técnica Peruana 334.009 y de la ASTM C 150. Es un cemento de uso general, para proyectos que no requieran propiedades especiales.</p>							
Ensayos	Requisitos			Normas de Referencia	Normas de Ensayo		
REQUERIMIENTOS QUIMICOS							
MgO	Máximo	6.0	%	ASTM C 150 NTP 334.009	ASTM C 114 NTP 334.086		
SO ₃	Máximo	3.0	%	ASTM C 150 NTP 334.009	ASTM C 114 NTP 334.086		
Pérdida por Ignición	Máximo	3.5	%	ASTM C 150 NTP 334.009	ASTM C 114 NTP 334.086		
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	ASTM C 150 NTP 334.009	ASTM C 114 NTP 334.086		
REQUERIMIENTOS FISICOS							
Contenido de Aire	Máximo	12	%	ASTM C 150 NTP 334.009	ASTM C 185 NTP 334.048		
Finura, Superficie Especifica	Mínimo	2,600	cm ² /g	ASTM C 150 NTP 334.009	ASTM C 204 NTP 334.002		
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	ASTM C 150 NTP 334.009	ASTM C 151 NTP 334.004		
Resistencia a la Compresión							
a) Resistencia compresión a 1 día (*)	Mínimo	12.0 (1,740)	MPa (psi)	n / a	ASTM C 109 NTP 334.051		
b) Resistencia compresión a 3 días	Mínimo	12.0 (1,740)	MPa (psi)	ASTM C 150 NTP 334.009	ASTM C 109 NTP 334.051		
c) Resistencia compresión a 7 días	Mínimo	19.0 (2,760)	MPa (psi)	ASTM C 150 NTP 334.009	ASTM C 109 NTP 334.051		
d) Resistencia compresión a 28 días	Mínimo	28.0 (4,060)	MPa (psi)	ASTM C 150 NTP 334.009	ASTM C 109 NTP 334.051		
Tiempo de Fraguado Vicat							
a) Fraguado Inicial	Mínimo	45	minutos	ASTM C 150 NTP 334.009	ASTM C 191 NTP 334.006		
b) Fraguado Final	Máximo	375	minutos	ASTM C 150 NTP 334.009	ASTM C 191 NTP 334.006		
REQUERIMIENTOS DE PESOS NETOS							
Peso unitario (Neto)	Mínimo	41.65	kg	ASTM C 150 NTP 334.009	n / a		
Peso promedio por lotes ≥ 50 bolsas (Neto)	Mínimo	42.50	kg	ASTM C 150 NTP 334.009	n / a		
Generado por:		Revisado por:		Aprobado por:			
Ing. Victor Milla Analista de Aseguramiento de la Calidad		Ing. Gabriel Mansilla Superintendente de Aseguramiento de la Calidad e Investigación y Desarrollo		Ing. Hugo Villanueva Castillo Gerente Central de Operaciones			

(*) Requisito interno impuesto por la compañía.

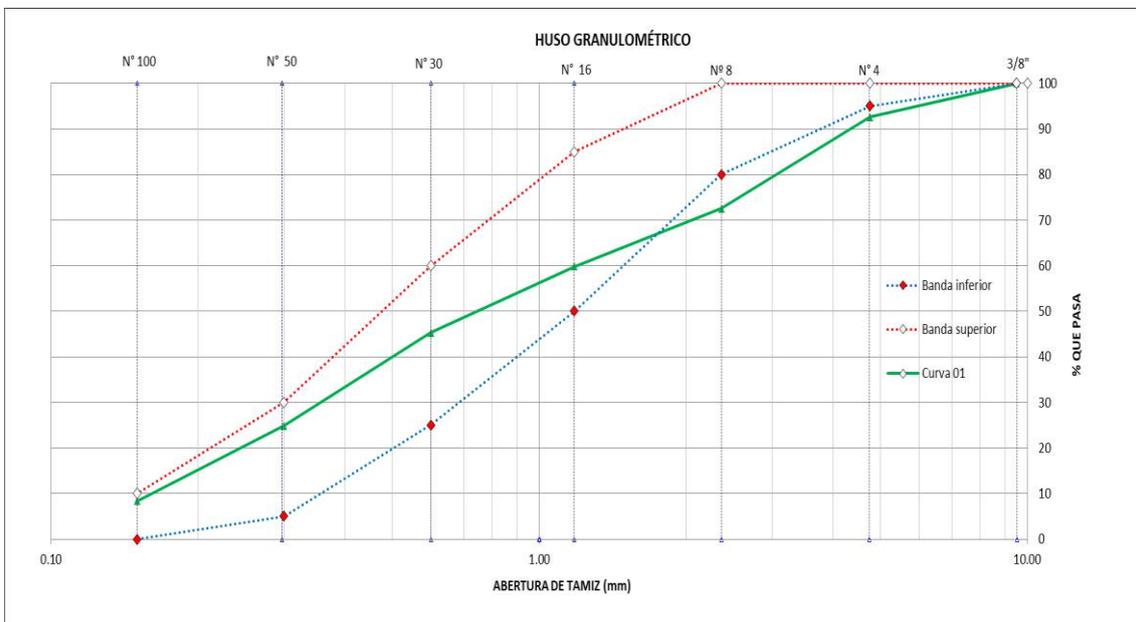
3. Proceso de elaboración de las cenizas de cascarilla de arroz



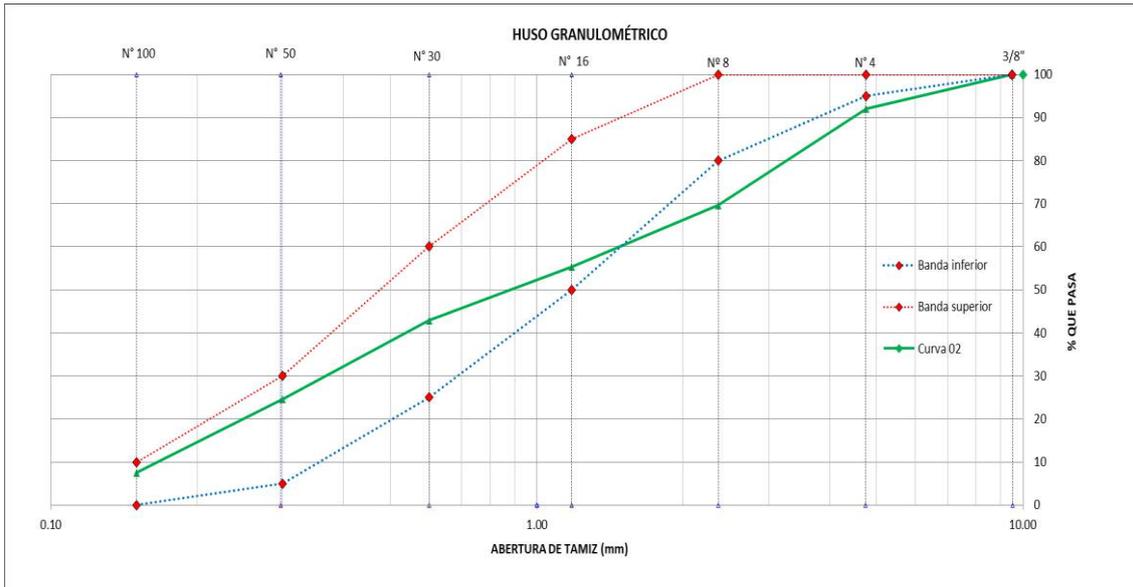
4. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados

4.1. Granulometría del Agregado fino:

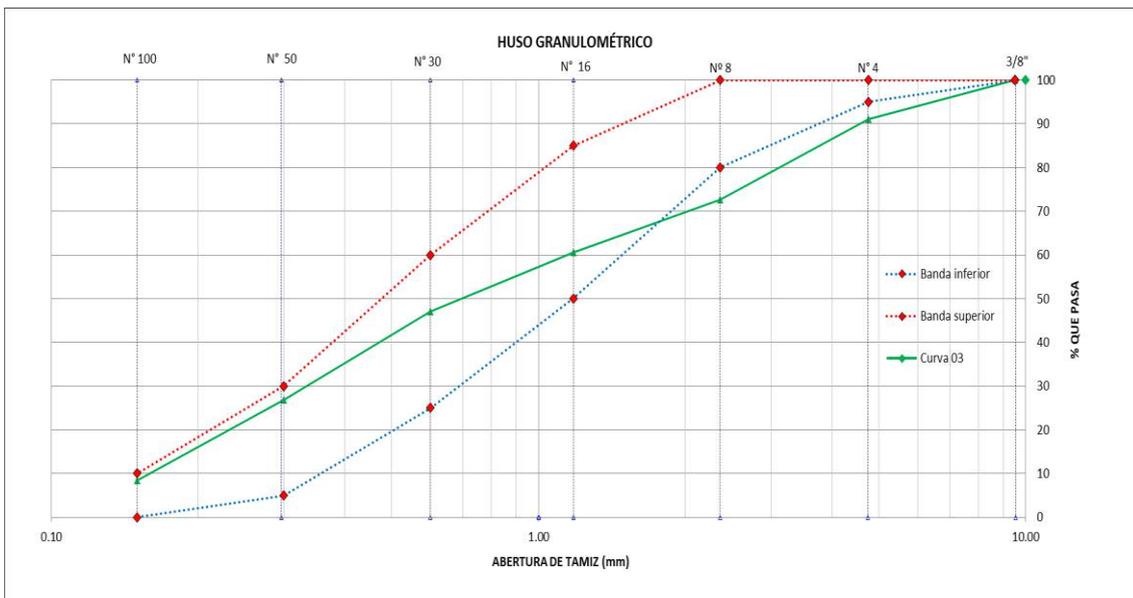
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO Y MÓDULO DE FINURA (ASTM C-136 - NTP. 400.012 - NTP. 400.037)								
1° ENSAYO								
TAMIZ		Peso Ret (gr)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q. Pasa	Huso granulométrico		
#	(mm)					Según NTP 400.037		
3/8"	9.51	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
N°4	4.76	135.20	7.39	7.39	92.61	95	-	100
N°8	2.36	368.30	20.12	27.51	72.49	80	-	100
N°16	1.18	231.50	12.65	40.16	59.84	50	-	85
N°30	0.60	265.80	14.52	54.68	45.32	25	-	60
N°50	0.30	373.90	20.43	75.11	24.89	5	-	30
N°100	0.15	303.20	16.57	91.68	8.32	0	-	10
cazoleta		152.30	8.32	100.00	0.00	Modulo de finura		
Total		1830.20	100.00			2.97		



2° ENSAYO								
TAMIZ		Peso Ret (gr)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q. Pasa	Huso granulométrico		
#	(mm)					Según NTP 400.037		
3/8"	9.51	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
N°4	4.76	137.40	8.00	8.00	92.00	95	-	100
N°8	2.36	385.20	22.43	30.44	69.56	80	-	100
N°16	1.18	244.30	14.23	44.66	55.34	50	-	85
N°30	0.60	213.80	12.45	57.11	42.89	25	-	60
N°50	0.30	314.50	18.32	75.43	24.57	5	-	30
N°100	0.15	293.60	17.10	92.53	7.47	0	-	10
cazoleta		128.30	7.47	100.00	0.00	Modulo de finura		
Total		1717.10	100.00			3.08		



3° ENSAYO								
TAMIZ		Peso (gr)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q. Pasa	Huso granulométrico		
#	(mm)					Según NTP 400.037		
3/8"	9.51	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
N°4	4.76	152.80	9.00	9.00	91.00	95	-	100
N°8	2.36	310.20	18.28	27.28	72.72	80	-	100
N°16	1.18	206.80	12.18	39.46	60.54	50	-	85
N°30	0.60	228.70	13.47	52.93	47.07	25	-	60
N°50	0.30	343.10	20.21	73.15	26.85	5	-	30
N°100	0.15	312.30	18.40	91.55	8.45	0	-	10
cazoleta		143.50	8.45	100.00	0.00	Modulo de finura		
Total		1697.40	100.00			2.93		

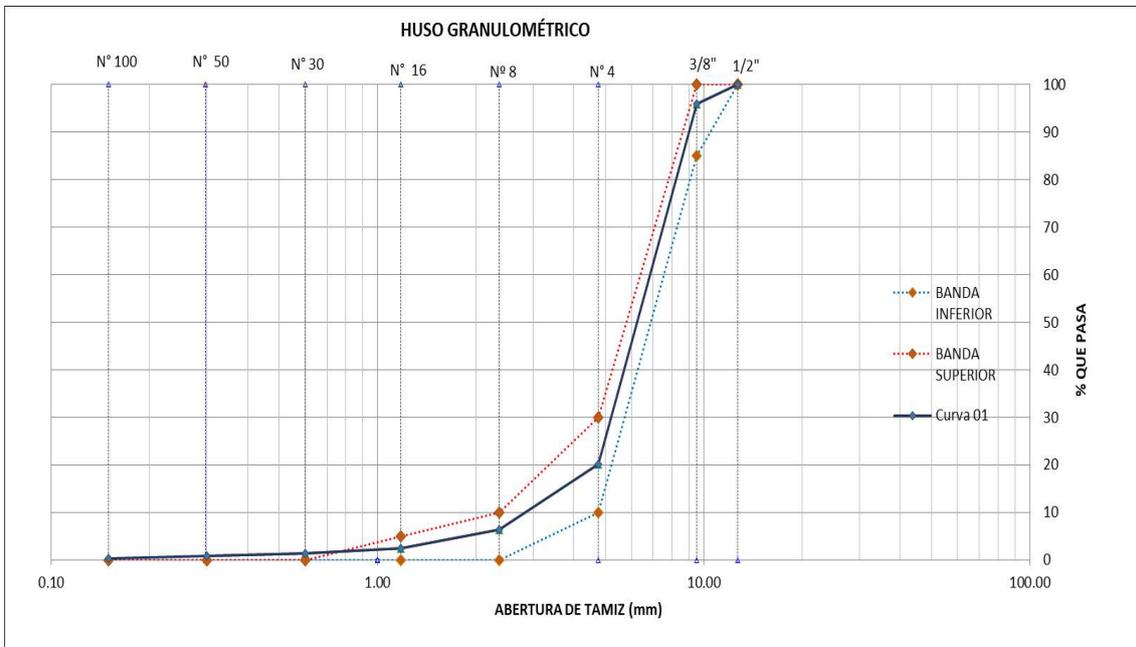


->>> **Módulo de finura promedio = 2.99**

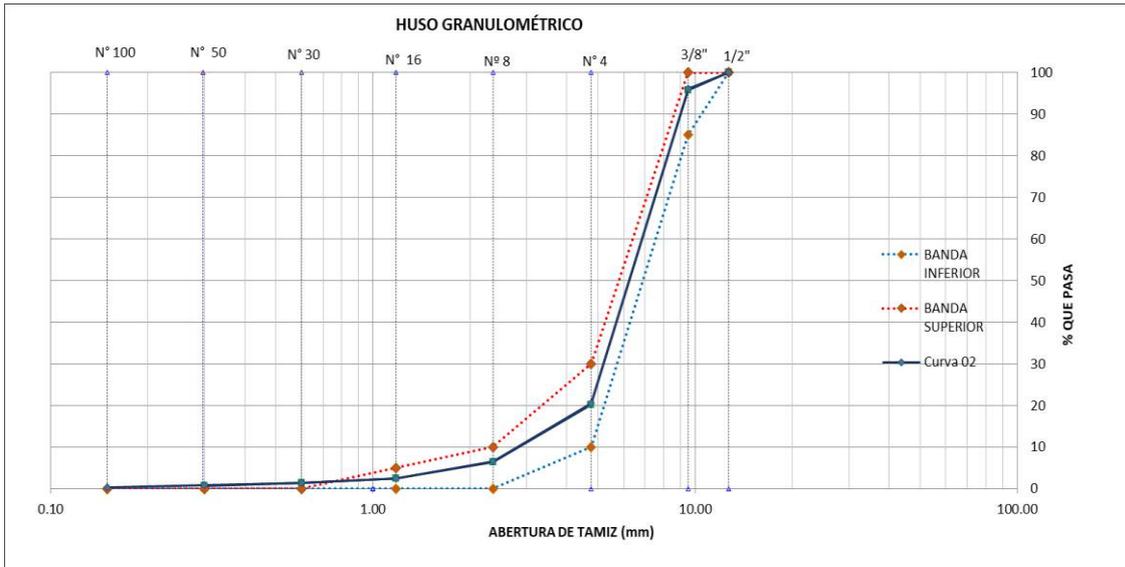
4.2. Granulometría del Agregado grueso:

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO Y MÓDULO DE FINURA (ASTM C-136 - NTP. 400.012 - NTP. 400.037)

1° ENSAYO								
TAMIZ		Peso (gr)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q. Pasa	Huso granulométrico		
#	(mm)					ASTM N°8		
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
3/8"	9.51	285.70	4.16	4.16	95.84	85	-	100
N° 4	4.76	5192.30	75.68	79.84	20.16	10	-	30
N°8	2.36	948.10	13.82	93.66	6.34	0	-	10
N°16	1.18	271.60	3.96	97.62	2.38	0	-	5
N°30	0.60	73.40	1.07	98.69	1.31	0	-	0
N°50	0.30	38.10	0.56	99.25	0.75	0	-	0
N°100	0.15	27.20	0.40	99.64	0.36	0	-	0
cazoleta		24.60	0.36	100.00	0.00	Modulo de finura		
Total		6861.00	100.00			5.73		

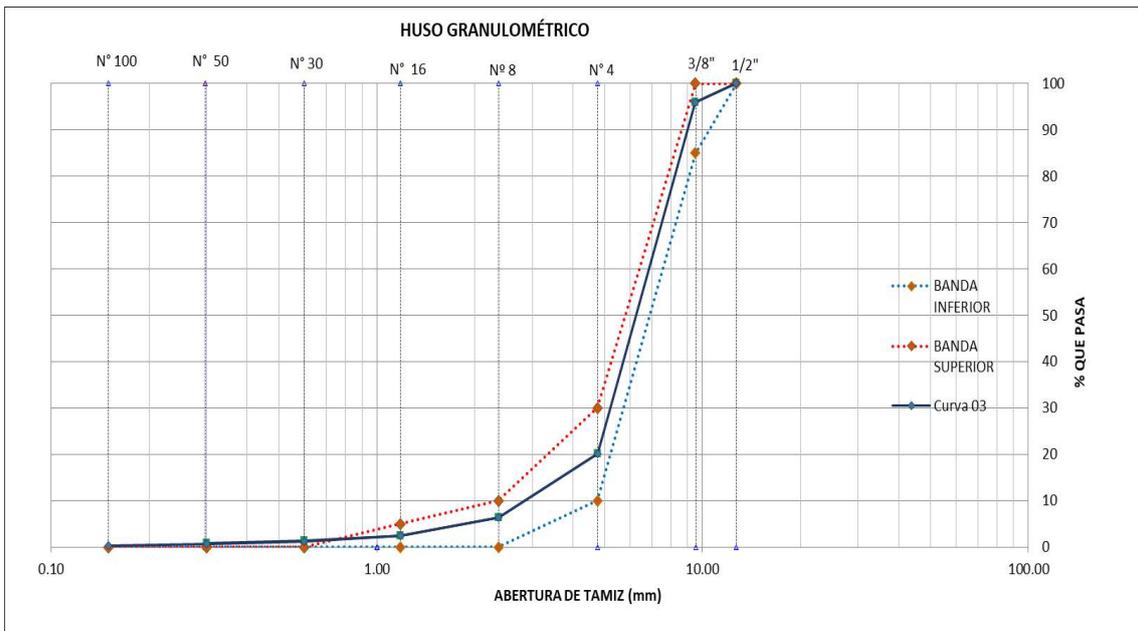


2° ENSAYO								
TAMIZ		Peso (gr)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q. Pasa	Huso granulométrico		
#	(mm)					ASTM N°8		
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
3/8"	9.51	243.30	3.90	3.90	96.10	85	-	100
N° 4	4.76	4718.80	75.64	79.54	20.46	10	-	30
N°8	2.36	866.10	13.88	93.42	6.58	0	-	10
N°16	1.18	257.40	4.13	97.55	2.45	0	-	5
N°30	0.60	65.20	1.05	98.59	1.41	0	-	0
N°50	0.30	39.10	0.63	99.22	0.78	0	-	0
N°100	0.15	27.30	0.44	99.66	0.34	0	-	0
cazoleta		21.30	0.34	100.00	0.00	Modulo de finura		
Total		6238.50	100.00			5.72		



3° ENSAYO

TAMIZ		Peso (gr)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q. Pasa	Huso granulométrico		
#	(mm)					ASTM N°8		
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
3/8"	9.51	275.90	4.13	4.13	95.87	85	-	100
N° 4	4.76	5060.20	75.80	79.94	20.06	10	-	30
N°8	2.36	913.70	13.69	93.63	6.37	0	-	10
N°16	1.18	268.10	4.02	97.64	2.36	0	-	5
N°30	0.60	78.40	1.17	98.82	1.18	0	-	0
N°50	0.30	32.90	0.49	99.31	0.69	0	-	0
N°100	0.15	25.70	0.39	99.69	0.31	0	-	0
cazoleta		20.40	0.31	100.00	0.00	Modulo de finura		
Total		6675.30	100.00			5.73		



->>> Módulo de finura promedio = 5.73

4.3. Peso específico y absorción del agregado fino

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINO (ASTM C128 - NTP. 400.022)				
DATOS	1°	2°	3°	
$W_{\text{agregado SSS}}$ (gr)	500.00	500.00	500.00	
W_{fiola} (gr)	157.52	157.52	157.52	
$W_{\text{agregado + fiola}}$ (gr)	657.52	657.52	657.52	
$W_{\text{fiola + agregado + agua}}$ (gr)	967.68	967.76	967.59	
$V_a = V_{\text{agua añadida}}$ (cm3)	310.16	310.24	310.07	
W_{tara} (gr)	88.86	88.84	88.87	
$W_{\text{tara + muestra seca}}$ (gr)	582.02	582.00	582.04	
$W_o = W_{\text{Muestra Seca}}$ (gr)	493.16	493.16	493.18	
ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
W_o = Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)	493.16	493.16	493.18	493.17
V = Volumen del frasco (cm3)	500.00	500.00	500.00	500.00
V_a = Peso en gr o volumen del agua añadida al frasco (gr)	310.16	310.24	310.07	310.16
a. Peso específico de masa $P_{em} = W_o / (V - V_a)$ (gr/cm3)	2.60	2.60	2.60	2.60
b. Peso específico de masa saturada con superficie seca $P_{esss} = 500 / (V - V_a)$ (gr/cm3)	2.63	2.63	2.63	2.63
c. Peso específico aparente $P_{ea} = W_o / ((V - V_a) - (500 - W_o))$ (gr/cm3)	2.69	2.70	2.69	2.69
d. Absorción $Abs = ((500 - W_o) / W_o) * 100$ (%)	1.39	1.39	1.38	1.39

4.4. Peso específico y absorción del agregado grueso

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESO (ASTM C127 - NTP. 400.021)				
ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
A = Peso en el aire de la muestra seca al horno (gr)	2966.20	2967.00	2966.00	2966.40
B = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr)	3000.20	3000.10	3000.00	3000.10
C = Peso en el agua de la muestra saturada (gr)	1854.50	1853.10	1852.40	1853.33
a. Peso específico de masa $P_{em} = A / (B - C)$ (gr/cm3)	2.59	2.59	2.58	2.59
b. Peso específico de masa saturada con superficie seca $P_{esss} = B / (B - C)$ (gr/cm3)	2.62	2.62	2.61	2.62
c. Peso específico aparente $P_{ea} = A / (A - C)$ (gr/cm3)	2.67	2.66	2.66	2.67
d. Absorción $Abs = ((B - A) / A) * 100$ (%)	1.15	1.12	1.15	1.14

4.5. Peso unitario del agregado fino

PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO (ASTM C29 - NTP 400.017)

Calculo del peso especifico del agua	
Peso de fiola+agua (gr)	654.16
Peso de fiola (gr)	157.52
Peso de agua (gr)	496.64
Volumen fiola (cm3)	500.00
Peso especifico=W/V (gr/cm3)	0.9933
P.e en (kg/m3)	993.28

Calculo del factor f	
Peso especifico del agua (kg/m3)	993.28
Diametro (m)	0.148
Altura del Cilindro (m)	0.189
Volumen (m3)	0.00325
Peso de cilindro (kg)	3.881
Peso de cilindro + agua (kg)	6.835
Peso de agua (kg)	2.954
>>> f (1/m3) =	336.25

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso del recipiente (kg)	3.88	3.88	3.88
Peso del recipiente+muestra (kg)	8.70	8.74	8.71
Peso de muestra (kg)	4.82	4.86	4.83
f	336.25	336.25	336.25
PUS kg/m3	1620.38	1633.83	1623.75
Peso Unitario Suelto promedio (Kg/m³)	1625.99		

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso del recipiente (kg)	3.88	3.88	3.88
Peso del recipiente+muestra (kg)	9.15	9.18	9.16
Peso de muestra (kg)	5.27	5.30	5.28
f	336.25	336.25	336.25
PUC kg/m3	1771.70	1781.78	1775.06
Peso Unitario Compactado promedio (Kg/m³)	1776.18		

4.6. Peso unitario del agregado grueso

PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C29 - NTP 400.017)

Calculo del peso especifico del agua	
Peso de fiola+agua (gr)	654.16
Peso de fiola (gr)	157.52
Peso de agua (gr)	496.64
Volumen fiola (cm3)	500.00
Peso especifico=W/V (gr/cm3)	0.9933
P.e en (kg/m3)	993.28

Calculo del factor f	
Peso especifico del agua (kg/m3)	993.28
Diametro (m)	0.203
Altura del Cilindro (m)	0.298
Volumen (m3)	0.00964
Peso de cilindro (kg)	4.205
Peso de cilindro + agua (kg)	13.825
Peso de agua (kg)	9.620
>>> f (1/m3) =	103.25

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso del recipiente (kg)	4.21	4.21	4.21
Peso del recipiente+muestra (kg)	17.34	17.42	17.39
Peso de muestra (kg)	13.14	13.21	13.19
f	103.25	103.25	103.25
PUS kg/m ³	1356.52	1363.95	1361.58
Peso Unitario Suelto promedio (Kg/m ³)	1360.68		

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso del recipiente (kg)	4.21	4.21	4.21
Peso del recipiente+muestra (kg)	18.29	18.41	18.32
Peso de muestra (kg)	14.08	14.21	14.12
f	103.25	103.25	103.25
PUC kg/m ³	1454.19	1466.89	1457.81
Peso Unitario Compactado promedio (Kg/m ³)	1459.63		

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso del Recipiente + muestra compactada sss	18.36	18.45	18.48
Peso del Recipiente + muestra compactada sss + agua	22.54	22.64	22.70
Peso del agua	4.18	4.19	4.22
Volumen del recipiente	9.64	9.64	9.64
Volumen del agua en los vacíos	4.21	4.22	4.25
Vacíos %	43.65	43.76	44.07
Vacíos Reales (%)	43.83		

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso de la muestra compactada sss	14.155	14.245	14.275
Peso Unitario Compactado sss	1.468	1.478	1.481
Peso Especifico de Masa SSS	2.63	2.63	2.63
Vacíos	44.25	43.92	43.75
Vacíos Teóricos (%)	43.97		

4.7. Contenido de humedad del agregado fino.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO (ASTM C566 - NTP 339.185)

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
W tara	33.20	31.30	41.80	35.43
Peso de muestra hum + tara (gr)	476.30	337.40	588.60	467.43
Peso de muestra Seca + tara (gr)	454.60	322.60	561.20	446.13
Wh= Peso de muestra húmeda (gr)	443.10	306.10	546.80	432.00
Ws= Peso de muestra seca (gr)	421.40	291.30	519.40	410.70
Wa= Peso del agua (gr)	21.70	14.80	27.40	21.30
Porcentaje de humedad (Wh-Ws)/Ws*100	5.15	5.08	5.28	5.17
>>> Porcentaje de humedad promedio =	5.17			

4.8. Contenido de humedad del agregado grueso.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C566 - NTP 339.185)

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
W tara	170.10	184.50	176.30	176.97
Peso de muestra hum + tara (gr)	610.50	708.90	685.20	668.20
Peso de muestra Seca + tara (gr)	595.40	691.80	667.30	651.50
Wh= Peso de muestra húmeda (gr)	440.40	524.40	508.90	491.23
Ws= Peso de muestra seca (gr)	425.30	507.30	491.00	474.53
Wa= Peso del agua (gr)	15.10	17.10	17.90	16.70
Porcentaje de humedad (Wh-Ws)/Ws*100	3.55	3.37	3.65	3.52
>>> Porcentaje de humedad promedio =	3.52			

4.9. Porcentaje de abrasión del agregado grueso

ABRASIÓN (ASTM C131 - NTP 400.019)						
TAMIZ		RETENIDO EN		ENSAYO GRADACIÓN D		
#	(mm)	#	(mm)	1°	2°	3°
1 ½"	37.50	1"	25.40	0	0	0
1"	25.40	¾"	19.00	0	0	0
¾"	19.00	½"	12.70	0	0	0
½"	12.70	3/8"	9.51	0	0	0
3/8"	9.51	¼"	6.35	0	0	0
¼"	6.35	Nº 4	4.76	0	0	0
Nº 4	4.76	Nº 8	2.36	5000	5000	5000
TOTAL				5000	5000	5000

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
Wo=Peso original de muestra Seca (gr)	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00
Peso de muestra Seca final + recipiente (gr)	3646.50	3645.10	3647.40	3646.33
Recipiente (gr)	145.50	145.50	145.50	145.50
Wf=Peso de muestra seca final (gr)	3501.00	3499.60	3501.90	3500.83
Abrasión (%) = (Wo-Wf)/Wo*100	29.98	30.01	29.96	29.98
->>>Resistencia a la abrasión promedio (%)=				29.98

5. Diseño de mezclas y ajuste del diseño de mezclas:

5.1. Diseño de mezcla por el método Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados:

1) CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

PROPIEDADES	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO	2.99	5.73
PESO ESPECÍFICO DE MASA DEL AGREGADO (gr/cm³)	2.598	2.587
PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL AGREGADO (w%)	5.17	3.52
ABSORCIÓN DE AGREGADO (abs%)	1.39	1.14
PESO UNITARIO SUELTO SECO (kg/m³)	1626	1361
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN)	-	3/8 "
PERFIL	-	angular

2) CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO TIPO I:

Peso específico del Cemento : 3.12 g/cm³

3) VOLUMEN UNITARIO DE AGUA Lt/m³:

Criterio = Sin Aire Incorporado
 → Vol. de agua = 207. Lts/m³ Según tabla Rivva Lopez

4) TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO

TMN = 3/8 "

5) SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO (f'cr)

Resistencia de diseño f'c = 17 MPa
 Resistencia de diseño f'c = 173 kg/cm²
 Resistencia promedio f'cr = 173 + 72.1 kg/cm² Según RNE E.060 - 2009
 Resistencia promedio f'cr = 245 kg/cm²

6) CÁLCULO DEL ASENTAMIENTO

Consistencia = seca
 → Slump= 0" a 2"

7) CÁLCULO DEL CONTENIDO DE AIRE:

Aire Atrapado =	3.000%
Aire incorporado =	0.000%
TOTAL	3.000%

8) RELACIÓN AGUA CEMENTO (A/C)

a) Por resistencia

→ Relación A/C en peso = 0.628 Se obtiene interpolando Relación A/C vs Resistencia

9) FACTOR CEMENTO (kg):

→ Vol. de agua = 207. Lts/m³
 207/C = 0.628
 Cemento absoluto = 329.6 kg/m³ ~ 7.8 bolsas/m³

10) VOLUMEN DE PASTAVol.de pasta = Vol. Agua + Vol. Cemento+ Vol. Aire= 0.207 + 0.106 + 0.03 = 0.343 m³**11) VOLUMEN DE AGREGADOS**Vol.de Agregados = 1 - Vol. pasta = 1 - 0.343 0.657 m³**12) CÁLCULO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS**

Se estima el porcentaje de agregado fino (Rf) 0.54 ~ 54%
 Se estima el porcentaje de agregado grueso (Rg) : 0.46 ~ 46%

Vol. AF = Vol Abs Agr Global * %AF/100 = 0.357 m³
 Peso de Af = 927.36 kg

Vol AG = Vol Agr Glob - Vol AF = 0.30 m³
 Peso de AG = 776.22 kg

13) PESO DE MATERIALES DE DISEÑO:

CEMENTO: 329.62 kg
 ARENA: 927.36 kg
 CONFITILLO: 776.22 kg
 AGUA: 207.00 Lt

14) MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

Cemento = 329.62 kg
 Agua efectiva = Agua de diseño-aporte de agua= 153.47 Lt
 AF = Peso seco del Af*(1+%w) = 975.31 kg
 AG = Peso seco del Ag*(1+%w) = 803.55 kg

15) PROPORCIÓN EN PESO HÚMEDOS (PP)

CEMENTO: 1
 A.FINO 2.96
 A.GRUESO 2.44
 AGUA: 0.47 ~ 19.8 Lt/bolsas 20lts/bolsa

16) POR VOLUMEN (pies³):

CEMENTO: 7.76 p³
 A.FINO 20.14 p³
 A.GRUESO 20.14 p³
 AGUA: 19.79 Lt 20 lts/bolsa

17) PROPORCIÓN POR VOLUMEN:

CEMENTO: 1.00
 A.FINO 2.60
 A.GRUESO 2.60
 AGUA: 19.79 Lt 20 lts/bolsa

18) PROPORCIÓN POR TANDA DE 3 ESPECÍMENES (0.02):

CEMENTO: 6.59 kg
 A.FINO 19.51 kg
 A.GRUESO 16.07 kg
 AGUA: 3.07 kg

PROPORCIONES	CEMENTO	A.FINO	A.GRUESO	AGUA
Proporción en pesos húmedos (PP)	1.00	2.96	2.44	20 lts/bolsa
Proporción en volumen	1.00	2.60	2.60	20 lts/bolsa
Proporción por tanda de 3 especímenes de concreto	6.59 kg	19.51 kg	16.07 kg	3.07 lt

5.2. Ajuste del diseño de mezclas y tablas

1.1) ESPECIFICACIONES

DESCRIPCIÓN	AF	AG
ABSORCIÓN	1.39%	1.14%
HUMEDAD	5.17%	3.52%
PESO ESPECIFICO	2.60 g/cm ³	2.59 g/cm ³
PESO UNITARIO COMP. SECO	1776 kg/m ³	1460 kg/m ³
PESO UNITARIO SUELTO SECO	1626 kg/m ³	1361 kg/m ³

DESCRIPCIÓN	DISEÑO	CORREGIDO POR HUMEDAD
CEMENTO	330 kg/m ³	330 kg/m ³
AGUA	207 kg/m ³	153 kg/m ³
AGREGADO FINO	927 kg/m ³	975 kg/m ³
AGREGADO GRUESO (confitillo)	776 kg/m ³	803 kg/m ³
AIRE	3.00%	3.00%

1.2) TANDA DE ENSAYO

Datos de la tanda de ensayo en laboratorio

Volumen de tanda =	0.02 m ³
Asentamiento =	0.0 "
Peso unitario del C° =	2248 kg/m ³
Agua adicional =	0.00 Lt
Aire total =	4.00%
Aspectos de la mezcla =	Sobre gravosa
Aire total medido =	4%

II) PROCEDIMIENTO DE AJUSTE

2.1) PESO DE TANDA (0.02 M3)

Se trabaja con materiales corregidos por humedad

Cemento =	329.62 x 0.02 =	6.59 m ³
Agua añadida =	153.4 x 0.02 - 0 =	3.07 Lt
Agregado fino húmedo =	975.44 x 0.02 =	19.51 kg
Agregado grueso húmedo =	803.41 x 0.02 =	16.07 kg
→ Peso por tanda =		45.24 kg

2.2) RENDIMIENTO DE TANDA DE ENSAYO

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso de tanda}}{\text{Peso unit. C° fresco}} = \frac{45.24}{2248} = 0.020125 \text{ m}^3$$

2.3) AGUA DE MEZCLADO POR TANDA

Agua añadida =	3.07 Lt	(a)
Aporte de agua		
AF = Peso seco AF * hum Sup. =	927.49 x 0.02 x 0.03784 =	0.70 Lt/td (b)
AG = Peso seco AG * hum. Sup. =	776.1 x 0.02 x 0.02384 =	0.37 Lt/td (c)

Agua de mezclado por tanda

$$a+b+c = 4.14 \text{ Lt/td}$$

2.4) AGUA DE MEZCLADO REQUERIDA POR M3

$$\text{Agua de mezclado} = (a+b+c)/\text{rend.} = 4.14 / 0.020125 = 206 \text{ Lt/m}^3$$

2.5) CORRECCIÓN POR AIRE (inversamente proporcional)

Aire deseado =	3.00%
Aire en laboratorio =	4.00%
	<hr/>
	-1.00%
Agregar →	3.000 Lt

2.6) CÁLCULO DE AIRE TOTAL POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO

* Determinación de volúmenes absolutos de materiales de la mezcla de prueba (0.02m3)

a) Cemento=	Peso de tanda de cemento/peso específico cemento =	0.00211 m3
b) Agua =	Peso de tanda de agua / peso específico agua =	0.00414 m3
c) Agregado fino =	Peso de tanda de A.F(secos) / peso específico A.f =	0.00714 m3
d) Agregado grueso =	Peso de tanda de A.G(secos) / peso específico A.g =	0.00600 m3
	$\Sigma(a+b+c+d) =$	0.01939221 m3

* Determinación de aire total

Aire % = (Rendimiento - Volúmenes absolutos de materiales) / Rendimiento*100 = 3.64%

2.7) CORRECCIÓN POR ASENTAMIENTO (SLUMP)

Variación del Asentamiento =	0.0 "	= 0.00 cm
* Nueva agua de mezclado =	206 + 3 + 0 =	209 Lt/m3

2.8) NUEVA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

$$\rightarrow \text{Relación A/C de diseño} = 207/329.62 = 0.628$$

2.9) FACTOR CEMENTO (kg):

$$C = \sqrt{\quad} \quad 333 \text{ kg/m}^3 \quad \sim 7.8 \text{ bolsas/m}^3$$

2.10) NUEVO PESO DEL CONCRETO ejm 2

El nuevo peso del concreto con -0.64 % \approx - 1% ✔ menos aire, será:

$$\text{Nuevo Peso del concreto} = 2248 / 0.99 = \sqrt{\quad} \quad 2271 \text{ kg/m}^3$$

2.11) NUEVOS PESOS SECOS POR M3 ejm 2

Cemento :	333 kg
Agregado fino:	998 kg
Agregado grueso (confitillo):	700 kg
Agua :	209 kg/m3

2.12) CORRECCIÓN POR HUMEDAD

Corrección de materiales por m3 de concreto - ajustados

Cemento:	333.00 kg
Agregado fino :	1050.00 kg
Agregado grueso (confitillo):	725.00 kg
Agua:	154.60 Lts

2.13) PROPORCIÓN EN PESO HÚMEDOS (PP)

Cemento:	1	
Agregado fino :	3.15	
Agregado grueso (confitillo):	2.18	
Agua:	0.46	~ 19.7 Lt/bolsas

2.14) PROPORCIÓN POR VOLUMEN:

Cemento:	1.00
Agregado fino :	2.77
Agregado grueso (confitillo):	2.32
Agua:	19.73 Lt

2.15) PROPORCIÓN POR TANDA DE ESPECÍMENES (30 unidades):

Cemento:	33.66 kg
Agregado fino :	106.14 kg
Agregado grueso (confitillo):	73.29 kg
Agua:	15.63 Lt

6. Mortero:

6.1. Propiedades físicas del agregado para mortero

A. Contenido de humedad

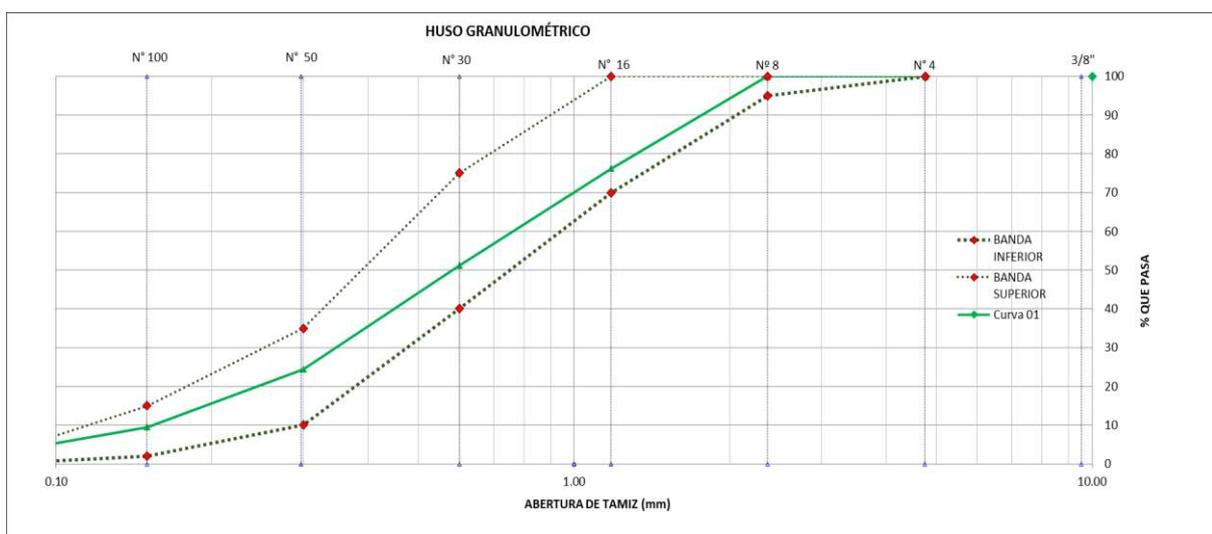
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO (ASTM C566 - NTP 339.185)

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
W tara	42.50	40.80	43.50	42.27
Peso de muestra hum + tara (gr)	374.30	383.40	365.80	374.50
Peso de muestra Seca + tara (gr)	364.10	372.90	355.80	364.27
Wh= Peso de muestra húmeda (gr)	331.80	342.60	322.30	332.23
Ws= Peso de muestra seca (gr)	321.60	332.10	312.30	322.00
Wa= Peso del agua (gr)	10.20	10.50	10.00	10.23
Porcentaje de humedad $(W_h - W_s) / W_s * 100$	3.17	3.16	3.20	3.18
>>> Porcentaje de humedad promedio =	3.18			

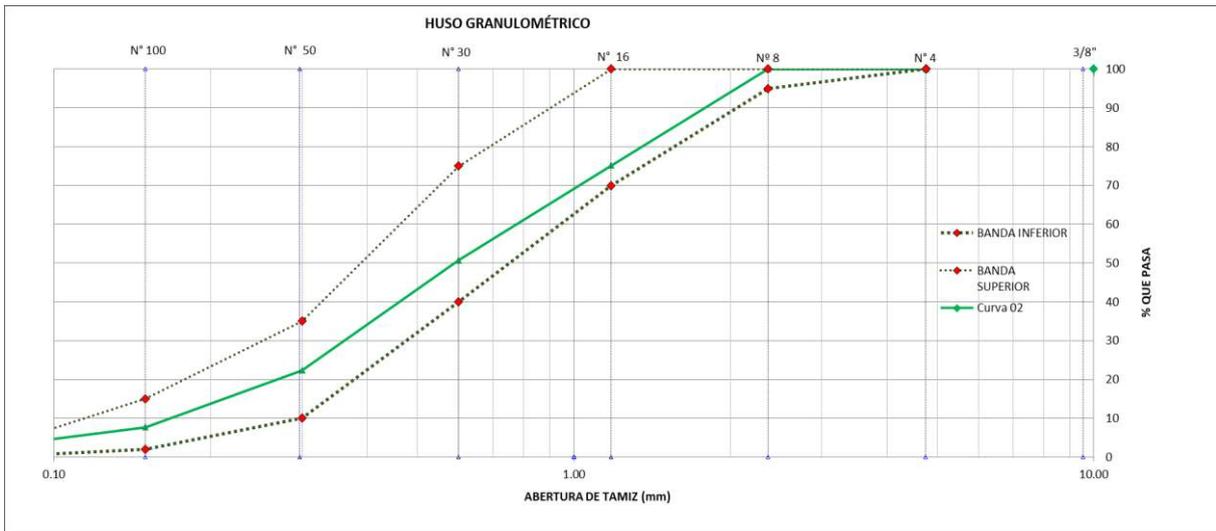
B. Ensayos de granulometría para mortero

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO (ASTM C136 - NTP 400.012 - NTP 400.037)

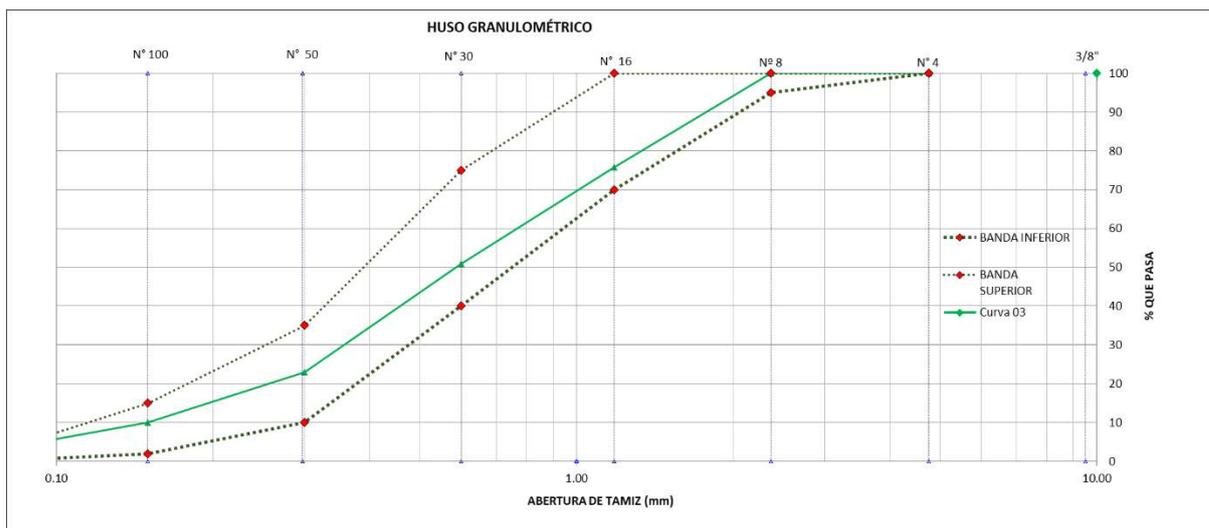
1° ENSAYO								
TAMIZ		Peso Ret (gr)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q. Pasa	Huso granulométrico Según NTE E.070, 2006		
#	(mm)							
N°4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
N°8	2.36	0.00	0.00	0.00	100.00	95	-	100
N°16	1.18	581.00	23.74	23.74	76.26	70	-	100
N°30	0.60	614.00	25.09	48.84	51.16	40	-	75
N°50	0.30	654.00	26.73	75.56	24.44	10	-	35
N°100	0.15	365.00	14.92	90.48	9.52	2	-	15
N°200	0.08	175.00	7.15	97.63	2.37	0	-	2
cazoleta		58.00	2.37	100.00	0.00	Módulo de finura		
Total		2447.00	100.00			2.39		



2° ENSAYO								
TAMIZ		Peso Ret (gr)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q. Pasa	Huso granulométrico Según NTE E.070, 2006		
#	(mm)							
N°4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
N°8	2.36	0.00	0.00	0.00	100.00	95	-	100
N°16	1.18	641.00	24.84	24.84	75.16	70	-	100
N°30	0.60	631.00	24.45	49.28	50.72	40	-	75
N°50	0.30	731.00	28.32	77.61	22.39	10	-	35
N°100	0.15	378.00	14.65	92.25	7.75	2	-	15
N°200	0.08	132.00	5.11	97.37	2.63	0	-	2
cazoleta		68.00	2.63	100.00	0.00	Módulo de finura		
Total		2581.00	100.00			2.44		



3° ENSAYO								
TAMIZ		Peso (gr)	% Ret.	% Ret. Acum.	% Q. Pasa	Huso granulométrico Según NTE E.070, 2006		
#	(mm)							
N°4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
N°8	2.36	0.00	0.00	0.00	100.00	95	-	100
N°16	1.18	614.00	24.26	24.26	75.74	70	-	100
N°30	0.60	627.00	24.77	49.03	50.97	40	-	75
N°50	0.30	711.00	28.09	77.12	22.88	10	-	35
N°100	0.15	326.00	12.88	90.00	10.00	2	-	15
N°200	0.08	185.00	7.31	97.31	2.69	0	-	2
cazoleta		68.00	2.69	100.00	0.00	Módulo de finura		
Total		2531.00	100.00			2.40		



C. Peso específico y absorción del agregado

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINO (ASTM C128 - NTP 400.022)

DATOS	1°	2°	3°
$W_{\text{agregado SSS}} \text{ (gr)}$	500.00	500.00	500.00
$W_{\text{fiola}} \text{ (gr)}$	158.37	158.37	158.37
$W_{\text{agregado + fiola}} \text{ (gr)}$	658.37	658.37	658.37
$W_{\text{fiola + agregado + agua}} \text{ (gr)}$	969.50	969.80	969.70
$V_a = V_{\text{agua añadida}} \text{ (cm}^3\text{)}$	311.13	311.43	311.33
$W_{\text{tara}} \text{ (gr)}$	92.80	93.00	91.50
$W_{\text{tara + muestra seca}} \text{ (gr)}$	585.02	585.00	585.06
$W_O = W_{\text{Muestra Seca}} \text{ (gr)}$	492.22	492.00	493.56

ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
$W_O = \text{Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)}$	492.22	492.00	493.56	492.59
$V = \text{Volumen del frasco (cm}^3\text{)}$	500.00	500.00	500.00	500.00
$V_a = \text{Peso en gr o volumen del agua añadida al frasco (gr)}$	311.13	311.43	311.33	311.30
a. $\text{Peso específico de masa } P_{em} = W_o / (V - V_a) \text{ (gr/cm}^3\text{)}$	2.61	2.61	2.62	2.61
b. $\text{Peso específico de masa saturada con superficie seca } P_{ess} = 500 / (V - V_a) \text{ (gr/cm}^3\text{)}$	2.65	2.65	2.65	2.65
c. $\text{Peso específico aparente } P_{ea} = W_o / ((V - V_a) - (500 - W_o)) \text{ (gr/cm}^3\text{)}$	2.72	2.72	2.71	2.72
d. $\text{Absorción } Abs = ((500 - W_o) / W_o) * 100 \text{ (\%)}$	1.58	1.63	1.30	1.50

D. Peso unitario suelto y compactado del agregado

PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO (ASTM C29 - NTP 400.017)

Cálculo del peso específico del agua	
Peso de fiola+agua (gr)	650.10
Peso de fiola (gr)	168.60
Peso de agua (gr)	481.50
Volumen fiola (cm3)	500.00
Peso específico=W/V (gr/cm3)	0.9630
P.e en (kg/m3)	963.00

Cálculo del factor f	
Peso específico del agua (kg/m3)	963.00
Diametro (m)	0.148
Altura del Cilindro (m)	0.189
Volumen (m3)	0.00325
Peso de cilindro (kg)	3.880
Peso de cilindro + agua (kg)	6.840
Peso de agua (kg)	2.960
>>> f (1/m3) =	325.34

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso del recipiente (kg)	3.88	3.88	3.88
Peso del recipiente+muestra (kg)	8.81	8.80	8.82
Peso de muestra (kg)	4.93	4.92	4.94
f	325.34	325.34	325.34
PUS kg/m3	1603.92	1600.66	1607.17
Peso Unitario Suelto promedio (Kg/m ³)	1603.92		

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso del recipiente (kg)	3.88	3.88	3.88
Peso del recipiente+muestra (kg)	9.18	9.15	9.20
Peso de muestra (kg)	5.30	5.27	5.32
f	325.34	325.34	325.34
PUC kg/m3	1724.29	1714.53	1730.80
Peso Unitario Compactado promedio (Kg/m ³)	1723.21		

6.2. Diseño de mezclas del mortero

MORTERO TIPO P2 Ó TIPO S (sin adición de cal)

DATOS:

Características	Resultados
Pe masa (cemento tipo I) (gr/cm ³)	3.11
Bolsa cemento	42.50
Dosificación cemento : arena	1 : 4
Aire (%)	1.00
Relación A/C	0.60
Módulo de finura	2.41
Pe masa de arena (gr/cm ³)	2.61
Peso unitario suelto de arena (gr/cm ³)	1603.92
Peso unitario compactado de arena (gr/cm ³)	1723.21
Absorción de arena (%)	1.50
Contenido de humedad (%)	3.18
f' cr (kg/m ²)	170.00

PROCEDIMIENTO:

1. Materiales en base a una bolsa de cemento:

$$\text{Cemento} = 1.0 * 42.5 = 42.5 \text{ kg}$$

$$\text{Arena} = \frac{4.0 * 1603.92}{35.315} = 181.67 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 0.60 * 42.5 = 25.5 \text{ kg}$$

2. Volúmenes absolutos

$$\text{Cemento} = \frac{42.5}{3.11 * 1000} = 0.0136656 \text{ m}^3$$

$$\text{Arena} = \frac{4.0 * 1603.92}{35.315 * 2.61 * 1000} = 0.0696054 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{25.5}{1000} = 0.0255 \text{ m}^3$$

$$\Sigma = 0.108771 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = \frac{1 * 0.108771}{100} = 0.0010877 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto} = 0.1098587 \text{ m}^3$$

$$\Delta \text{ El rendimiento es: } \frac{1}{0.10986 \text{ m}^3} = 9.10 \text{ Bolsas}$$

3. Materiales de diseño por m³

$$\text{Cemento} = 42.5 * 9.10 = 386.86 \text{ kg}$$

$$\text{Arena} = 181.67 * 9.10 = 1653.67 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 25.5 * 9.10 = 232.12 \text{ l}$$

4. Corrección por humedad

$$\text{Arena} = 1653.67 * (1 + 3.18/100) = 1706.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua efectiva} = 232.12 - (1653.67 * (3.18 - 1.5)/100) = 204.33 \text{ l}$$

En conclusión tenemos:

$$\text{Cemento} = 386.86 \text{ kg}$$

$$\text{Arena} = 1706.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua efectiva} = 204.33 \text{ l}$$

Proporción en peso - mezcla en obra
 $\frac{386.86}{386.86} : \frac{1706.26}{386.86} : \frac{204.33}{386.86}$

1 : 4.41 : 0.53

Proporción en volumen - mezcla en obra

$$\text{Cemento} = \frac{386.86 \text{ kg}}{42.5} = 9.10 \text{ pie}^3$$

$$\text{Arena} = \frac{1706.26 * 35.315}{1603.925 * 1.0318} = 36.41 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agua efectiva} = 204.33 \text{ l}$$

5. La proporción final en volumen de mezcla en obra

$\frac{9.10}{9.10} : \frac{36.41}{9.10} : \frac{204.33}{386.86}$

1 : 4 : 0.53

Cantidad de material para 6 probetas:

$$\text{Volumen por cubo de 5 cm de lado} = 0.05 * 0.05 * 0.05 = 0.000125 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de 6 cubos} = 0.00075 \text{ m}^3$$

6. Dosificación para mezcla 1:4 para una relación agua / cemento 0.53

Materiales	Sin considerar desperdicios	Considerando desperdicios
Cemento:	0.290	0.319
Arena:	1.280	1.408
Agua:	0.153	0.169

6.3. Resistencia a compresión axial de probetas de mortero:

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE MORTERO A EDAD DE 24 HORAS (1 DÍA)										
Código de Mortero	EDAD	DIMENSIONES						Área (cm ²)	Carga Última	fb (kg/cm ²)
		Ancho (mm)		Prom.	Largo (mm)		Prom.			
I-1	1 día	50.10	50.03	50.07	50.11	50.10	50.11	25.09	335.49	13.37
I-2	1 día	50.07	50.05	50.06	50.12	50.11	50.12	25.09	347.79	13.86
I-3	1 día	50.12	50.00	50.06	50.10	50.08	50.09	25.08	364.11	14.52
I-4	1 día	50.11	50.12	50.12	50.10	50.06	50.08	25.10	389.60	15.52
I-5	1 día	50.12	50.09	50.11	50.11	50.07	50.09	25.10	372.92	14.86
I-6	1 día	50.08	50.11	50.10	50.08	50.12	50.10	25.10	340.26	13.56
									fb Promedio	14.28
									Desviación estandar σ	0.83
									Coficiente variación	5.81
									fb Característica	13.45

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE MORTERO A EDAD DE 03 DÍAS										
Código de Mortero	EDAD	DIMENSIONES						Área (cm ²)	Carga Última	fb (kg/cm ²)
		Ancho (cm)		Prom.	Largo (cm)		Prom.			
I-7	3 días	50.12	50.11	50.12	50.12	50.11	50.12	25.12	1053.37	41.94
I-8	3 días	50.09	50.08	50.09	50.13	50.12	50.13	25.11	1024.89	40.82
I-9	3 días	50.12	50.06	50.09	50.02	50.04	50.03	25.06	1099.53	43.88
I-10	3 días	50.13	50.11	50.12	50.06	50.05	50.06	25.09	1049.43	41.83
I-11	3 días	50.05	50.07	50.06	50.11	50.01	50.06	25.06	1085.12	43.30
I-12	3 días	50.04	50.06	50.05	50.07	50.06	50.07	25.06	1063.84	42.46
fb Promedio									42.37	
Desviación estandar σ									1.10	
Coeficiente variación									2.60	
fb Característica									41.27	

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE MORTERO A EDAD DE 07 DÍAS										
Código de Mortero	EDAD	DIMENSIONES						Área (cm ²)	Carga Última	fb (kg/cm ²)
		Ancho (cm)		Prom.	Largo (cm)		Prom.			
I-13	7 días	50.12	50.11	50.12	50.05	50.04	50.04	25.08	2609.3205	104.05
I-14	7 días	50.05	50.04	50.05	50.07	50.05	50.06	25.05	2376.6894	94.87
I-15	7 días	50.05	50.04	50.04	50.07	50.07	50.07	25.06	2629.7149	104.95
I-16	7 días	50.10	50.09	50.10	50.10	50.50	50.30	25.20	2300.2104	91.29
I-17	7 días	50.09	50.08	50.09	50.09	50.08	50.08	25.09	2582.6729	102.96
I-18	7 días	50.09	50.08	50.08	50.08	50.05	50.06	25.07	2398.9884	95.68
fb Promedio									98.97	
Desviación estandar σ									5.73	
Coeficiente variación									5.79	
fb Característica									93.24	

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE MORTERO A EDAD DE 28 DÍAS										
Código de Mortero	EDAD	DIMENSIONES						Área (cm ²)	Carga Última	fb (kg/cm ²)
		Ancho (cm)		Prom.	Largo (cm)		Prom.			
I-19	28 días	50.07	50.05	50.06	50.08	50.08	50.08	25.07	3695.6676	147.42
I-20	28 días	50.06	50.06	50.06	50.02	50.03	50.02	25.04	3568.2026	142.49
I-21	28 días	50.12	50.07	50.10	50.03	50.02	50.02	25.06	3621.2955	144.51
I-22	28 días	50.06	50.03	50.05	50.05	50.08	50.06	25.05	3815.1097	152.27
I-23	28 días	50.13	50.12	50.13	50.11	50.07	50.09	25.11	3425.5092	136.43
I-24	28 días	50.08	50.11	50.10	50.09	50.09	50.09	25.09	3546.2408	141.33
fb Promedio									144.08	
Desviación estandar σ									5.42	
Coeficiente variación									3.76	
fb Característica									138.66	

7. Resistencia a compresión axial de unidades de concreto:

7.1. Resistencia a compresión axial de unidades de concreto a edad de 3 días:

Ensayo a compresión axial de unidades con 0% de adición de cenizas de cascarilla de arroz.

Especímen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
CP-1	241.00	240.80	240.90	131.50	132.00	131.75	83.00	81.90	82.45	6.342	58.0	0.032	18.21	185.68
CP-2	241.10	240.20	240.65	132.30	132.00	132.15	82.80	80.60	81.70	6.238	64.5	0.032	20.21	206.07
CP-3	240.15	240.20	240.18	132.50	132.00	132.25	81.80	82.30	82.05	6.313	62.5	0.032	19.61	199.93
CP-4	240.80	240.50	240.65	132.00	131.80	131.90	82.90	81.70	82.30	6.340	57.0	0.032	17.89	182.46
CP-5	240.30	240.20	240.25	132.00	132.00	132.00	82.40	82.30	82.35	6.295	61.4	0.032	19.29	196.72
CP-6	240.40	240.40	240.40	132.80	130.80	131.80	81.80	80.90	81.35	6.264	58.7	0.032	18.46	188.24
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												18.94	193.18	
Desviación estándar (s)												0.90	9.17	
Resistencia a la compresión característica (f_b)												18	184	
Coeficiente de variación (c.v.)												4.74%	4.74%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 5% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especímen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A5 -1	240.2	240.3	240.25	132.00	132.30	132.15	80.50	83.00	81.75	6.393	65.0	0.032	20.41	208.11
A5 -2	240.3	240.2	240.25	131.40	130.80	131.10	81.50	80.80	81.15	6.364	66.0	0.031	20.88	212.91
A5 -3	240.2	240.1	240.15	131.30	131.40	131.35	81.50	80.60	81.05	6.372	67.0	0.032	21.16	215.81
A5 -4	240.5	240.4	240.45	131.80	131.30	131.55	81.70	82.10	81.90	6.298	70.5	0.032	22.21	226.46
A5 -5	240.3	240.1	240.20	131.50	130.80	131.15	80.80	80.95	80.88	6.370	64.0	0.032	20.24	206.42
A5 -6	240.4	240.8	240.60	131.20	131.50	131.35	81.50	81.70	81.60	6.398	68.4	0.032	21.57	219.91
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												21.08	214.94	
Desviación estándar (s)												0.74	7.50	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												20	207	
Coeficiente de variación (c.v.)												3.49%	3.49%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 10% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

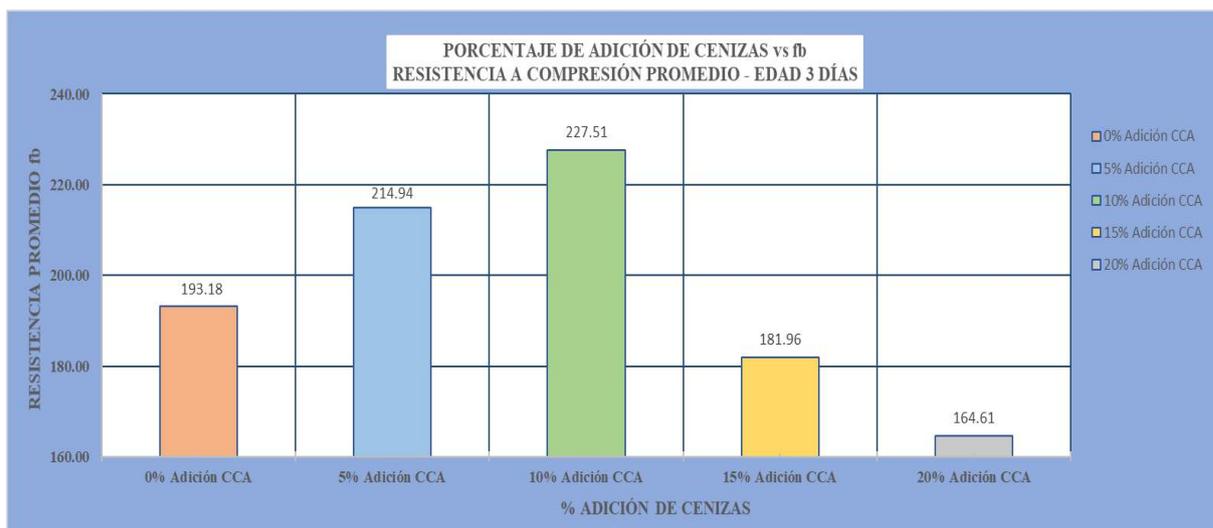
Especímen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A10 -1	240.60	240.40	240.50	132.10	131.20	131.65	80.80	80.90	80.85	6.397	74.0	0.032	23.29	237.47
A10 -2	240.40	240.30	240.35	131.30	131.50	131.40	80.70	81.50	81.10	6.417	72.0	0.032	22.72	231.64
A10 -3	240.50	240.40	240.45	131.40	130.70	131.05	80.80	81.60	81.20	6.448	69.7	0.032	22.04	224.74
A10 -4	240.10	240.30	240.20	131.20	131.20	131.20	81.90	81.70	81.80	6.479	71.0	0.032	22.45	228.91
A10 -5	240.30	240.40	240.35	131.50	130.90	131.20	82.20	82.40	82.30	6.432	68.0	0.032	21.49	219.10
A10 -6	240.40	240.40	240.40	131.40	131.80	131.60	81.80	81.80	81.80	6.361	69.5	0.032	21.89	223.21
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												22.31	227.51	
Desviación estándar (s)												0.64	6.56	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												22	221	
Coeficiente de variación (c.v.)												2.88%	2.88%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 15% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especímen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A15 -1	240.1	240.2	240.15	131.2	131.3	131.25	80.9	80.8	80.85	6.155	53.0	0.032	16.75	170.85
A15 -2	240.2	240.2	240.20	131.3	131.4	131.35	80.5	80.6	80.55	6.227	59.9	0.032	18.92	192.90
A15 -3	240.2	240.6	240.40	131.8	132	131.90	81.1	81.1	81.10	6.166	56.2	0.032	17.66	180.08
A15 -4	240.3	240.2	240.25	131.4	131.4	131.40	80.9	80.8	80.85	6.183	54.0	0.032	17.04	173.80
A15 -5	240.8	240.4	240.60	131.5	131.7	131.60	81.4	81.3	81.35	6.132	59.5	0.032	18.72	190.93
A15 -6	240.5	240.6	240.55	131.1	130.8	130.95	80.6	81.7	81.15	6.198	56.8	0.032	17.97	183.21
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												17.84	181.96	
Desviación estándar (s)												0.87	8.89	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												17	173	
Coeficiente de variación (c.v.)												4.89%	4.89%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 20% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especímen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A20 -1	240.50	240.40	240.45	131.50	131.70	131.60	82.40	82.30	82.35	6.107	49.5	0.032	15.59	158.94
A20 -2	240.10	240.20	240.15	131.20	131.20	131.20	81.50	81.80	81.65	6.101	51.3	0.032	16.22	165.43
A20 -3	240.10	240.20	240.15	131.20	131.20	131.20	81.50	81.40	81.45	6.108	51.2	0.032	16.19	165.11
A20 -4	240.50	240.40	240.45	130.80	131.40	131.10	82.40	82.20	82.30	6.002	48.6	0.032	15.36	156.65
A20 -5	240.40	240.40	240.40	131.40	132.00	131.70	80.90	81.30	81.10	6.116	56.5	0.032	17.78	181.32
A20 -6	240.60	240.40	240.50	131.40	130.70	131.05	80.40	81.70	81.05	6.086	49.7	0.032	15.71	160.22
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												16.14	164.61	
Desviación estándar (s)												0.87	8.89	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												15	156	
Coeficiente de variación (c.v.)												5.40%	5.40%	



7.2. Resistencia a compresión axial de unidades de concreto a edad de 7 días:

Ensayo a compresión axial de unidades con 0% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especímen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
CP-7	240.10	240.10	240.10	131.00	131.50	131.25	82.70	82.30	82.50	6.324	68.5	0.032	21.66	220.86
CP-8	240.40	240.30	240.35	131.30	131.50	131.40	81.70	81.50	81.60	6.285	69.3	0.032	21.86	222.95
CP-9	240.50	240.30	240.40	131.20	131.20	131.20	81.70	81.80	81.75	6.274	71.5	0.032	22.59	230.33
CP-10	240.50	240.30	240.40	131.10	131.20	131.15	81.60	81.40	81.50	6.376	73.8	0.032	23.32	237.83
CP-11	240.50	240.50	240.50	131.70	131.60	131.65	81.40	81.50	81.45	6.398	69.5	0.032	21.87	223.03
CP-12	240.50	240.40	240.45	131.20	131.30	131.25	82.30	81.60	81.95	6.264	72.5	0.032	22.89	233.42
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												22.37	228.07	
Desviación estándar (s)												0.67	6.82	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												22	221	
Coeficiente de variación (c.v.)												2.99%	2.99%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 5% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especímen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A5-7	240.10	240.15	240.13	131.40	131.35	131.38	82.60	81.90	82.25	6.387	78.5	0.032	24.79	252.83
A5-8	240.50	240.40	240.45	131.40	131.40	131.40	81.80	81.60	81.70	6.318	81.5	0.032	25.70	262.09
A5-9	240.30	240.20	240.25	131.30	131.20	131.25	81.80	82.70	82.25	6.313	83.1	0.032	26.26	267.76
A5-10	240.10	240.30	240.20	131.10	131.20	131.15	81.60	81.70	81.65	6.353	77.3	0.032	24.45	249.32
A5-11	240.10	240.20	240.15	131.20	131.20	131.20	81.60	81.80	81.70	6.301	75.0	0.032	23.72	241.86
A5-12	240.20	240.10	240.15	131.30	131.40	131.35	81.50	81.60	81.55	6.411	77.1	0.032	24.34	248.18
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												24.88	253.68	
Desviación estándar (s)												0.94	9.58	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												24	244	
Coeficiente de variación (c.v.)												3.78%	3.78%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 10% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

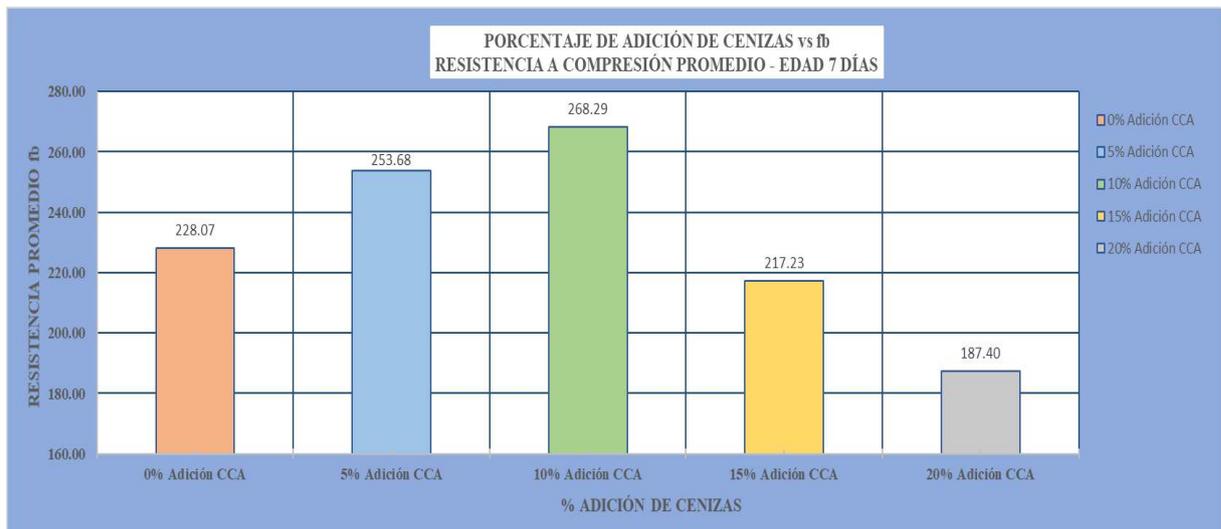
Especímen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A10-7	240.10	240.20	240.15	131.20	131.30	131.25	80.50	81.70	81.10	6.363	82.5	0.032	26.08	265.94
A10-8	240.30	240.10	240.20	131.10	131.20	131.15	80.70	81.80	81.25	6.372	81.0	0.032	25.62	261.25
A10-9	240.20	240.30	240.25	131.30	131.30	131.30	81.70	81.70	81.70	6.279	83.0	0.032	26.22	267.34
A10-10	240.10	240.20	240.15	131.10	131.20	131.15	82.10	81.80	81.95	6.599	81.8	0.031	25.88	263.89
A10-11	240.60	240.40	240.50	131.10	131.20	131.15	81.90	81.80	81.85	6.410	86.7	0.032	27.39	279.29
A10-12	240.50	240.40	240.45	131.30	131.20	131.25	81.80	81.80	81.80	6.440	84.5	0.032	26.68	272.05
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												26.31	268.29	
Desviación estándar (s)												0.64	6.49	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												26	262	
Coeficiente de variación (c.v.)												2.42%	2.42%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 15% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especimen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A15-7	240.20	240.20	240.20	131.20	131.30	131.25	81.30	81.20	81.25	6.135	67.3	0.032	21.27	216.90
A15-8	240.50	240.40	240.45	131.50	131.70	131.60	81.40	82.30	81.85	6.236	68.5	0.032	21.57	219.95
A15-9	240.50	240.50	240.50	131.50	131.70	131.60	82.40	82.50	82.45	6.279	69.0	0.032	21.72	221.51
A15-10	240.50	240.40	240.45	131.50	131.40	131.45	81.30	81.40	81.35	6.155	66.0	0.032	20.81	212.17
A15-11	240.40	240.40	240.40	131.40	131.60	131.50	81.30	81.30	81.30	6.181	63.0	0.032	19.86	202.49
A15-12	240.40	240.50	240.45	131.30	132.10	131.70	81.80	81.60	81.70	6.138	71.8	0.032	22.59	230.37
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												21.30	217.23	
Desviación estándar (s)												0.92	9.40	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												20	208	
Coeficiente de variación (c.v.)												4.33%	4.33%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 20% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especimen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A20-7	240.30	240.20	240.25	131.20	131.10	131.15	81.60	81.80	81.70	6.100	58.4	0.032	18.47	188.32
A20-8	240.50	240.40	240.45	131.70	131.40	131.55	81.40	81.20	81.30	6.107	60.0	0.032	18.90	192.73
A20-9	240.40	240.40	240.40	131.40	131.40	131.40	81.60	81.50	81.55	6.111	63.0	0.032	19.87	202.64
A20-10	240.30	240.40	240.35	131.50	131.30	131.40	81.10	81.30	81.20	6.090	54.2	0.032	17.10	174.37
A20-11	240.60	240.40	240.50	131.40	131.50	131.45	82.10	82.50	82.30	6.002	58.1	0.032	18.31	186.67
A20-12	240.50	240.40	240.45	131.60	131.80	131.70	81.30	81.40	81.35	6.016	56.0	0.032	17.62	179.68
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												18.38	187.40	
Desviación estándar (s)												0.97	9.91	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												17	177	
Coeficiente de variación (c.v.)												5.29%	5.29%	



7.3. Resistencia a compresión axial de unidades de concreto a edad de 14 días:

Ensayo a compresión axial de unidades con 0% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especimen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
CP-13	240.10	240.20	240.15	131.50	131.10	131.30	81.60	81.80	81.70	6.149	83.0	0.032	26.23	267.45
CP-14	240.10	240.20	240.15	131.20	131.40	131.30	81.60	81.70	81.65	6.242	79.5	0.032	25.12	256.17
CP-15	240.20	240.30	240.25	131.30	131.50	131.40	81.60	81.80	81.70	6.289	80.0	0.032	25.25	257.48
CP-16	240.10	240.10	240.10	131.50	131.10	131.30	81.70	81.90	81.80	6.291	83.0	0.032	26.23	267.51
CP-17	240.10	240.10	240.10	131.10	131.30	131.20	81.70	81.90	81.80	6.287	77.7	0.032	24.58	250.62
CP-18	240.40	240.10	240.25	131.40	131.30	131.35	81.70	81.90	81.80	6.127	78.5	0.032	24.79	252.75
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												25.37	258.66	
Desviación estándar (s)												0.71	7.25	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												25	251	
Coeficiente de variación (c.v.)												2.80%	2.80%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 5% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especímen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A5 -13	240.10	240.10	240.10	131.40	131.50	131.45	81.60	81.80	81.70	6.266	81.8	0.032	25.82	263.34
A5 -14	240.10	240.10	240.10	131.20	131.30	131.25	81.70	81.80	81.75	6.288	83.5	0.032	26.40	269.22
A5 -15	240.10	240.10	240.10	131.20	131.20	131.20	81.50	81.60	81.55	6.280	80.3	0.032	25.40	259.00
A5 -16	240.10	240.50	240.30	131.10	131.10	131.10	81.70	81.80	81.75	6.290	78.1	0.032	24.70	251.86
A5 -17	240.10	240.10	240.10	131.20	131.40	131.30	81.40	81.80	81.60	6.308	86.5	0.032	27.34	278.79
A5 -18	240.20	240.20	240.20	131.30	131.20	131.25	81.70	81.90	81.80	6.203	79.5	0.032	25.13	256.22
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												25.80	263.07	
Desviación estándar (s)												0.96	9.74	
Resistencia a la compresión característica (f'_{cb})												25	253	
Coeficiente de variación (c.v.)												3.70%	3.70%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 10% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

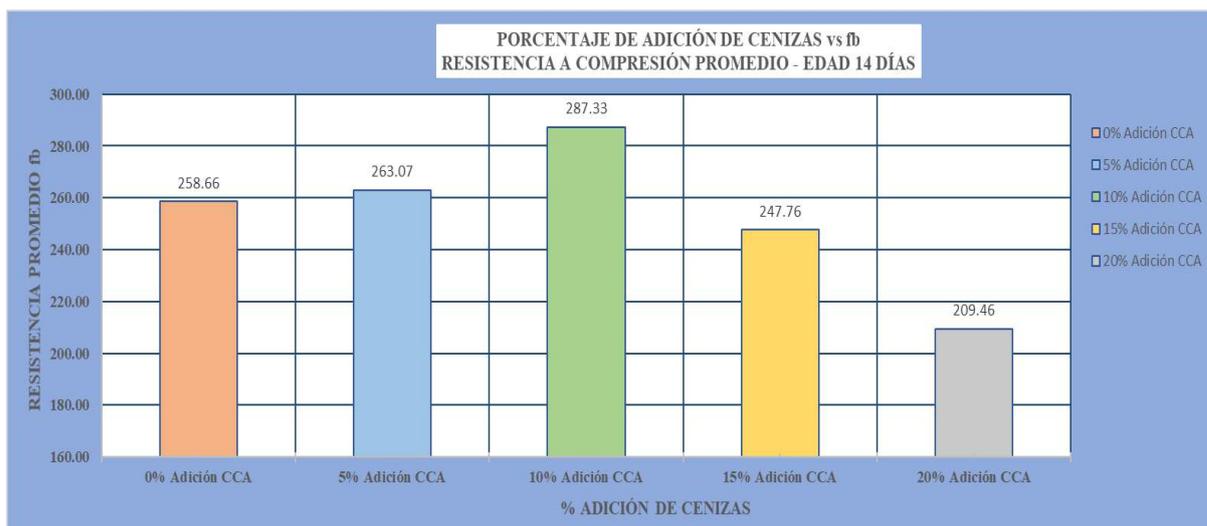
Especímen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A10 -13	240.20	240.50	240.35	131.50	131.50	131.50	81.40	81.20	81.30	6.403	89.5	0.032	28.22	287.72
A10 -14	240.30	240.20	240.25	132.00	132.00	132.00	81.50	81.80	81.65	6.368	86.8	0.032	27.27	278.10
A10 -15	240.50	240.40	240.45	131.40	131.20	131.30	81.70	81.50	81.60	6.390	91.5	0.032	28.88	294.47
A10 -16	240.20	240.60	240.40	131.60	131.60	131.60	81.60	81.80	81.70	6.452	92.2	0.032	29.04	296.11
A10 -17	240.50	240.10	240.30	131.60	131.80	131.70	81.90	81.90	81.90	6.424	85.0	0.032	26.76	272.89
A10 -18	240.50	240.60	240.55	131.10	131.20	131.15	81.40	81.30	81.35	6.252	91.5	0.032	28.90	294.69
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												28.18	287.33	
Desviación estándar (s)												0.96	9.76	
Resistencia a la compresión característica (f'_{cb})												27	278	
Coeficiente de variación (c.v.)												3.40%	3.40%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 15% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especímen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A15 -13	240.30	240.20	240.25	131.30	131.30	131.30	82.50	82.40	82.45	6.205	82.0	0.032	25.90	264.12
A15 -14	240.40	240.50	240.45	131.45	131.25	131.35	82.25	82.10	82.18	6.113	76.3	0.032	24.07	245.46
A15 -15	240.30	240.40	240.35	131.60	131.70	131.65	81.60	81.60	81.60	6.295	77.5	0.032	24.40	248.86
A15 -16	240.30	240.30	240.30	131.50	131.40	131.45	81.50	81.20	81.35	6.155	75.5	0.032	23.82	242.86
A15 -17	240.40	240.30	240.35	131.30	131.40	131.35	81.70	81.80	81.75	6.233	78.0	0.032	24.62	251.04
A15 -18	240.70	240.70	240.70	131.50	131.60	131.55	81.50	81.40	81.45	6.208	73.0	0.032	22.97	234.25
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												24.30	247.76	
Desviación estándar (s)												0.97	9.92	
Resistencia a la compresión característica (f'_{cb})												23	238	
Coeficiente de variación (c.v.)												4.00%	4.00%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 20% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especímen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A20 -13	240.20	240.20	240.20	131.50	131.50	131.50	81.70	81.70	81.70	6.089	63.5	0.032	20.03	204.26
A20 -14	240.20	240.30	240.25	131.60	131.60	131.60	81.70	81.70	81.70	6.065	68.5	0.032	21.59	220.13
A20 -15	240.00	240.10	240.05	131.60	131.70	131.65	81.50	81.50	81.50	6.032	67.0	0.032	21.12	215.41
A20 -16	240.30	240.40	240.35	131.50	131.50	131.50	82.20	81.40	81.80	6.089	61.4	0.032	19.36	197.38
A20 -17	240.30	240.50	240.40	131.50	131.60	131.55	81.60	81.60	81.60	6.062	67.0	0.032	21.11	215.26
A20 -18	240.60	240.60	240.60	131.60	131.70	131.65	81.40	81.40	81.40	6.107	63.7	0.032	20.04	204.33
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												20.54	209.46	
Desviación estándar (s)												0.86	8.74	
Resistencia a la compresión característica (f'_{cb})												20	201	
Coeficiente de variación (c.v.)												4.17%	4.17%	



7.4. Resistencia a compresión axial de unidades de concreto a edad de 28 días:

Ensayo a compresión axial de unidades con 0% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especimen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
CP-19	240.30	240.30	240.30	131.50	131.50	131.50	81.60	81.70	81.65	6.308	80.3	0.032	25.32	258.20
CP-20	240.30	240.20	240.25	131.50	131.20	131.35	81.50	81.50	81.50	6.190	78.6	0.032	24.82	253.07
CP-21	240.20	240.40	240.30	131.40	131.40	131.40	81.80	81.90	81.85	6.273	82.4	0.032	26.00	265.15
CP-22	240.20	240.10	240.15	131.20	131.30	131.25	81.70	81.50	81.60	6.306	86.2	0.032	27.25	277.87
CP-23	240.20	240.20	240.20	131.50	131.30	131.40	82.20	82.40	82.30	6.246	85.5	0.032	26.99	275.24
CP-24	240.20	240.20	240.20	131.20	131.40	131.30	81.70	81.80	81.75	6.278	80.7	0.032	25.50	259.99
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												25.98	264.92	
Desviación estándar (s)												0.97	9.84	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												25	255	
Coeficiente de variación (c.v.)												3.71%	3.71%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 5% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especimen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A5 -19	240.10	240.10	240.10	131.30	131.10	131.20	81.70	81.80	81.75	6.306	82.9	0.032	26.22	267.39
A5 -20	240.20	240.20	240.20	131.20	131.20	131.20	81.60	81.50	81.55	6.340	84.0	0.032	26.56	270.82
A5 -21	240.20	240.20	240.20	131.20	131.30	131.25	81.50	81.50	81.50	6.322	84.1	0.032	26.58	271.04
A5 -22	240.20	240.20	240.20	131.40	131.50	131.45	81.60	81.60	81.60	6.233	86.3	0.032	27.23	277.71
A5 -23	240.30	240.30	240.30	131.20	131.30	131.25	81.60	81.40	81.50	6.251	91.0	0.032	28.75	293.16
A5 -24	240.30	240.30	240.30	131.40	131.50	131.45	81.50	81.60	81.55	6.304	83.8	0.032	26.43	269.55
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												26.96	274.95	
Desviación estándar (s)												0.94	9.57	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												26	265	
Coeficiente de variación (c.v.)												3.48%	3.48%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 10% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

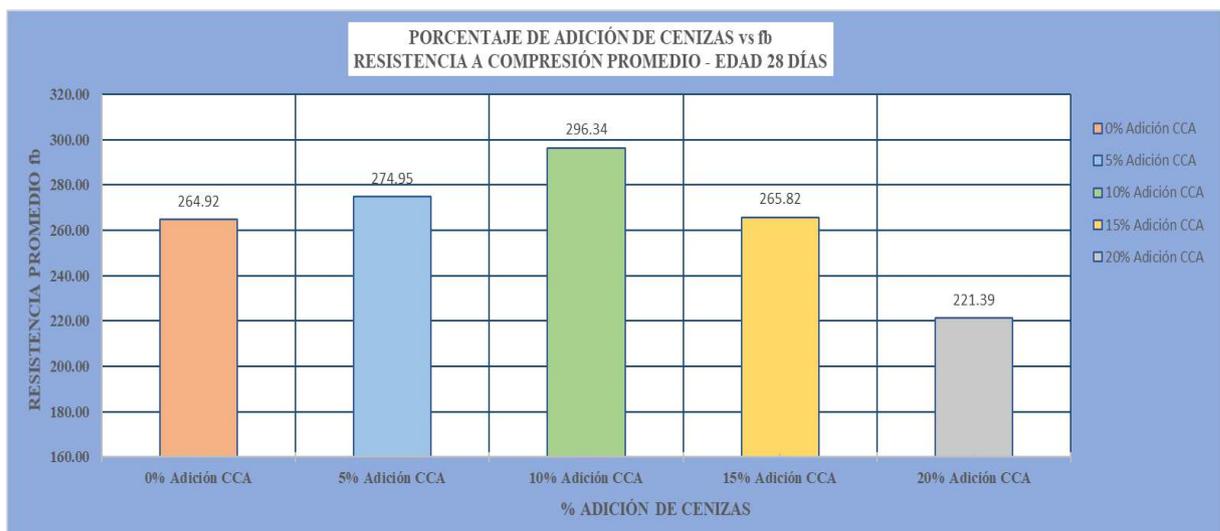
Especimen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A10 -19	240.10	240.20	240.15	131.10	131.20	131.15	81.80	81.60	81.70	6.291	87.9	0.031	27.81	283.57
A10 -20	240.30	240.40	240.35	131.10	131.20	131.15	81.90	81.80	81.85	6.310	94.0	0.032	29.71	302.99
A10 -21	240.50	240.70	240.60	131.30	131.20	131.25	81.80	81.80	81.80	6.320	89.5	0.032	28.24	287.97
A10 -22	240.80	240.60	240.70	131.10	131.30	131.20	81.90	81.80	81.85	6.368	94.0	0.032	29.66	302.44
A10 -23	240.40	240.20	240.30	131.40	131.50	131.45	81.70	81.90	81.80	6.322	91.4	0.032	28.83	294.00
A10 -24	240.10	240.30	240.20	131.50	131.60	131.55	81.80	81.80	81.80	6.410	95.5	0.032	30.11	307.08
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												29.06	296.34	
Desviación estándar (s)												0.92	9.33	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												28	287	
Coeficiente de variación (c.v.)												3.15%	3.15%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 15% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especimen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A15 -19	240.10	240.10	240.10	131.30	131.10	131.20	81.70	81.80	81.75	6.060	82.5	0.032	26.10	266.10
A15 -20	240.20	240.20	240.20	131.20	131.20	131.20	81.60	81.50	81.55	6.122	81.0	0.032	25.61	261.15
A15 -21	240.20	240.20	240.20	131.20	131.30	131.25	81.50	81.50	81.50	6.176	86.1	0.032	27.21	277.49
A15 -22	240.20	240.20	240.20	131.40	131.50	131.45	81.60	81.60	81.60	6.158	83.5	0.032	26.35	268.70
A15 -23	240.30	240.30	240.30	131.20	131.30	131.25	81.60	81.40	81.50	6.180	78.2	0.032	24.71	251.92
A15 -24	240.30	240.30	240.30	131.40	131.50	131.45	81.50	81.60	81.55	6.048	83.8	0.032	26.43	269.55
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												26.07	265.82	
Desviación estándar (s)												0.85	8.64	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												25	257	
Coeficiente de variación (c.v.)												3.25%	3.25%	

Ensayo a compresión axial de unidades con 20% de adición de cenizas de cascarilla de arroz

Especimen	Largo (mm)		L. Prom. (mm)	Ancho (mm)		A. Prom. (mm)	Altura (mm)		H. Prom. (mm)	Peso (g)	Carga Máx. (Tn)	Área Neta (m ²)	f_b (Mpa)	f_b (kg/cm ²)
	L1	L2		A1	A2		H1	H2						
A20 -19	240.40	240.40	240.40	131.70	131.70	131.70	81.70	81.70	81.70	6.074	70.4	0.032	22.16	225.93
A20 -20	240.30	240.30	240.30	131.50	131.70	131.60	81.30	82.30	81.80	5.979	72.1	0.032	22.70	231.49
A20 -21	240.40	240.40	240.40	131.70	131.50	131.60	81.20	81.30	81.25	5.990	67.3	0.032	21.20	216.14
A20 -22	240.20	240.20	240.20	131.40	131.50	131.45	81.30	81.40	81.35	6.004	66.7	0.032	21.05	214.64
A20 -23	240.60	240.60	240.60	131.60	131.80	131.70	81.50	81.30	81.40	5.922	68.0	0.032	21.38	218.04
A20 -24	240.40	240.40	240.40	131.50	131.30	131.40	82.20	81.30	81.75	6.018	69.1	0.032	21.78	222.10
Resistencia a la compresión promedio (f_b)												21.71	221.39	
Desviación estándar (s)												0.63	6.44	
Resistencia a la compresión característica (f'_b)												21	215	
Coeficiente de variación (c.v.)												2.91%	2.91%	



8. Resistencia a compresión axial de pilas:

8.1. Resumen de dimensiones, esbeltez, esfuerzo promedio, modo de falla y módulo de elasticidad

Código pila	Adición %	Ancho Promedio (mm)	Longitud Promedio (mm)	Altura Promedio (mm)	Esbeltez (H/A)	Área (cm ²)	Carga (Tn)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Factor de Corrección	Esfuerzo corregido (kg/cm ²)	Esfuerzo Promedio (kg/cm ²)	Modo de falla	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)
P0-1	0	131.22	240.20	280.20	2.14	315.19	55.00	174.50	0.75	130.69	129.92	1	24234.93
P0-2	0	131.83	240.35	280.25	2.13	316.85	59.00	186.21	0.75	139.21		1	
P0-3	0	131.98	240.25	280.25	2.12	317.08	50.05	157.85	0.75	117.95		3	
P0-4	0	131.97	240.05	280.75	2.13	316.78	54.00	170.46	0.75	127.48		3	
P0-5	0	132.00	240.30	280.10	2.12	317.18	57.00	179.71	0.75	134.26		3	
P5-1	5	131.86	240.25	280.55	2.13	316.78	62.50	197.30	0.75	147.55	142.88	3	25761.90
P5-2	5	131.97	240.40	280.70	2.13	317.26	56.40	177.77	0.75	132.94		2	
P5-3	5	132.04	240.20	280.80	2.13	317.16	60.00	189.18	0.75	141.45		2	
P5-4	5	131.21	240.25	280.55	2.14	315.22	58.00	184.00	0.75	137.88		3	
P5-5	5	131.89	240.15	280.20	2.12	316.72	65.50	206.81	0.75	154.58		3	
P10-1	10	131.98	240.20	280.30	2.12	317.00	71.00	223.97	0.75	167.38	161.62	7	27996.00
P10-2	10	131.94	240.20	280.25	2.12	316.92	69.30	218.67	0.75	163.43		7	
P10-3	10	131.99	240.10	280.55	2.13	316.91	68.40	215.84	0.75	161.35		3	
P10-4	10	131.93	240.15	280.40	2.13	316.83	66.00	208.31	0.75	155.73		2	
P10-5	10	132.00	240.25	280.20	2.12	317.13	68.00	214.42	0.75	160.21		3	
P15-1	15	131.18	240.30	280.55	2.14	315.21	59.50	188.76	0.75	141.46	129.20	2	27789.47
P15-2	15	131.91	240.25	280.15	2.12	316.91	53.50	168.82	0.75	126.16		2	
P15-3	15	130.94	240.25	280.85	2.14	314.57	51.50	163.71	0.75	122.83		2	
P15-4	15	131.59	240.40	280.80	2.13	316.33	53.00	167.55	0.75	125.45		7	
P15-5	15	130.94	240.00	280.70	2.14	314.26	54.50	173.43	0.75	130.09		7	
P20-1	20	132.00	240.25	280.25	2.12	317.12	42.50	134.02	0.75	100.15	99.29	3	23659.57
P20-2	20	131.69	240.35	280.00	2.13	316.52	42.00	132.69	0.75	99.21		7	
P20-3	20	131.95	240.40	280.15	2.12	317.20	44.50	140.29	0.75	104.83		7	
P20-4	20	131.78	240.40	280.45	2.13	316.80	42.00	132.58	0.75	99.16		2	
P20-5	20	131.90	240.45	280.30	2.13	317.15	39.50	124.55	0.75	93.10		7	

8.2. Ensayo a compresión axial de pilas con 0% de adición de cenizas de cascarilla de arroz a edad de 28 días

Especimen	Dimensiones			Esbeltez (H/A)	P máx. (TN)	Área (cm ²)	f_m (MPa)	Factor Corrección	f_m Corregido (MPa)	f_m Corregido (Kg/cm ²)	
	L (mm)	A (mm)	H (mm)								
P0-1	240.20	131.22	280.20	2.14	55.0	315.19	17.11	0.749	12.82	130.69	
P0-2	240.35	131.83	280.25	2.13	59.0	316.85	18.26	0.748	13.65	139.21	
P0-3	240.25	131.98	280.25	2.12	50.1	317.08	15.48	0.747	11.57	117.96	
P0-4	240.05	131.97	280.75	2.13	54.0	316.78	16.72	0.748	12.50	127.48	
P0-5	240.30	132.00	280.10	2.12	57.0	317.18	17.62	0.747	13.17	134.26	
									f_m :	12.74	129.92
									Desviación s :	0.78	7.98
									f'_m :	11.96	121.94
									c.v. :	6.14%	6.14%

8.3. Ensayo a compresión axial de pilas con 5% de adición de cenizas de cascarilla de arroz a edad de 28 días

Especimen	Dimensiones			Esbeltez (H/A)	P máx. (TN)	Área (cm ²)	f_m (MPa)	Factor Corrección	f_m Corregido (MPa)	f_m Corregido (Kg/cm ²)	
	L (mm)	A (mm)	H (mm)								
P5-1	240.25	131.86	280.55	2.13	62.5	316.78	19.35	0.748	14.47	147.55	
P5-2	240.40	131.97	280.70	2.13	56.4	317.26	17.43	0.748	13.04	132.94	
P5-3	240.20	132.04	280.80	2.13	60.0	317.16	18.55	0.748	13.87	141.45	
P5-4	240.25	131.21	280.55	2.14	58.0	315.22	18.04	0.749	13.52	137.88	
P5-5	240.15	131.89	280.20	2.12	65.5	316.72	20.28	0.747	15.16	154.58	
									f_m :	14.01	142.88
									Desviación s :	0.83	8.43
									f'_m :	13.18	134.45
									c.v. :	5.90%	5.90%

8.4. Ensayo a compresión axial de pilas con 10% de adición de cenizas de cascarilla de arroz a edad de 28 días

Especimen	Dimensiones			Esbeltéz (H/A)	P máx. (TN)	Área (cm ²)	f_m (MPa)	Factor Corrección	f_m Corregido (MPa)	f_m Corregido (Kg/cm ²)
	L (mm)	A (mm)	H (mm)							
P10-1	240.20	131.98	280.30	2.12	71.0	317.00	21.96	0.747	16.41	167.38
P10-2	240.20	131.94	280.25	2.12	69.3	316.92	21.44	0.747	16.03	163.43
P10-3	240.10	131.99	280.55	2.13	68.4	316.91	21.17	0.748	15.82	161.35
P10-4	240.15	131.93	280.40	2.13	66.0	316.83	20.43	0.748	15.27	155.73
P10-5	240.25	132.00	280.20	2.12	68.0	317.13	21.03	0.747	15.71	160.21
f_m :									15.85	161.62
Desviación s :									0.42	4.28
f'_m :									15.43	157.34
c.v. :									2.65%	2.65%

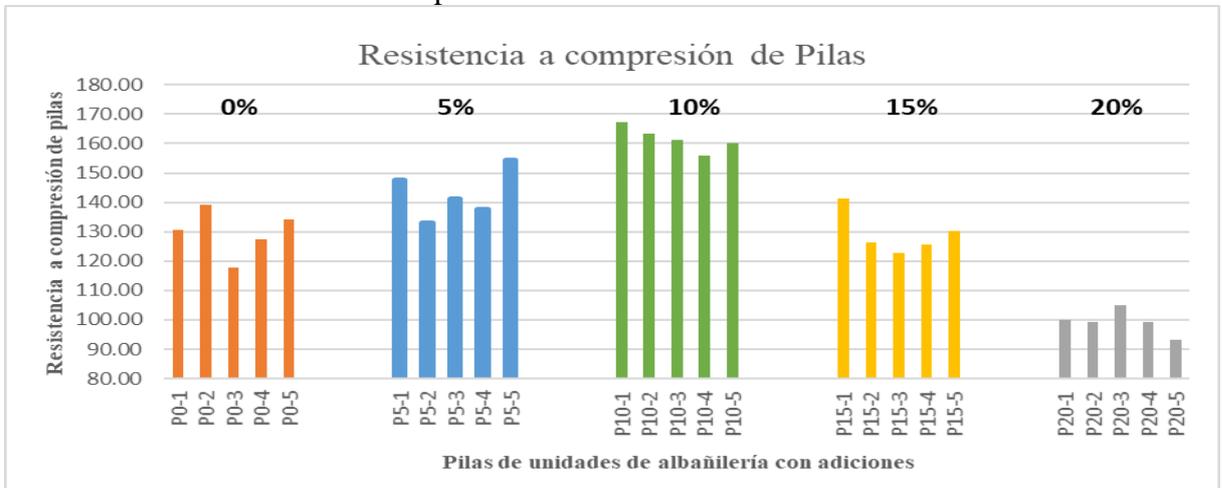
8.5. Ensayo a compresión axial de pilas con 15% de adición de cenizas de cascarilla de arroz a edad de 28 días

Especimen	Dimensiones			Esbeltéz (H/A)	P máx. (TN)	Área (cm ²)	f_m (MPa)	Factor Corrección	f_m Corregido (MPa)	f_m Corregido (Kg/cm ²)
	L (mm)	A (mm)	H (mm)							
P15-1	240.30	131.18	280.55	2.14	59.5	315.21	18.51	0.749	13.87	141.46
P15-2	240.25	131.91	280.15	2.12	53.5	316.91	16.56	0.747	12.37	126.16
P15-3	240.25	130.94	280.85	2.14	51.5	314.57	16.05	0.750	12.05	122.83
P15-4	240.40	131.59	280.80	2.13	53.0	316.33	16.43	0.749	12.30	125.45
P15-5	240.00	130.94	280.70	2.14	54.5	314.26	17.01	0.750	12.76	130.09
f_m :									12.67	129.20
Desviación s :									0.72	7.33
f'_m :									11.95	121.87
c.v. :									5.67%	5.67%

8.6. Ensayo a compresión axial de pilas con 20% de adición de cenizas de cascarilla de arroz a edad de 28 días

Especimen	Dimensiones			Esbeltéz (H/A)	P máx. (TN)	Área (cm ²)	f_m (MPa)	Factor Corrección	f_m Corregido (MPa)	f_m Corregido (Kg/cm ²)
	L (mm)	A (mm)	H (mm)							
P20-1	240.25	132.00	280.25	2.12	42.5	317.12	13.14	0.747	9.82	100.15
P20-2	240.35	131.69	280.00	2.13	42.0	316.52	13.01	0.748	9.73	99.21
P20-3	240.40	131.95	280.15	2.12	44.5	317.20	13.76	0.747	10.28	104.83
P20-4	240.40	131.78	280.45	2.13	42.0	316.80	13.00	0.748	9.72	99.16
P20-5	240.45	131.90	280.30	2.13	39.5	317.15	12.21	0.748	9.13	93.10
f_m :									9.74	99.29
Desviación s :									0.41	4.18
f'_m :									9.33	95.11
c.v. :									4.21%	4.21%

8.7. Gráfica de resistencia de pilas de unidades con diferentes adiciones.

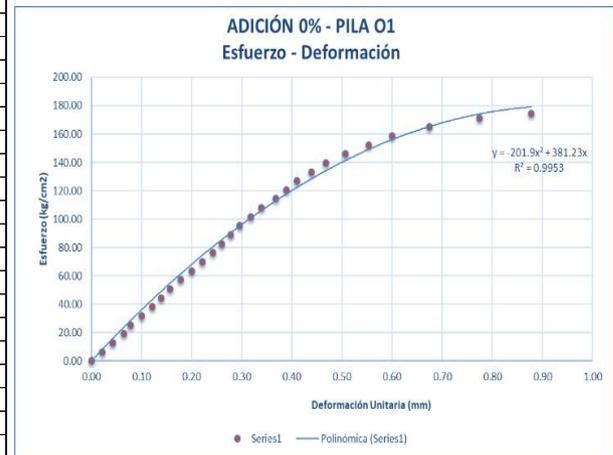


9. Módulo de elasticidad de pilas:

9.1. Carga, esfuerzo y deformación de pilas ladrillos con adición de 0%

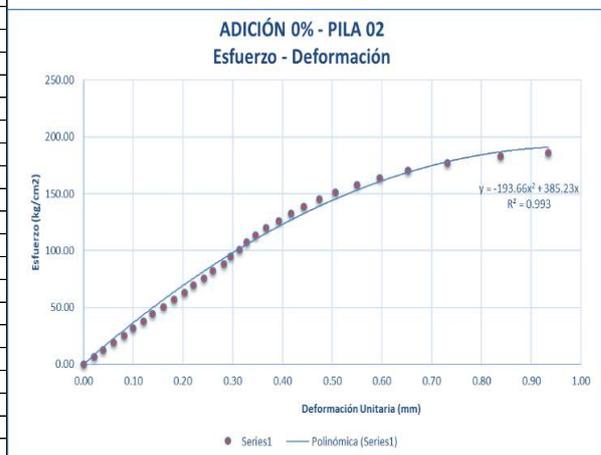
Pila 1 de ladrillos con 0% adición

ADICIÓN 0% - PILA - 01				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.06	0.02141	6.3454
4	4000	0.12	0.04283	12.6907
6	6000	0.18	0.06424	19.0361
8	8000	0.22	0.07852	25.3815
10	10000	0.28	0.09993	31.7269
12	12000	0.34	0.12134	38.0722
14	14000	0.39	0.13919	44.4176
16	16000	0.44	0.15703	50.7630
18	18000	0.50	0.17844	57.1083
20	20000	0.56	0.19986	63.4537
22	22000	0.62	0.22127	69.7991
24	24000	0.68	0.24268	76.1444
26	26000	0.73	0.26053	82.4898
28	28000	0.78	0.27837	88.8352
30	30000	0.83	0.29622	95.1806
32	32000	0.89	0.31763	101.5259
34	34000	0.95	0.33904	107.8713
36	36000	1.03	0.36759	114.2167
38	38000	1.09	0.38901	120.5620
40	40000	1.15	0.41042	126.9074
42	42000	1.23	0.43897	133.2528
44	44000	1.31	0.46752	139.5981
46	46000	1.42	0.50678	145.9435
48	48000	1.55	0.55318	152.2889
50	50000	1.68	0.59957	158.6343
52	52000	1.89	0.67452	164.9796
54	54000	2.17	0.77445	171.3250
55	55000	2.46	0.87794	174.4977



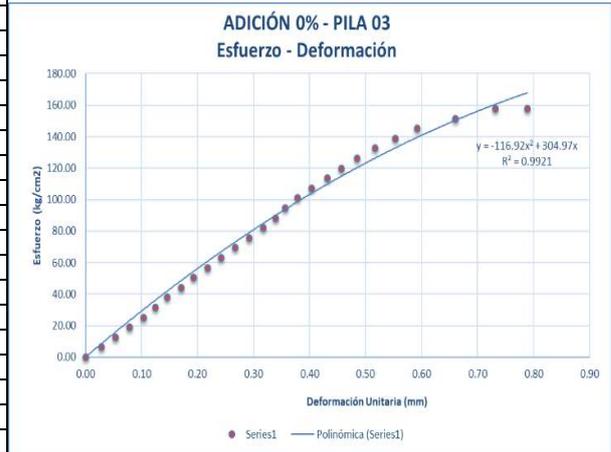
Pila 2 de ladrillos con 0% adición

Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.06	0.02141	6.3121
4	4000	0.11	0.03925	12.6241
6	6000	0.17	0.06066	18.9362
8	8000	0.23	0.08207	25.2483
10	10000	0.28	0.09991	31.5603
12	12000	0.34	0.12132	37.8724
14	14000	0.39	0.13916	44.1845
16	16000	0.45	0.16057	50.4965
18	18000	0.51	0.18198	56.8086
20	20000	0.57	0.20339	63.1207
22	22000	0.62	0.22123	69.4327
24	24000	0.68	0.24264	75.7448
26	26000	0.73	0.26048	82.0569
28	28000	0.79	0.28189	88.3689
30	30000	0.83	0.29616	94.6810
32	32000	0.88	0.31401	100.9931
34	34000	0.92	0.32828	107.3051
36	36000	0.97	0.34612	113.6172
38	38000	1.03	0.36753	119.9293
40	40000	1.10	0.39251	126.2413
42	42000	1.17	0.41748	132.5534
44	44000	1.24	0.44246	138.8655
46	46000	1.33	0.47458	145.1775
48	48000	1.42	0.50669	151.4896
50	50000	1.54	0.54951	157.8017
52	52000	1.67	0.59590	164.1137
54	54000	1.83	0.65299	170.4258
56	56000	2.05	0.73149	176.7379
58	58000	2.35	0.83854	183.0500
59	59000	2.62	0.93488	186.2060



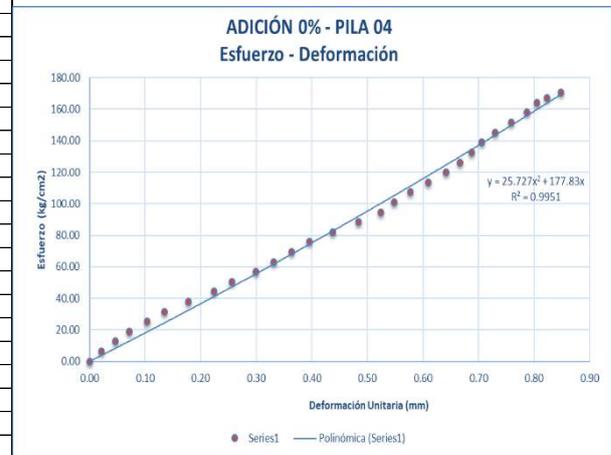
Pila 3 de ladrillos con 0% adición

ADICIÓN 0% - PILA 03				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.08	0.02855	6.3075
4	4000	0.15	0.05352	12.6150
6	6000	0.22	0.07850	18.9226
8	8000	0.29	0.10348	25.2301
10	10000	0.35	0.12489	31.5376
12	12000	0.41	0.14630	37.8451
14	14000	0.48	0.17128	44.1526
16	16000	0.54	0.19269	50.4601
18	18000	0.61	0.21766	56.7677
20	20000	0.68	0.24264	63.0752
22	22000	0.75	0.26762	69.3827
24	24000	0.82	0.29260	75.6902
26	26000	0.89	0.31757	81.9977
28	28000	0.95	0.33898	88.3052
30	30000	1.00	0.35682	94.6128
32	32000	1.06	0.37823	100.9203
34	34000	1.13	0.40321	107.2278
36	36000	1.21	0.43176	113.5353
38	38000	1.28	0.45674	119.8428
40	40000	1.36	0.48528	126.1504
42	42000	1.45	0.51740	132.4579
44	44000	1.55	0.55308	138.7654
46	46000	1.66	0.59233	145.0729
48	48000	1.85	0.66012	151.3804
50	50000	2.05	0.73149	157.6879
50.05	50050	2.21	0.78858	157.8456



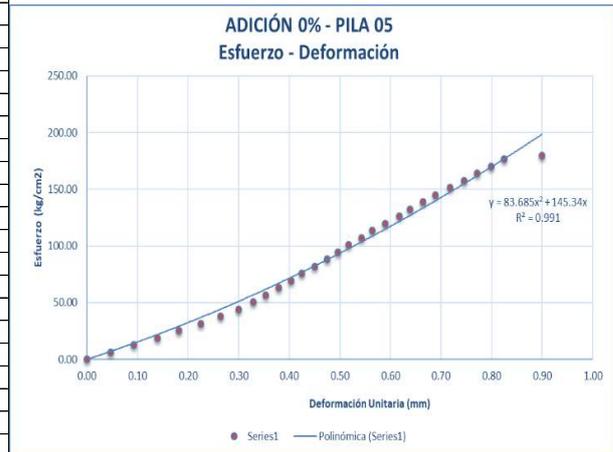
Pila 4 de ladrillos con 0% adición

ADICIÓN 0% - PILA 04				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.06	0.02137	6.3135
4	4000	0.13	0.04630	12.6270
6	6000	0.20	0.07124	18.9405
8	8000	0.29	0.10329	25.2540
10	10000	0.38	0.13535	31.5675
12	12000	0.50	0.17809	37.8809
14	14000	0.63	0.22440	44.1944
16	16000	0.72	0.25646	50.5079
18	18000	0.84	0.29920	56.8214
20	20000	0.93	0.33126	63.1349
22	22000	1.02	0.36331	69.4484
24	24000	1.11	0.39537	75.7619
26	26000	1.23	0.43811	82.0754
28	28000	1.36	0.48442	88.3889
30	30000	1.47	0.52360	94.7024
32	32000	1.54	0.54853	101.0158
34	34000	1.62	0.57703	107.3293
36	36000	1.71	0.60908	113.6428
38	38000	1.80	0.64114	119.9563
40	40000	1.87	0.66607	126.2698
42	42000	1.93	0.68744	132.5833
44	44000	1.98	0.70525	138.8968
46	46000	2.05	0.73019	145.2103
48	48000	2.13	0.75868	151.5238
50	50000	2.21	0.78718	157.8373
52	52000	2.26	0.80499	164.1507
53	53000	2.31	0.82280	167.3075
54	54000	2.38	0.84773	170.4642



Pila 5 de ladrillos con 0% adición

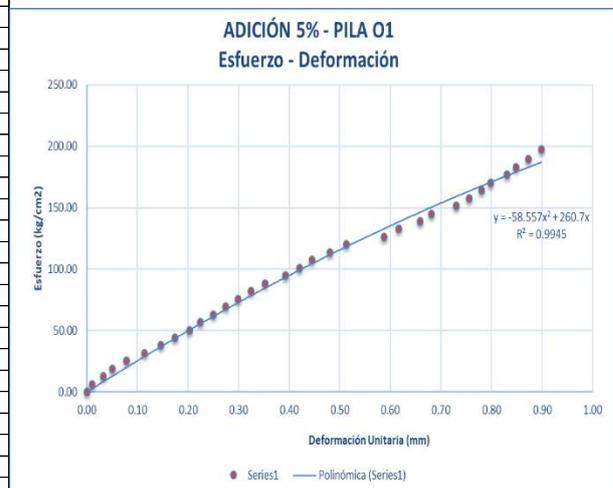
ADICIÓN 0% - PILA 05				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.13	0.04641	6.3055
4	4000	0.26	0.09282	12.6110
6	6000	0.39	0.13924	18.9165
8	8000	0.51	0.18208	25.2220
10	10000	0.63	0.22492	31.5274
12	12000	0.74	0.26419	37.8329
14	14000	0.84	0.29989	44.1384
16	16000	0.92	0.32845	50.4439
18	18000	0.99	0.35345	56.7494
20	20000	1.06	0.37844	63.0549
22	22000	1.13	0.40343	69.3604
24	24000	1.19	0.42485	75.6659
26	26000	1.26	0.44984	81.9714
28	28000	1.33	0.47483	88.2768
30	30000	1.39	0.49625	94.5823
32	32000	1.45	0.51767	100.8878
34	34000	1.52	0.54266	107.1933
36	36000	1.58	0.56408	113.4988
38	38000	1.65	0.58908	119.8043
40	40000	1.73	0.61764	126.1098
42	42000	1.79	0.63906	132.4153
44	44000	1.86	0.66405	138.7207
46	46000	1.93	0.68904	145.0262
48	48000	2.01	0.71760	151.3317
50	50000	2.09	0.74616	157.6372
52	52000	2.16	0.77115	163.9427
54	54000	2.24	0.79971	170.2482
56	56000	2.31	0.82471	176.5537
57	57000	2.52	0.89968	179.7064



9.2. Carga, esfuerzo y deformación de pilas ladrillos con adición de 5 % de CCA

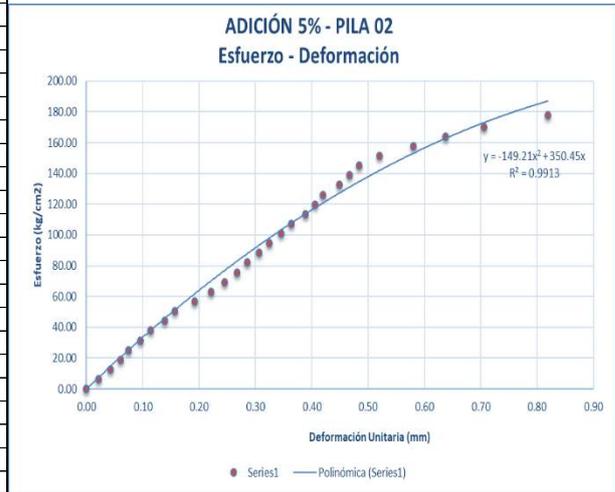
Pila 1 de ladrillos con 5 % adición

ADICIÓN 5% - PILA - 01				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.03	0.01069	6.3135
4	4000	0.09	0.03208	12.6270
6	6000	0.14	0.04990	18.9405
8	8000	0.22	0.07842	25.2540
10	10000	0.32	0.11406	31.5675
12	12000	0.41	0.14614	37.8810
14	14000	0.49	0.17466	44.1945
16	16000	0.57	0.20317	50.5080
18	18000	0.63	0.22456	56.8215
20	20000	0.70	0.24951	63.1350
22	22000	0.77	0.27446	69.4485
24	24000	0.84	0.29941	75.7620
26	26000	0.91	0.32436	82.0755
28	28000	0.99	0.35288	88.3890
30	30000	1.10	0.39209	94.7025
32	32000	1.18	0.42060	101.0160
34	34000	1.25	0.44555	107.3295
36	36000	1.35	0.48120	113.6430
38	38000	1.44	0.51328	119.9564
40	40000	1.65	0.58813	126.2699
42	42000	1.73	0.61665	132.5834
44	44000	1.85	0.65942	138.8969
46	46000	1.91	0.68081	145.2104
48	48000	2.05	0.73071	151.5239
50	50000	2.12	0.75566	157.8374
52	52000	2.19	0.78061	164.1509
54	54000	2.24	0.79843	170.4644
56	56000	2.33	0.83051	176.7779
58	58000	2.38	0.84833	183.0914
60	60000	2.45	0.87328	189.4049
62.5	62500	2.52	0.89824	197.2968



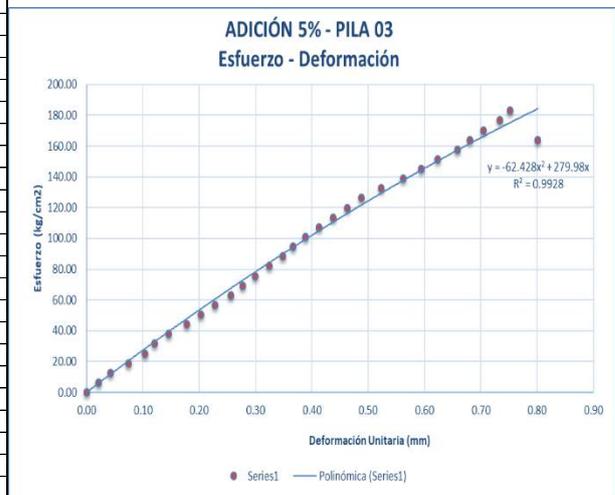
Pila 2 de ladrillos con 5 % adición

ADICIÓN 5% - PILA 02				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.06	0.02138	6.3041
4	4000	0.12	0.04275	12.6081
6	6000	0.17	0.06056	18.9122
8	8000	0.21	0.07481	25.2162
10	10000	0.27	0.09619	31.5203
12	12000	0.32	0.11400	37.8244
14	14000	0.39	0.13894	44.1284
16	16000	0.44	0.15675	50.4325
18	18000	0.54	0.19238	56.7365
20	20000	0.62	0.22088	63.0406
22	22000	0.69	0.24581	69.3447
24	24000	0.75	0.26719	75.6487
26	26000	0.80	0.28500	81.9528
28	28000	0.86	0.30638	88.2568
30	30000	0.91	0.32419	94.5609
32	32000	0.97	0.34556	100.8650
34	34000	1.02	0.36338	107.1690
36	36000	1.09	0.38831	113.4731
38	38000	1.14	0.40613	119.7771
40	40000	1.18	0.42038	126.0812
42	42000	1.26	0.44888	132.3853
44	44000	1.31	0.46669	138.6893
46	46000	1.36	0.48450	144.9934
48	48000	1.46	0.52013	151.2974
50	50000	1.63	0.58069	157.6015
52	52000	1.79	0.63769	163.9056
54	54000	1.98	0.70538	170.2096
56.4	56400	2.30	0.81938	177.7745



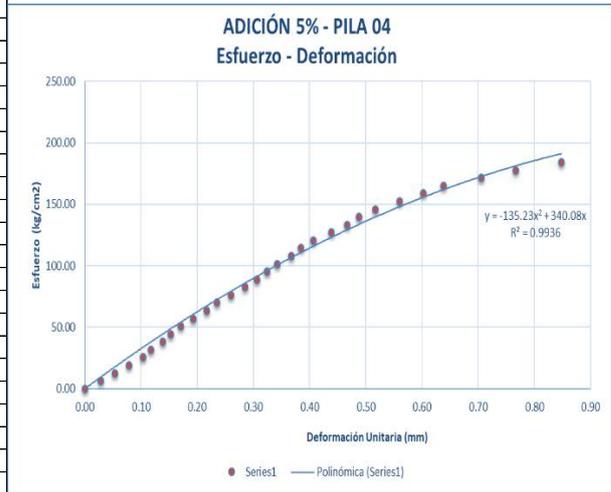
Pila 3 de ladrillos con 5 % adición

ADICIÓN 5% - PILA 03				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.06	0.02137	6.3060
4	4000	0.12	0.04274	12.6119
6	6000	0.21	0.07479	18.9179
8	8000	0.29	0.10328	25.2239
10	10000	0.34	0.12108	31.5298
12	12000	0.41	0.14601	37.8358
14	14000	0.50	0.17806	44.1417
16	16000	0.57	0.20299	50.4477
18	18000	0.64	0.22792	56.7537
20	20000	0.72	0.25641	63.0596
22	22000	0.78	0.27778	69.3656
24	24000	0.84	0.29915	75.6716
26	26000	0.91	0.32407	81.9775
28	28000	0.98	0.34900	88.2835
30	30000	1.03	0.36681	94.5895
32	32000	1.09	0.38818	100.8954
34	34000	1.16	0.41311	107.2014
36	36000	1.23	0.43803	113.5073
38	38000	1.30	0.46296	119.8133
40	40000	1.37	0.48789	126.1193
42	42000	1.47	0.52350	132.4252
44	44000	1.58	0.56268	138.7312
46	46000	1.67	0.59473	145.0372
48	48000	1.75	0.62322	151.3431
50	50000	1.85	0.65883	157.6491
52	52000	1.91	0.68020	163.9551
54	54000	1.98	0.70513	170.2610
56	56000	2.06	0.73362	176.5670
58	58000	2.11	0.75142	182.8730
60	60000	2.25	0.80128	163.9551



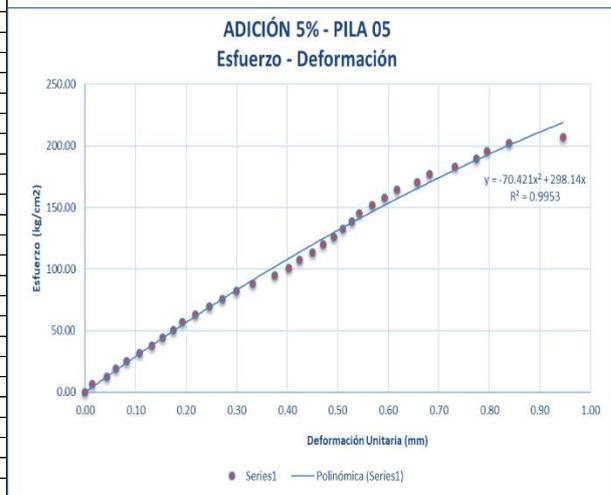
Pila 4 de ladrillos con 5 % adición

ADICIÓN 5% - PILA 04				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.08	0.02852	6.3448
4	4000	0.15	0.05347	12.6895
6	6000	0.22	0.07842	19.0343
8	8000	0.29	0.10337	25.3791
10	10000	0.33	0.11763	31.7239
12	12000	0.39	0.13901	38.0686
14	14000	0.43	0.15327	44.4134
16	16000	0.48	0.17109	50.7582
18	18000	0.54	0.19248	57.1030
20	20000	0.61	0.21743	63.4477
22	22000	0.66	0.23525	69.7925
24	24000	0.73	0.26020	76.1373
26	26000	0.80	0.28515	82.4821
28	28000	0.86	0.30654	88.8268
30	30000	0.91	0.32436	95.1716
32	32000	0.96	0.34218	101.5164
34	34000	1.03	0.36714	107.8612
36	36000	1.08	0.38496	114.2059
38	38000	1.14	0.40634	120.5507
40	40000	1.23	0.43842	126.8955
42	42000	1.31	0.46694	133.2403
44	44000	1.37	0.48833	139.5850
46	46000	1.45	0.51684	145.9298
48	48000	1.57	0.55962	152.2746
50	50000	1.69	0.60239	158.6194
52	52000	1.79	0.63803	164.9641
54	54000	1.98	0.70576	171.3089
56	56000	2.15	0.76635	177.6537
58	58000	2.38	0.84833	183.9985



Pila 5 de ladrillos con 5 % adición

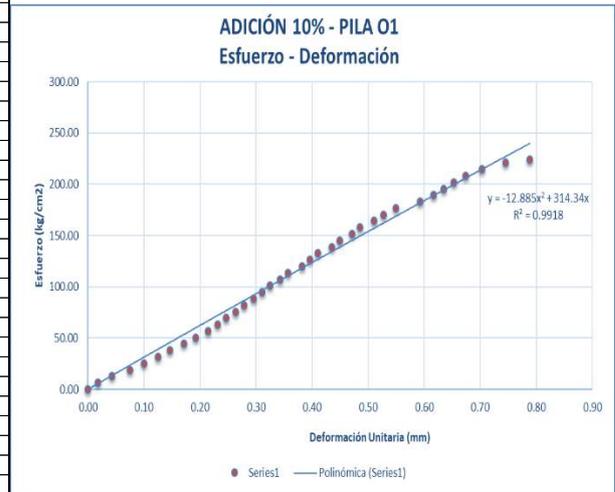
ADICIÓN 5% - PILA 05				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.04	0.01428	6.3147
4	4000	0.12	0.04283	12.6294
6	6000	0.17	0.06067	18.9441
8	8000	0.23	0.08208	25.2588
10	10000	0.30	0.10707	31.5734
12	12000	0.37	0.13205	37.8881
14	14000	0.43	0.15346	44.2028
16	16000	0.49	0.17488	50.5175
18	18000	0.54	0.19272	56.8322
20	20000	0.61	0.21770	63.1469
22	22000	0.69	0.24625	69.4616
24	24000	0.76	0.27123	75.7763
26	26000	0.84	0.29979	82.0910
28	28000	0.93	0.33191	88.4057
30	30000	1.05	0.37473	94.7203
32	32000	1.13	0.40328	101.0350
34	34000	1.19	0.42470	107.3497
36	36000	1.26	0.44968	113.6644
38	38000	1.32	0.47109	119.9791
40	40000	1.38	0.49251	126.2938
42	42000	1.43	0.51035	132.6085
44	44000	1.48	0.52819	138.9232
46	46000	1.52	0.54247	145.2379
48	48000	1.59	0.56745	151.5525
50	50000	1.66	0.59243	157.8672
52	52000	1.73	0.61742	164.1819
54	54000	1.84	0.65667	170.4966
56	56000	1.91	0.68166	176.8113
58	58000	2.05	0.73162	183.1260
60	60000	2.17	0.77445	189.4407
62	62000	2.23	0.79586	195.7554
64	64000	2.35	0.83869	202.0701
65.5	65500	2.65	0.94575	206.8061



9.3. Carga, esfuerzo y deformación de pilas ladrillos con adición de 10% de CCA

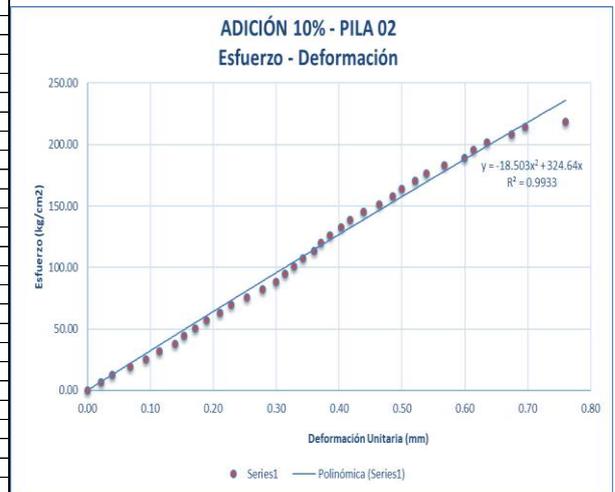
Pila 1 de ladrillos con 10 % adición

ADICIÓN 10% - PILA - 01				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.05	0.01784	6.3091
4	4000	0.12	0.04281	12.6181
6	6000	0.21	0.07492	18.9272
8	8000	0.28	0.09989	25.2363
10	10000	0.35	0.12487	31.5453
12	12000	0.41	0.14627	37.8544
14	14000	0.48	0.17125	44.1635
16	16000	0.54	0.19265	50.4726
18	18000	0.60	0.21406	56.7816
20	20000	0.65	0.23189	63.0907
22	22000	0.69	0.24616	69.3998
24	24000	0.74	0.26400	75.7088
26	26000	0.78	0.27827	82.0179
28	28000	0.83	0.29611	88.3270
30	30000	0.87	0.31038	94.6360
32	32000	0.91	0.32465	100.9451
34	34000	0.96	0.34249	107.2542
36	36000	1.00	0.35676	113.5633
38	38000	1.07	0.38173	119.8723
40	40000	1.11	0.39600	126.1814
42	42000	1.15	0.41027	132.4905
44	44000	1.22	0.43525	138.7995
46	46000	1.26	0.44952	145.1086
48	48000	1.32	0.47092	151.4177
50	50000	1.36	0.48519	157.7267
52	52000	1.43	0.51017	164.0358
54	54000	1.48	0.52801	170.3449
56	56000	1.54	0.54941	176.6540
58	58000	1.66	0.59222	182.9630
60	60000	1.73	0.61720	189.2721
62	62000	1.78	0.63503	195.5812
64	64000	1.83	0.65287	201.8902
66	66000	1.89	0.67428	208.1993
68	68000	1.97	0.70282	214.5084
70	70000	2.09	0.74563	220.8174
71	71000	2.21	0.78844	223.9720



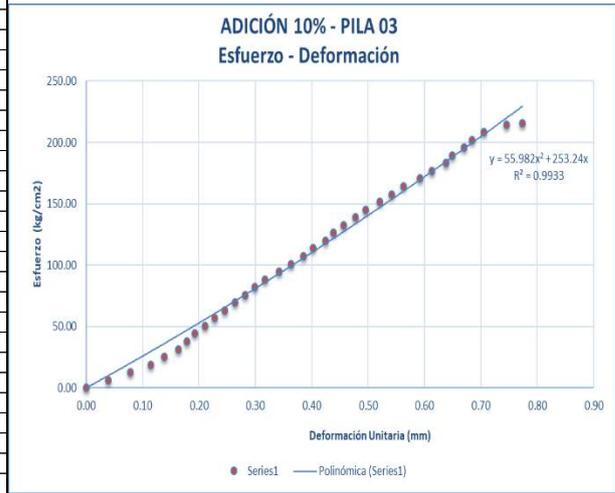
Pila 2 de ladrillos con 10 % adición

ADICIÓN 10% - PILA 02				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.06	0.02141	6.3107
4	4000	0.11	0.03925	12.6215
6	6000	0.19	0.06780	18.9322
8	8000	0.26	0.09277	25.2430
10	10000	0.32	0.11418	31.5537
12	12000	0.39	0.13916	37.8645
14	14000	0.43	0.15343	44.1752
16	16000	0.48	0.17128	50.4859
18	18000	0.53	0.18912	56.7967
20	20000	0.59	0.21053	63.1074
22	22000	0.64	0.22837	69.4182
24	24000	0.71	0.25335	75.7289
26	26000	0.78	0.27832	82.0397
28	28000	0.84	0.29973	88.3504
30	30000	0.88	0.31401	94.6611
32	32000	0.92	0.32828	100.9719
34	34000	0.96	0.34255	107.2826
36	36000	1.01	0.36039	113.5933
38	38000	1.04	0.37110	119.9041
40	40000	1.08	0.38537	126.2149
42	42000	1.13	0.40321	132.5256
44	44000	1.17	0.41748	138.8363
46	46000	1.23	0.43889	145.1471
48	48000	1.30	0.46387	151.4578
50	50000	1.36	0.48528	157.7686
52	52000	1.40	0.49955	164.0793
54	54000	1.46	0.52096	170.3901
56	56000	1.51	0.53880	176.7008
58	58000	1.59	0.56735	183.0116
60	60000	1.68	0.59946	189.3223
62	62000	1.72	0.61374	195.6330
64	64000	1.78	0.63515	201.9438
66	66000	1.89	0.67440	208.2545
68	68000	1.95	0.69581	214.5653
69.3	69300	2.13	0.76004	218.6673



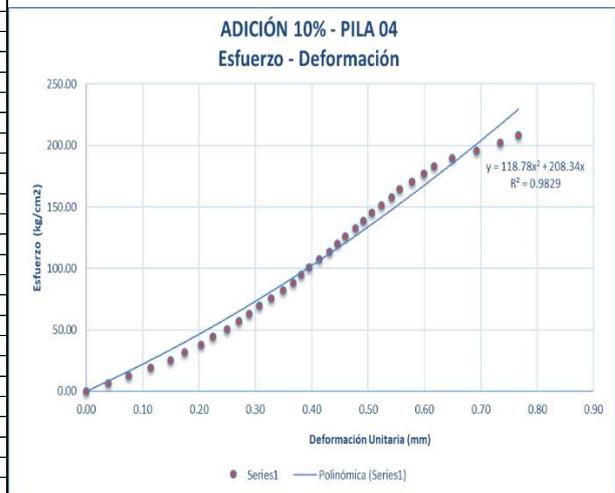
Pila 3 de ladrillos con 10 % adición

ADICIÓN 10% - PILA 03				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.11	0.03921	6.3110
4	4000	0.22	0.07842	12.6220
6	6000	0.32	0.11406	18.9329
8	8000	0.39	0.13901	25.2439
10	10000	0.46	0.16396	31.5549
12	12000	0.50	0.17822	37.8659
14	14000	0.54	0.19248	44.1769
16	16000	0.59	0.21030	50.4878
18	18000	0.64	0.22812	56.7988
20	20000	0.69	0.24595	63.1098
22	22000	0.74	0.26377	69.4208
24	24000	0.79	0.28159	75.7318
26	26000	0.84	0.29941	82.0427
28	28000	0.89	0.31723	88.3537
30	30000	0.96	0.34218	94.6647
32	32000	1.02	0.36357	100.9757
34	34000	1.08	0.38496	107.2867
36	36000	1.13	0.40278	113.5976
38	38000	1.19	0.42417	119.9086
40	40000	1.23	0.43842	126.2196
42	42000	1.28	0.45625	132.5306
44	44000	1.34	0.47763	138.8416
46	46000	1.39	0.49546	145.1525
48	48000	1.46	0.52041	151.4635
50	50000	1.52	0.54179	157.7745
52	52000	1.58	0.56318	164.0855
54	54000	1.66	0.59169	170.3965
56	56000	1.72	0.61308	176.7074
58	58000	1.79	0.63803	183.0184
60	60000	1.82	0.64873	189.3294
62	62000	1.88	0.67011	195.6404
64	64000	1.92	0.68437	201.9514
66	66000	1.98	0.70576	208.2623
68	68000	2.09	0.74497	214.5733
68.4	68400	2.17	0.77348	215.8355



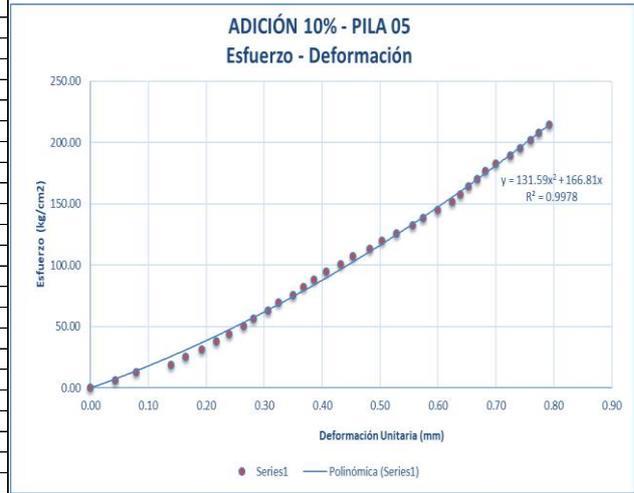
Pila 4 de ladrillos con 10 % adición

ADICIÓN 10% - PILA 04				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.11	0.03923	6.3125
4	4000	0.21	0.07489	12.6251
6	6000	0.32	0.11412	18.9376
8	8000	0.42	0.14979	25.2501
10	10000	0.49	0.17475	31.5627
12	12000	0.57	0.20328	37.8752
14	14000	0.63	0.22468	44.1877
16	16000	0.70	0.24964	50.5003
18	18000	0.76	0.27104	56.8128
20	20000	0.81	0.28887	63.1254
22	22000	0.86	0.30670	69.4379
24	24000	0.92	0.32810	75.7504
26	26000	0.98	0.34950	82.0630
28	28000	1.03	0.36733	88.3755
30	30000	1.07	0.38160	94.6880
32	32000	1.11	0.39586	101.0006
34	34000	1.16	0.41369	107.3131
36	36000	1.21	0.43153	113.6256
38	38000	1.25	0.44579	119.9382
40	40000	1.29	0.46006	126.2507
42	42000	1.34	0.47789	132.5632
44	44000	1.38	0.49215	138.8758
46	46000	1.42	0.50642	145.1883
48	48000	1.47	0.52425	151.5009
50	50000	1.52	0.54208	157.8134
52	52000	1.56	0.55635	164.1259
54	54000	1.62	0.57775	170.4385
56	56000	1.68	0.59914	176.7510
58	58000	1.73	0.61698	183.0635
60	60000	1.82	0.64907	189.3761
62	62000	1.94	0.69187	195.6886
64	64000	2.06	0.73466	202.0011
66	66000	2.15	0.76676	208.3137



Pila 5 de ladrillos con 10 % adición

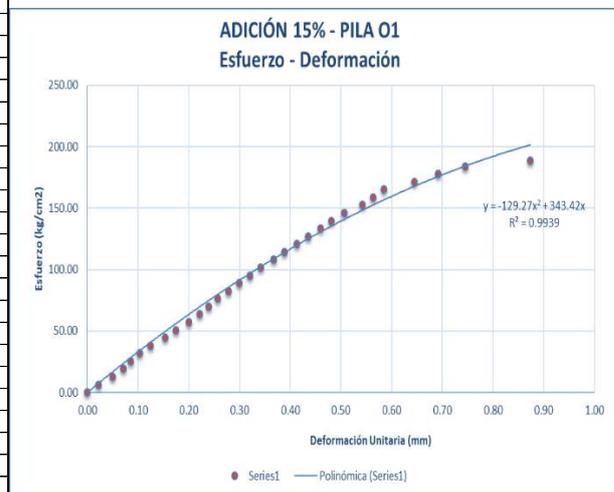
ADICIÓN 10% - PILA 05				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.12	0.04283	6.3066
4	4000	0.22	0.07852	12.6131
6	6000	0.39	0.13919	18.9197
8	8000	0.46	0.16417	25.2262
10	10000	0.54	0.19272	31.5328
12	12000	0.61	0.21770	37.8394
14	14000	0.67	0.23911	44.1459
16	16000	0.74	0.26410	50.4525
18	18000	0.79	0.28194	56.7591
20	20000	0.86	0.30692	63.0656
22	22000	0.91	0.32477	69.3722
24	24000	0.98	0.34975	75.6787
26	26000	1.03	0.36759	81.9853
28	28000	1.08	0.38544	88.2919
30	30000	1.14	0.40685	94.5984
32	32000	1.21	0.43183	100.9050
34	34000	1.27	0.45325	107.2116
36	36000	1.35	0.48180	113.5181
38	38000	1.41	0.50321	119.8247
40	40000	1.48	0.52819	126.1312
42	42000	1.56	0.55675	132.4378
44	44000	1.61	0.57459	138.7444
46	46000	1.68	0.59957	145.0509
48	48000	1.75	0.62455	151.3575
50	50000	1.79	0.63883	157.6640
52	52000	1.83	0.65310	163.9706
54	54000	1.87	0.66738	170.2772
56	56000	1.91	0.68166	176.5837
58	58000	1.96	0.69950	182.8903
60	60000	2.03	0.72448	189.1969
62	62000	2.08	0.74233	195.5034
64	64000	2.13	0.76017	201.8100
66	66000	2.17	0.77445	208.1165
68	68000	2.22	0.79229	214.4231



9.4. Carga, esfuerzo y deformación de pilas ladrillos con adición de 15% de CCA

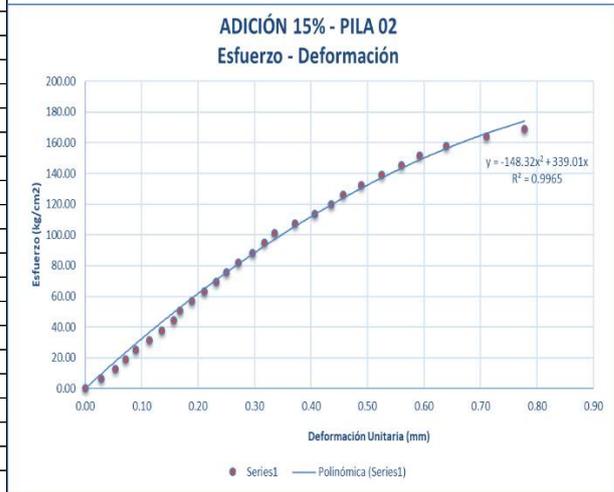
Pila 1 de ladrillos con 15 % adición

ADICIÓN 15% - PILA - 01				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.06	0.02139	6.3449
4	4000	0.14	0.04990	12.6898
6	6000	0.20	0.07129	19.0347
8	8000	0.24	0.08555	25.3796
10	10000	0.29	0.10337	31.7245
12	12000	0.35	0.12475	38.0694
14	14000	0.43	0.15327	44.4143
16	16000	0.49	0.17466	50.7592
18	18000	0.56	0.19961	57.1041
20	20000	0.62	0.22099	63.4491
22	22000	0.67	0.23882	69.7940
24	24000	0.72	0.25664	76.1389
26	26000	0.78	0.27803	82.4838
28	28000	0.84	0.29941	88.8287
30	30000	0.90	0.32080	95.1736
32	32000	0.96	0.34218	101.5185
34	34000	1.03	0.36714	107.8634
36	36000	1.09	0.38852	114.2083
38	38000	1.16	0.41347	120.5532
40	40000	1.22	0.43486	126.8981
42	42000	1.29	0.45981	133.2430
44	44000	1.35	0.48120	139.5879
46	46000	1.42	0.50615	145.9328
48	48000	1.52	0.54179	152.2777
50	50000	1.58	0.56318	158.6226
52	52000	1.64	0.58457	164.9675
54	54000	1.81	0.64516	171.3124
56	56000	1.94	0.69150	177.6573
58	58000	2.09	0.74497	184.0023
59.5	59500	2.45	0.87328	188.7609



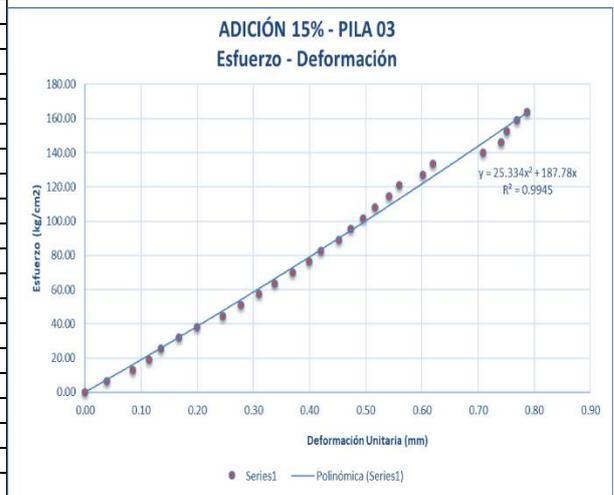
Pila 2 de ladrillos con 15 % adición

ADICIÓN 15% - PILA 02				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.08	0.02856	6.3096
4	4000	0.15	0.05354	12.6191
6	6000	0.20	0.07139	18.9287
8	8000	0.25	0.08924	25.2382
10	10000	0.32	0.11422	31.5478
12	12000	0.38	0.13564	37.8573
14	14000	0.44	0.15706	44.1669
16	16000	0.47	0.16777	50.4764
18	18000	0.53	0.18918	56.7860
20	20000	0.59	0.21060	63.0955
22	22000	0.65	0.23202	69.4051
24	24000	0.70	0.24987	75.7146
26	26000	0.76	0.27128	82.0242
28	28000	0.83	0.29627	88.3337
30	30000	0.89	0.31769	94.6433
32	32000	0.94	0.33553	100.9528
34	34000	1.04	0.37123	107.2624
36	36000	1.14	0.40692	113.5719
38	38000	1.22	0.43548	119.8815
40	40000	1.28	0.45690	126.1910
42	42000	1.37	0.48902	132.5006
44	44000	1.47	0.52472	138.8101
46	46000	1.57	0.56041	145.1197
48	48000	1.66	0.59254	151.4292
50	50000	1.79	0.63894	157.7388
52	52000	1.99	0.71033	164.0483
53.5	53500	2.18	0.77815	168.7805



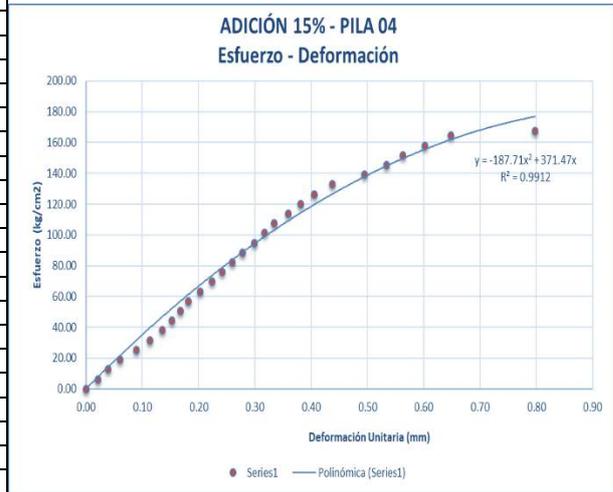
Pila 3 de ladrillos con 15 % adición

ADICIÓN 15% - PILA 03				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.11	0.03917	6.3579
4	4000	0.24	0.08545	12.7157
6	6000	0.32	0.11394	19.0736
8	8000	0.38	0.13530	25.4314
10	10000	0.47	0.16735	31.7893
12	12000	0.56	0.19939	38.1472
14	14000	0.69	0.24568	44.5050
16	16000	0.78	0.27773	50.8629
18	18000	0.87	0.30977	57.2207
20	20000	0.95	0.33826	63.5786
22	22000	1.04	0.37030	69.9364
24	24000	1.12	0.39879	76.2943
26	26000	1.18	0.42015	82.6522
28	28000	1.27	0.45220	89.0100
30	30000	1.33	0.47356	95.3679
32	32000	1.39	0.49493	101.7257
34	34000	1.45	0.51629	108.0836
36	36000	1.52	0.54121	114.4415
38	38000	1.57	0.55902	120.7993
40	40000	1.69	0.60174	127.1572
42	42000	1.74	0.61955	133.5150
44	44000	1.99	0.70856	139.8729
46	46000	2.08	0.74061	146.2307
48	48000	2.11	0.75129	152.5886
50	50000	2.16	0.76909	158.9465
51.5	51500	2.21	0.78690	163.7149



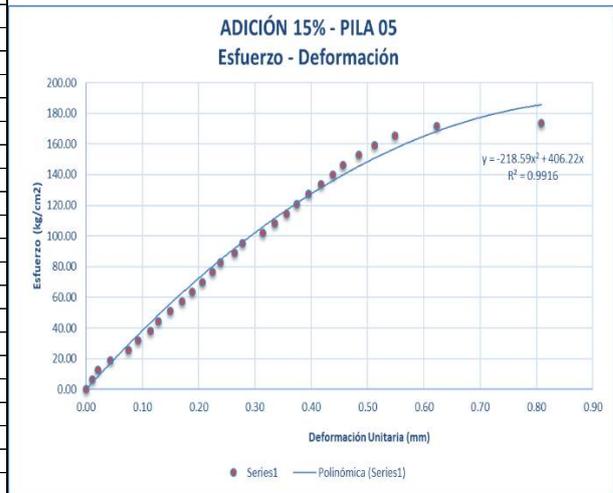
Pila 4 de ladrillos con 15 % adición

ADICIÓN 15% - PILA 04				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.06	0.02137	6.3225
4	4000	0.11	0.03917	12.6450
6	6000	0.17	0.06054	18.9675
8	8000	0.25	0.08903	25.2900
10	10000	0.32	0.11396	31.6125
12	12000	0.38	0.13533	37.9350
14	14000	0.43	0.15313	44.2575
16	16000	0.47	0.16738	50.5800
18	18000	0.51	0.18162	56.9025
20	20000	0.57	0.20299	63.2250
22	22000	0.63	0.22436	69.5475
24	24000	0.68	0.24217	75.8701
26	26000	0.73	0.25997	82.1926
28	28000	0.78	0.27778	88.5151
30	30000	0.84	0.29915	94.8376
32	32000	0.89	0.31695	101.1601
34	34000	0.94	0.33476	107.4826
36	36000	1.01	0.35969	113.8051
38	38000	1.07	0.38105	120.1276
40	40000	1.14	0.40598	126.4501
42	42000	1.23	0.43803	132.7726
44	44000	1.39	0.49501	139.0951
46	46000	1.50	0.53419	145.4176
48	48000	1.58	0.56268	151.7401
50	50000	1.69	0.60185	158.0626
52	52000	1.82	0.64815	164.3851
53	53000	2.24	0.79772	167.5464



Pila 5 de ladrillos con 15 % adición

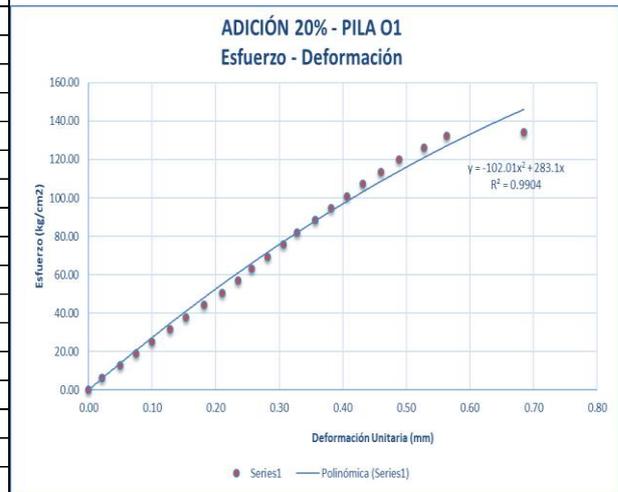
ADICIÓN 15% - PILA 05				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.03	0.01069	6.3642
4	4000	0.06	0.02138	12.7285
6	6000	0.12	0.04275	19.0927
8	8000	0.21	0.07481	25.4570
10	10000	0.26	0.09263	31.8212
12	12000	0.32	0.11400	38.1854
14	14000	0.36	0.12825	44.5497
16	16000	0.42	0.14963	50.9139
18	18000	0.48	0.17100	57.2781
20	20000	0.53	0.18881	63.6424
22	22000	0.58	0.20663	70.0066
24	24000	0.63	0.22444	76.3709
26	26000	0.67	0.23869	82.7351
28	28000	0.74	0.26363	89.0993
30	30000	0.78	0.27788	95.4636
32	32000	0.88	0.31350	101.8278
34	34000	0.94	0.33488	108.1920
36	36000	1.00	0.35625	114.5563
38	38000	1.05	0.37406	120.9205
40	40000	1.11	0.39544	127.2848
42	42000	1.17	0.41682	133.6490
44	44000	1.23	0.43819	140.0132
46	46000	1.28	0.45600	146.3775
48	48000	1.36	0.48450	152.7417
50	50000	1.44	0.51300	159.1060
52	52000	1.54	0.54863	165.4702
54	54000	1.75	0.62344	171.8344
54.5	54500	2.27	0.80869	173.4255



9.5. Carga, esfuerzo y deformación de pilas ladrillos con adición de 20% de CCA

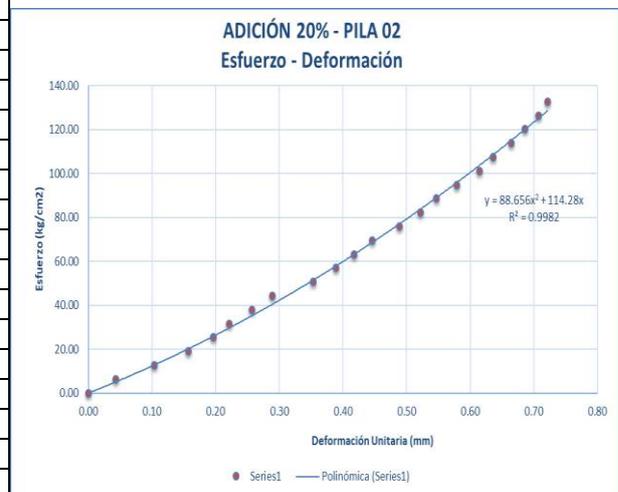
Pila 1 de ladrillos con 20 % adición

ADICIÓN 20% - PILA - 01				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.06	0.02141	6.3068
4	4000	0.14	0.04996	12.6136
6	6000	0.21	0.07493	18.9204
8	8000	0.28	0.09991	25.2272
10	10000	0.36	0.12846	31.5340
12	12000	0.43	0.15343	37.8408
14	14000	0.51	0.18198	44.1476
16	16000	0.59	0.21053	50.4544
18	18000	0.66	0.23550	56.7612
20	20000	0.72	0.25691	63.0680
22	22000	0.79	0.28189	69.3748
24	24000	0.86	0.30687	75.6816
26	26000	0.92	0.32828	81.9884
28	28000	1.00	0.35682	88.2952
30	30000	1.07	0.38180	94.6020
32	32000	1.14	0.40678	100.9088
34	34000	1.21	0.43176	107.2156
36	36000	1.29	0.46030	113.5224
38	38000	1.37	0.48885	119.8292
40	40000	1.48	0.52810	126.1360
42	42000	1.58	0.56378	132.4428
42.5	42500	1.92	0.68510	134.0195



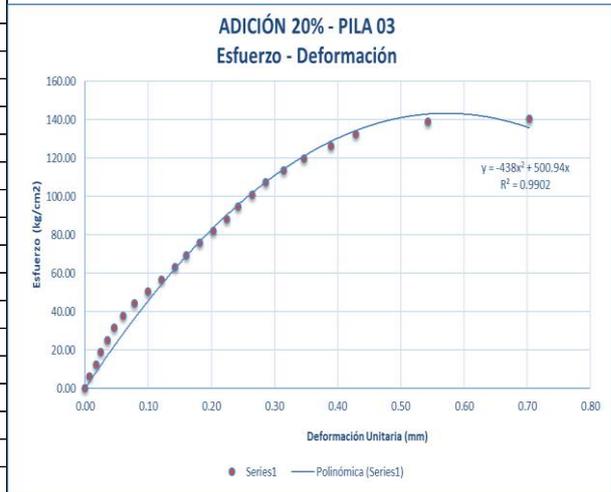
Pila 2 de ladrillos con 20 % adición

ADICIÓN 20% - PILA 02				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.12	0.04286	6.3188
4	4000	0.29	0.10357	12.6376
6	6000	0.44	0.15714	18.9563
8	8000	0.55	0.19643	25.2751
10	10000	0.62	0.22143	31.5939
12	12000	0.72	0.25714	37.9127
14	14000	0.81	0.28929	44.2314
16	16000	0.99	0.35357	50.5502
18	18000	1.09	0.38929	56.8690
20	20000	1.17	0.41786	63.1878
22	22000	1.25	0.44643	69.5066
24	24000	1.37	0.48929	75.8253
26	26000	1.46	0.52143	82.1441
28	28000	1.53	0.54643	88.4629
30	30000	1.62	0.57857	94.7817
32	32000	1.72	0.61429	101.1004
34	34000	1.78	0.63571	107.4192
36	36000	1.86	0.66429	113.7380
38	38000	1.92	0.68571	120.0568
40	40000	1.98	0.70714	126.3756
42	42000	2.02	0.72143	132.6943



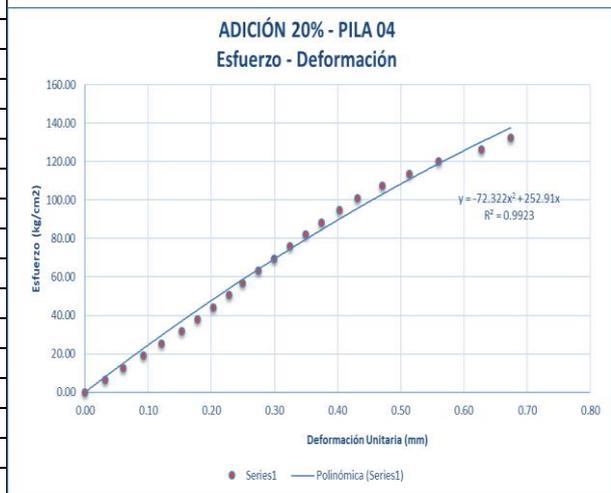
Pila 3 de ladrillos con 20 % adición

ADICIÓN 20% - PILA 03				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.02	0.00714	6.3053
4	4000	0.05	0.01785	12.6105
6	6000	0.07	0.02499	18.9158
8	8000	0.10	0.03570	25.2210
10	10000	0.13	0.04640	31.5263
12	12000	0.17	0.06068	37.8315
14	14000	0.22	0.07853	44.1368
16	16000	0.28	0.09995	50.4420
18	18000	0.34	0.12136	56.7473
20	20000	0.40	0.14278	63.0525
22	22000	0.45	0.16063	69.3578
24	24000	0.51	0.18205	75.6630
26	26000	0.57	0.20346	81.9683
28	28000	0.63	0.22488	88.2736
30	30000	0.68	0.24273	94.5788
32	32000	0.74	0.26414	100.8841
34	34000	0.80	0.28556	107.1893
36	36000	0.88	0.31412	113.4946
38	38000	0.97	0.34624	119.7998
40	40000	1.09	0.38908	126.1051
42	42000	1.20	0.42834	132.4103
44	44000	1.52	0.54257	138.7156
44.5	44500	1.97	0.70319	140.2919



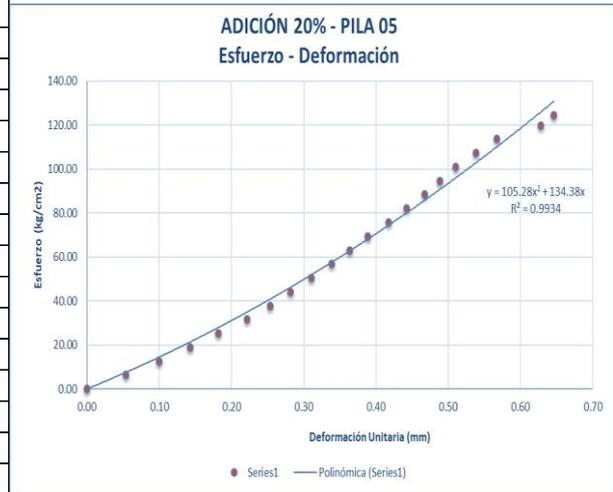
Pila 4 de ladrillos con 20 % adición

ADICIÓN 20% - PILA 04				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.09	0.03209	6.3131
4	4000	0.17	0.06062	12.6263
6	6000	0.26	0.09271	18.9394
8	8000	0.34	0.12123	25.2526
10	10000	0.43	0.15333	31.5657
12	12000	0.50	0.17828	37.8789
14	14000	0.57	0.20324	44.1920
16	16000	0.64	0.22820	50.5052
18	18000	0.70	0.24960	56.8183
20	20000	0.77	0.27456	63.1315
22	22000	0.84	0.29952	69.4446
24	24000	0.91	0.32448	75.7578
26	26000	0.98	0.34944	82.0709
28	28000	1.05	0.37440	88.3841
30	30000	1.13	0.40292	94.6972
32	32000	1.21	0.43145	101.0104
34	34000	1.32	0.47067	107.3235
36	36000	1.44	0.51346	113.6367
38	38000	1.57	0.55981	119.9498
40	40000	1.76	0.62756	126.2630
42	42000	1.89	0.67392	132.5761



Pila 5 de ladrillos con 20 % adición

ADICIÓN 20% - PILA 05				
Carga (Tn)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def. Unit.	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0.00	0.00000	0.0000
2	2000	0.15	0.05351	6.3061
4	4000	0.28	0.09989	12.6123
6	6000	0.40	0.14270	18.9184
8	8000	0.51	0.18195	25.2246
10	10000	0.62	0.22119	31.5307
12	12000	0.71	0.25330	37.8368
14	14000	0.79	0.28184	44.1430
16	16000	0.87	0.31038	50.4491
18	18000	0.95	0.33892	56.7553
20	20000	1.02	0.36390	63.0614
22	22000	1.09	0.38887	69.3676
24	24000	1.17	0.41741	75.6737
26	26000	1.24	0.44238	81.9798
28	28000	1.31	0.46736	88.2860
30	30000	1.37	0.48876	94.5921
32	32000	1.43	0.51017	100.8983
34	34000	1.51	0.53871	107.2044
36	36000	1.59	0.56725	113.5105
38	38000	1.76	0.62790	119.8167
39.5	39500	1.81	0.64574	124.5463



10. Certificado de calibración de Olla Whashington - marca Forney



KAIZACORP S.A.C.
LABORATORIO DE METROLOGÍA

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

LP-009-2018

Laboratorio de Presión

Pág. 1 de 1

Expediente	18009	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
Solicitante	GEOMECANICA Y SERVICIOS DE INGENIERIA E.I.R.L	
Dirección	MZA.I LOTE. 8 URB. EL JARDIN CAJAMARCA - CAJAMARCA	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.
Instrumento de Medición	PRESS AIRE METER OLLA WASHINGTONG	
Marca (o Fabricante)	FORNEY	
Modelo	LA - 0316	
Numero de Serie	0542	
Procedencia	EEUU	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.
Fecha de Calibración	12/11/2018	Los certificados de calibración sin firma y sello no son válidos.
Lugar de Calibración	INSTALACION DEL SOLICITANTE	

Metodo de Calibración y Trazabilidad

La calibración brinda trazabilidad hacia el sistema Internacional a travez del patron con certificado N° P-1112-2018.

Resultado

Indicacion del equipo	Indicaciones del patron	Desviacion
PSI	PSI	PSI
15	15,0	0,0
15	15,0	0,0
15	15,0	0,0

Sello

Fecha de emisión

Jefe del laboratorio de calibración



2018-11-12

Roberto Quinto Culcucondor

11. Panel Fotográfico

Figura 12: Ensayo de granulometría del agregado fino



Figura 13: Ensayo de Abrasión del agregado grueso



Figura 14: Molinera Valle Dorado – Jaén



Figura 15: Medición del slump del concreto



Figura 16: Medición temperatura del concreto



Figura 17: Medición contenido de aire del concreto



Figura 18: Ensayo a compresión de probetas de concreto



Figura 19: Elaboración de ladrillos de concreto



Figura 20: Curado de ladrillos de concreto



Figura 21: Alabeo de ladrillos de concreto



Figura 22: Variación dimensional de ladrillos de concreto



Figura 23: Refrentado de ladrillos de concreto



Figura 24: Medición de probetas cúbicas de mortero



Figura 25: Ensayo a compresión de probetas de mortero



Figura 26: Ensayo a compresión de ladrillos



Figura 27: Asentado de ladrillos en pilas



Figura 28: Curado de pilas



Figura 29: Ensayo a compresión de pilas

