



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DE LA CASCARILLA Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO NO ESTRUCTURAL, TRUJILLO 2018.

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autores:**

Bach. Jaime Huertas, Miguel Ángel

Bach. Portocarrero Regalado, Luis Alberto

**Asesor:**

Ing. Wiston Henry Azañedo Medina

Trujillo – Perú

2018

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres Miguel Ángel Jaime Huertas y Luis Alberto Portocarrero Regalado, denominada:

**“INFLUENCIA DE LA CASCARILLA Y CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ  
SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO NO  
ESTRUCTURAL, TRUJILLO 2018”**



---

Ing. Wiston Henry Azañedo Medina

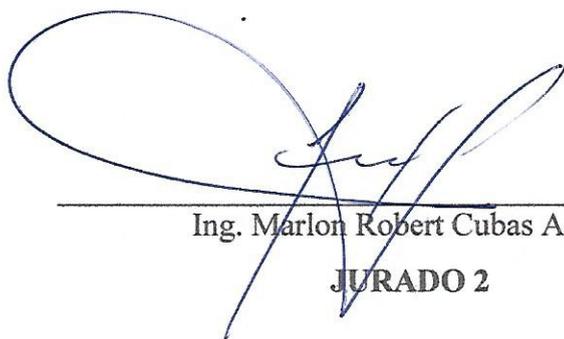
**ASESOR**



---

Ing. Julio Félix Valeriano Murga

**JURADO 1**



---

Ing. Marlon Robert Cubas Armas

**JURADO 2**



---

Ing. Gonzalo Hugo Díaz García

**JURADO 3**

## DEDICATORIA

A mis padres Miguel y Flor, por su inmenso amor, trabajo y sacrificio durante todos estos años, por brindarme una buena educación con valores y haberme enseñado con su ejemplo que nuestras metas podemos alcanzar.

A mis hermanos Daniela, Marcos y Julio, por brindarme todo su apoyo, por estar siempre a mi lado.

A mi novia Ingrid por su gran cariño, por animarme cada día a ser el mejor.

### **Miguel Ángel Jaime Huertas**

A mis padres Alberto y Dina por darme siempre fortaleza para vencer los obstáculos e impulsarme día a día a seguir luchando.

A mis hermanos por su constante apoyo.

A mi esposa Regina porque estuvo siempre a mi lado y dispuesta a brindarme su apoyo.

A mis hijos Fressia, Kiara, Fabián y Betito quienes han sido y son pilar importante en mi vida, les dedico este proyecto con todo cariño y amor.

### **Luis Alberto Portocarrero Regalado**

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos la oportunidad de lograr nuestros objetivos por segunda vez y desarrollar con éxito nuestra tesis.

A nuestro asesor el Ing. Wiston Azañedo Medina, por las enseñanzas y experiencias transmitidas a través de la carrera, por su apoyo, confianza y dedicación brindada durante la realización de este proyecto de tesis.

A la Universidad Privada del Norte y la plana docente por brindarnos la formación académica, ética y moral que nos acompañará durante el desarrollo de nuestra vida profesional y personal.

A nuestros familiares y amigos que siempre creyeron en nuestro proyecto y nos dieron todo su apoyo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. Realidad Problemática.....	16
1.2. Formulación del Problema .....	20
1.3. Justificación.....	20
1.4. Limitaciones .....	21
1.5. Objetivos.....	22
1.5.1. Objetivo Principal .....	22
1.5.2. Objetivos Específicos .....	22
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....	23
2.1. Antecedentes.....	23
2.2. Bases Teóricas .....	27
2.2.1. Cemento Portland.....	27
2.2.2. Concreto .....	29
2.2.3. Concreto en estado fresco .....	31

2.2.4.	Concreto en estado endurecido .....	32
2.2.5.	Agregados .....	33
2.2.6.	Agua.....	38
2.3.	Definición de términos básicos .....	38
2.3.1.	Durabilidad del Concreto .....	38
2.3.2.	Utilización de Micro-sílice .....	40
2.4.	Hipótesis.....	43
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....		44
3.1.	Operacionalización de variables.....	44
3.1.1.	Variables independientes .....	44
3.1.2.	Variables dependientes .....	44
3.2.	Diseño de investigación.....	45
3.3.	Material.....	45
3.3.1.	Unidad de estudio .....	45
3.3.2.	Población .....	45
3.3.3.	Muestra.....	45
3.3.4.	Características de la muestra .....	45
3.3.5.	Diseño de contrastación .....	46
3.4.	Técnicas, Instrumentos y Procedimientos de datos.....	48
3.4.1.	Procedimientos Experimentales .....	48
3.4.2.	Diseño de contrastación .....	49
3.4.3.	Recolección, calcinación, molienda y tamizado de la ceniza de la cascarilla de arroz (CCA) .....	50
3.4.4.	Propiedades de la ceniza de la cascarilla de arroz (CCA).....	51

3.4.5.	Caracterización de los agregados .....	53
3.4.6.	Diseño de mezcla (ACI COMMITTEE 211, 2002) .....	61
3.4.7.	Ensayos en el concreto.....	69
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....		72
4.1.	Ceniza de cascarilla de arroz (CCA) .....	72
4.1.1.	Ensayo granulométrico del agregado fino y grueso (NTP 400.012).....	72
4.1.2.	Determinación del contenido de humedad del agregado fino y grueso (NTP 339.185) .....	75
4.1.3.	Determinación del Peso Unitario Suelto y Compactado (NTP 400.017) Agregado Fino y Grueso.....	77
4.1.4.	Determinación Del Peso Específico Y Absorción (NTP 400.022).....	80
4.2.	Análisis de la caracterización de los agregados .....	83
4.3.	Elaboración del diseño de mezcla (ACI-211) .....	86
4.4.	Asentamiento (NTP 339.035).....	95
4.5.	Medición de la Resistencia a la Compresión (NTP 339.034) .....	97
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....		109
5.1.	Discusión del objetivo principal .....	109
5.2.	Discusión de los objetivos específicos. ....	109
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....		112
CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES .....		113
CAPÍTULO 8. REFERENCIAS .....		114
CAPÍTULO 9. ANEXOS .....		119
9.1.	ANEXO 1: Panel Fotográfico .....	119
9.2.	ANEXO 2: Ficha Técnica Cemento Mochica Tipo I.....	146

9.3. ANEXO 3: Certificado de ensayos en el laboratorio de la UPN – Trujillo sede San Isidro.....	147
9.4. ANEXO 4: Normativas utilizadas para el desarrollo de los ensayos .....	148

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Concretos según su consistencia.....	32
<b>Tabla 2:</b> Tabla de numeración y abertura de tamices.....	35
<b>Tabla 3:</b> Clasificación de los Agregados por su Peso Unitario.....	37
<b>Tabla 4:</b> Cantidad de ceniza por distintos cereales .....	42
<b>Tabla 5:</b> Composición química de la cáscara de arroz.....	42
<b>Tabla 6:</b> Componentes Metodológicos y Referenciales de la Hipótesis .....	43
<b>Tabla 7:</b> Operacionalización de variables .....	44
<b>Tabla 8:</b> Distribución de la muestra .....	45
<b>Tabla 9:</b> Matriz de diseño.....	47
<b>Tabla 10:</b> Composición Química de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA).....	51
<b>Tabla 11:</b> Composición Química de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA).....	52
<b>Tabla 12:</b> Propiedades Físicas de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) .....	52
<b>Tabla 13:</b> Tamices más empleados en el análisis granulométrico del agregado fino .....	54
<b>Tabla 14:</b> Tamices más empleados en el análisis granulométrico del agregado grueso ..	54
<b>Tabla 15:</b> Determinación de la granulometría de agregados.....	55
<b>Tabla 16:</b> Resistencia a la compresión promedio.....	62
<b>Tabla 17:</b> Consistencia y Asentamientos .....	62
<b>Tabla 18:</b> Contenido de aire atrapado .....	63
<b>Tabla 19:</b> Volumen de agua por metro cúbico .....	64
<b>Tabla 20:</b> Relación agua/cemento por resistencia.....	65
<b>Tabla 21:</b> Peso Específico del cemento mochica para uso general .....	66
<b>Tabla 22:</b> Peso del agregado grueso por unidad de volumen concreto .....	67
<b>Tabla 23:</b> Granulometría del agregado fino .....	73

<b>Tabla 24:</b> Granulometría del agregado grueso .....	74
<b>Tabla 25:</b> Contenido de humedad de la muestra de agregado fino .....	76
<b>Tabla 26:</b> Contenido de humedad de la muestra de agregado grueso .....	76
<b>Tabla 27:</b> Peso Unitario Suelto Seco del agregado fino.....	77
<b>Tabla 28:</b> Peso Unitario Suelto Seco del agregado grueso .....	78
<b>Tabla 29:</b> Peso Unitario Compactado Seco del agregado fino.....	79
<b>Tabla 30:</b> Peso Unitario Compactado Seco del agregado grueso .....	79
<b>Tabla 31:</b> Absorción y Peso Específico de las muestras del agregado fino .....	81
<b>Tabla 32:</b> Absorción y Peso Específico de las muestras del agregado grueso.....	82
<b>Tabla 33:</b> Caracterización del agregado fino .....	83
<b>Tabla 34:</b> Caracterización del agregado grueso .....	85
<b>Tabla 35:</b> Dosificación y distribución de los insumos para la elaboración de las.....	94
<b>Tabla 36:</b> Medición del asentamiento o Slump.....	97
<b>Tabla 37:</b> Resistencia a la compresión de las probetas control.....	97
<b>Tabla 38:</b> Resistencia a la compresión de las probetas con 8% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA).....	98
<b>Tabla 39:</b> Resistencia a la compresión de las probetas con 12% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA).....	100
<b>Tabla 40:</b> Resistencia a la compresión de las probetas con 16% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA).....	101
<b>Tabla 41:</b> Resistencia a la compresión de las probetas con 8% de cascarilla de arroz ..	103
<b>Tabla 42:</b> Resistencia a la compresión de las probetas con 12% de cascarilla de arroz	104
<b>Tabla 43:</b> Resistencia a la compresión de las probetas con 16% de cascarilla de arroz	105

**Tabla 44:** Resistencia a la compresión de todas las probetas ensayadas en el laboratorio

..... 107

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Materia prima para elaborar el concreto.....	17
<b>Figura 2:</b> Kiosco Samper en Bogotá .....	18
<b>Figura 3:</b> Perspectivas sobre el desempeño de los diferentes tipos de construcción en el 2017 respecto al 2016.....	20
<b>Figura 4:</b> Dimensiones de la muestra cilíndrica.....	46
<b>Figura 5:</b> Circuito de procedimiento experimental. ....	48
<b>Figura 6:</b> Gráfico para construir la Curva Granulométrica. ....	56
<b>Figura 7:</b> Curva Granulometría del Agregado Fino. ....	73
<b>Figura 8:</b> Curva Granulometría del Agregado Grueso.....	75
<b>Figura 9:</b> Asentamiento de la mezcla control. ....	95
<b>Figura 10:</b> Asentamiento de las mezclas con sustitución de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y cascarilla de arroz.....	96
<b>Figura 11:</b> Gráfico de la curva de resistencia de las probetas control. ....	98
<b>Figura 12:</b> Gráfico de la curva de resistencia de las probetas con 8% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA).....	99
<b>Figura 13:</b> Gráfico de la curva de resistencia de las probetas con 12% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA).....	100
<b>Figura 14:</b> Gráfico de la curva de resistencia de las probetas con 16% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA).....	102
<b>Figura 15:</b> Gráfico de la curva de resistencia de las probetas con 8% de cascarilla de arroz.....	103
<b>Figura 16:</b> Gráfico de la curva de resistencia de las probetas con 12% de cascarilla de arroz.....	104

**Figura 17:** Gráfico de la curva de resistencia de las probetas con 16% de cascarilla de  
arroz..... 106

**Figura 18:** Gráfico de las curva de resistencia de todas las probetas ensayadas en el  
laboratorio. .... 108

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como finalidad estudiar el comportamiento de la cascarilla de arroz y la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) con respecto a las propiedades físico-mecánicas del concreto en el campo de la construcción, de tal manera que contribuya con el cuidado del medio ambiente.

El cemento fue sustituido por cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla de arroz (CCA) en tres porcentajes que fueron: 8%, 12% y 16% con respecto a la masa total del cemento del diseño de mezcla, determinando así los diferentes comportamientos de las muestras.

Los ensayos de asentamiento en el concreto fresco y de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas, se llevaron a cabo bajos los lineamientos de las normas ASTM y NTP.

De acuerdo a los resultados finales del proyecto se determinó la validez de la utilización de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) en la sustitución del cemento, proponiendo como porcentaje óptimo la de 8%, el cual obtuvo una resistencia final de 231 Kg/cm<sup>2</sup>.

### **PALABRAS CLAVE:**

CASCARILLA DE ARROZ, CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ, CCA, PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS, CONCRETO NO ESTRUCTURAL, ASTM, NTP.

## ABSTRACT

The purpose of this research project was to study the behavior of rice husk and rice husk ash (CCA) with respect to the physico-mechanical properties of concrete in the field of construction, in such a way that it contributes to the environmental care.

The cement was replaced by rice husk and rice husk ash (CCA) in three percentages that were: 8%, 12% and 16% with respect to the total cement mass of the mix design, thus determining the different behaviors of the samples.

The tests of settlement in the fresh concrete and of compressive strength of the cylindrical specimens were carried out under the guidelines of the ASTM and NTP standards.

According to the final results of the project the validity of the use of rice husk ash (CCA) in the substitution of cement was determined, proposing as an optimal percentage the 8%, which obtained a final resistance of 231 Kg / cm<sup>2</sup>.

### KEYWORDS:

RICE HUSK, RICE HUSK ASH, CCA, PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES, NON-STRUCTURAL CONCRETE, ASTM, NTP.

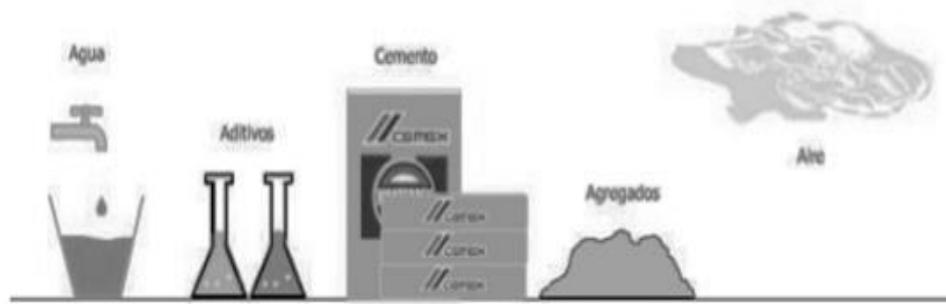
## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

El concreto es un material fundamental que siempre ha estado presente en la historia de la construcción, desde imponentes estructuras y edificaciones de inicios del imperio romano hasta megaconstrucciones en la actualidad; muchos de los recursos utilizados en su composición han ido evolucionando en busca de aportarle beneficios a su natural calidad. Muchos son los factores que intervienen en la obtención de un concreto de óptima calidad, tales como el tipo de aditivos empleados, el propósito de su empleo y factores climáticos. Es por esta razón que este material es objeto de constantes ensayos previos a su elaboración. (UNI, 2012).

El concreto se ha convertido en el material de construcción más usado en el mundo debido a su gran capacidad de moldeabilidad para adaptarse a diversas formas y que lo hacen muy versátil; además es resistente al fuego y a la congelación. Su permeabilidad y hermeticidad lo convierten en un elemento ideal no solo para la construcción de viviendas sino también para pavimentos, presas y canales. Todo esto sumado a su gran resistencia al desgaste y la abrasión derivada de su particular relación agua-cemento, hacen del concreto el material preferido por el sector de la construcción (PÉREZ & ANGUIANO, 2013).

Hablar del concreto es referirse a una piedra artificial, fabricada a partir de otros insumos como el cemento, la piedra o grava, la arena y el agua. A este material se le denomina Concreto Simple y es muy resistente a esfuerzos de compresión y, en menor proporción, de tensión, donde su resistencia es 15% menor en el mejor de los casos. A esto si le incorporamos otros materiales como acero u otras fibras naturales o sintéticas que puedan aumentar la resistencia de este material, estaríamos hablando de un Concreto Reforzado o Armado. (GONZÁLEZ & QUINTERO, 2004).



**Figura 1:** Materia prima para elaborar el concreto

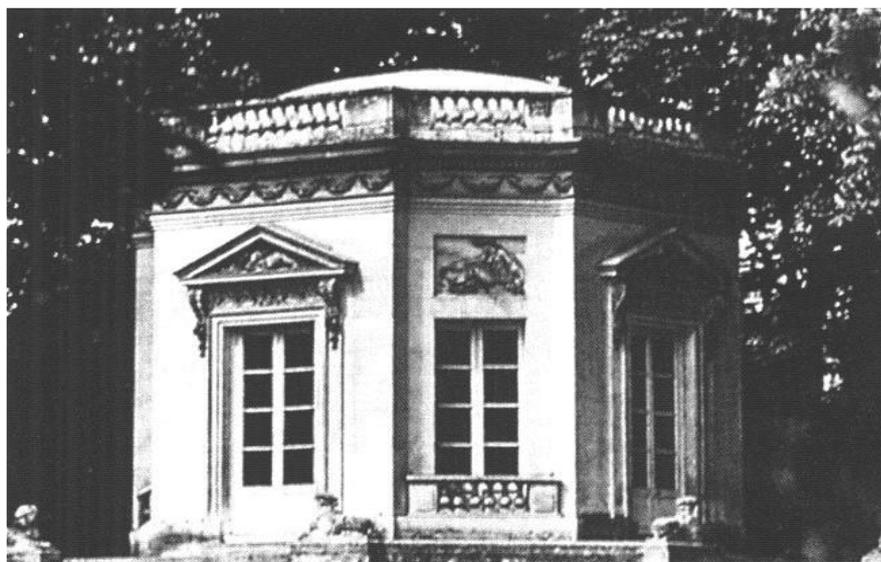
Según algunas investigaciones, el uso del concreto, data de los años 7000 y 6000 a.c. cuando en regiones de Israel y la antigua Yugoslavia encontraron hallazgos de los primeros pisos de concreto a partir de cenizas calcinadas. También en Egipto, en el año 2500 a.c. descubrieron morteros de calizas y yesos calcinados entre las uniones de los bloques de piedra que conformaban las pirámides de Giza. Los antiguos romanos en los años 300 a.c. copiaron la técnica de los egipcios para construir varias de sus obras, entre ellas el Foro Romano. Por último, luego de la devastación causada por la erupción del Monte Vesubio elaboraron concretos aligerados utilizando rocas volcánicas como agregado e incrustaciones de jarras de barro, construyendo el Coliseo Romano y el domo del Panteón de 50 m. de diámetro, aproximadamente. (ARGOS, 2007).

Sólo en los Estados Unidos, el 36% del cemento es utilizado para la elaboración del concreto por las compañías de premezclado que llevan el material a obra, mientras que casi el 25% es utilizado para la fabricación de concreto in situ por compañías constructoras que poseen equipos técnicos como cualquier compañía premezcladora. Cabe resaltar que existe una marcada tendencia por parte de algunos constructores de solicitar los servicios de las compañías de premezclado por la calidad de sus insumos y la metodología en la aplicación del material; además de priorizar otras actividades (MILLAN, 1988).

Otro claro ejemplo del progreso de este material lo encontramos en Bélgica, durante los últimos 5 años la construcción de edificaciones en forma de torre usando concreto

prefabricado ha dado un gran salto, pues hasta los años 90 no se utilizaba mucho en este sector del mercado, limitándose solo a pisos preforzados de núcleo hueco integrados en estructuras de acero. A finales del siglo XX hubo 3 proyectos de oficinas en edificios de 15, 18 y 19 pisos; las columnas contaban con una sección circular de 50 cm y eran de concreto de alta resistencia C 80-95 (815 Kg/cm<sup>2</sup>- 968 Kg/cm<sup>2</sup>), con losas preforzadas doble T o núcleo hueco, claros de 6.80 a 11.50 m y un espesor de la construcción del piso de 50 cm (incluyendo vigas y el firme de 6 cm). Ahora se pueden ver edificaciones de manera extensiva con el uso de concreto prefabricado en edificios para oficinas de grandes alturas (Van Acker, 2008).

En Colombia, la compañía cementera Samper capacitó a maestros de obra y operarios de la construcción en labores que hasta entonces aún eran desconocidas en el medio como: clasificación del agregado, dosificación, diseño de mezclas en proporciones pre – establecidas, etc. Las primeras construcciones fueron en la ciudad de Bogotá con el kiosco Samper, la terraza Pasteur y también el sistema de compuertas de La Ramada situado sobre el Río Bogotá muy cerca a Fontibón (GÓMEZ, 1994).



**Figura 2:** Kiosco Samper en Bogotá

La demanda del concreto premezclado en obra ha crecido mucho en los últimos años en el Perú, tanto en el Norte, Centro y Sur del país debido a sus múltiples ventajas. Sin embargo, si llegamos a comparar nuestro consumo frente a otras regiones de Latinoamérica aún sería poco, pues existe un déficit en infraestructura. El ingeniero José Luis Viacava, gerente general de Mixercon, dio detalles de la producción mensual del concreto en la ciudad de Lima, señalando que se producen cerca de 230 mil metros cúbicos que al año representa 2 millones 800 mil metros cúbicos (PCONSTRUYE, 2016).

En junio de 2017, el consumo interno del cemento, el cual es el principal indicador evolutivo del sector construcción, aumentó en 3,45% con respecto a junio del 2016; dejando atrás 10 meses de resultados negativos consecutivos. Esto se debe a la recuperación de obras privadas en la minería, edificios para vivienda e infraestructura empresarial privada. (INEI, Nota de Prensa, 2017).

Las nuevas tecnologías para la elaboración del concreto han sido tema de gran impacto por parte de empresas de la industria de materiales de construcción y universidades que buscan alternativas para un concreto de alto desempeño. Estas tendencias se enfocan en la obtención de materiales sustentables, resistentes y que lleguen a cumplir las especificaciones técnicas que exigen las normas; para ello se está pensando en la reutilización de materiales industriales como también la de desechos agrícolas que puedan reducir el impacto ambiental (BENITEZ, 2015).

Con la finalidad de disminuir costos en la fabricación de cementos se ha hecho uso de desechos industriales y agrícolas con propiedades puzolánicas como lo es la ceniza de arroz (CCA). El Óxido de Silicio amorfo altamente reactivo, presente en la ceniza, al reaccionar con el Hidróxido de Calcio (también llamada como cal hidratada) el cual se produce por la

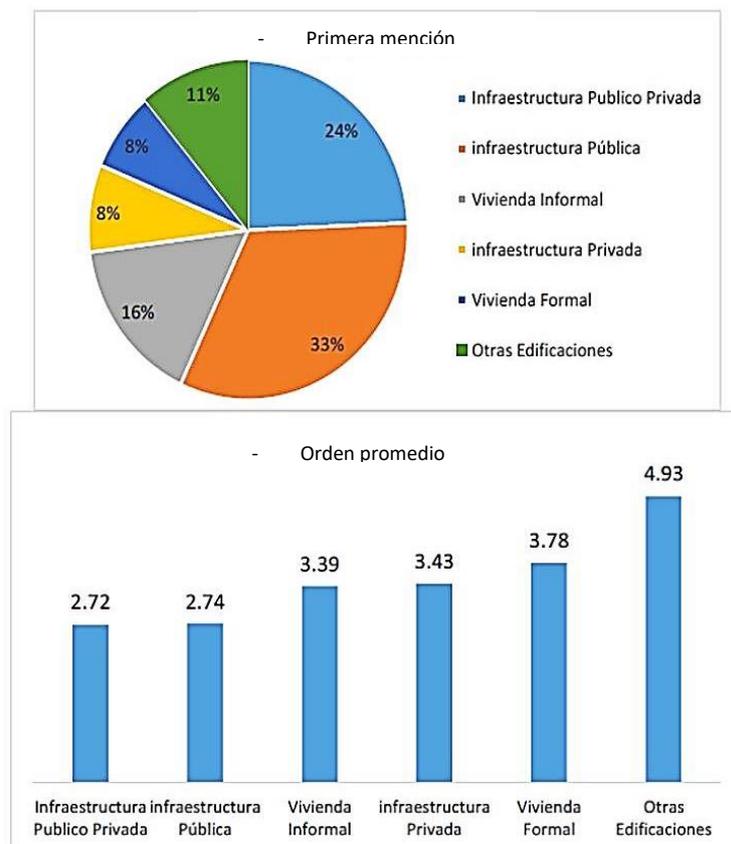
hidratación del Silicato Tricálcico y el Silicato Dicálcico. Cuando se adiciona ceniza de la cascarilla de arroz, este aportará al C-S-H (MAFLA, 2009).

## 1.2. Formulación del Problema

¿Cómo influye el porcentaje de ceniza de cascarilla de arroz y la cascarilla de arroz sobre la resistencia a la compresión de un concreto no estructural?.

## 1.3. Justificación

La construcción en el Perú se está considerando como uno de los sectores más dinámicos de la economía. En estos últimos años se han construido, ampliado o han mejorado miles de edificaciones en el país. En el crecimiento de este sector resaltan obras de edificaciones de centros comerciales y edificios para vivienda, como también obras hidráulicas como son los proyectos de Chavimochic III etapa, Olmos, etc.



**Figura 3:** Perspectivas sobre el desempeño de los diferentes tipos de construcción en el 2017 respecto al 2016.

El sector construcción en el Perú es una de las actividades económicas más resaltantes en el país, puesto que durante muchos años se ha convertido en una unidad de medición del bienestar económico nacional. En la ciudad de Trujillo el material predominante en la mayoría de las construcciones es el concreto.

La presente investigación busca encontrar una alternativa al sustituir el cemento de la mezcla de concreto por la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y la cascarilla de arroz, los cuales se encuentran como desechos agroindustriales en nuestro país. La finalidad de este estudio es elaborar concretos resistentes y de bajo costo; determinando así la influencia de estas variables en el concreto.

Los porcentajes de cascarilla y ceniza de cascarilla de arroz (CCA) que se plantea en esta tesis se basan en investigaciones previas, donde el mínimo y máximo porcentaje de sustitución de CCA por cemento, fue de 5% y 30% respectivamente. En las investigaciones de Méndez en el 2009, Villegas en el 2012 entre otros, sirvieron para poder tomar los porcentajes de 8%, 12% y 16% y poder determinar si hay o no una mejora en el concreto.

#### **1.4. Limitaciones**

El presente trabajo de investigación propone como alternativa la sustitución de un porcentaje del cemento total para el diseño de mezcla de un concreto no estructural  $f'c = 175$  Kg/cm<sup>2</sup>, por ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y cascarilla de arroz. La ceniza se obtendrá de los residuos de la quema de la cascarilla, el cual es utilizado como combustible para el quemado de ladrillos en chimeneas artesanales en el distrito de Guadalupe. Mientras que la cascarilla se obtendrá del pilado de arroz de la fábrica Molinera Inca en el distrito de Moche.

La muestra de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) que obtuvimos en un horno artesanal, no era una ceniza netamente pura, y que probablemente pudo estar expuesta a temperaturas que de alguna manera perjudicaron significativamente sus propiedades puzolánicas.

Posteriormente se tamizó la muestra utilizando la malla #200 para obtener partículas homogéneas similares a las del cemento, ya que pasarla por un tamiz más fino hubiera prolongado el tiempo estimado en el desarrollo de la tesis.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo Principal**

- Determinar la influencia que tiene la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y la cascarilla de arroz sobre la resistencia a la compresión de un concreto no estructural a los 28 días.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la influencia que tiene la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y la cascarilla de arroz sobre la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.
- Determinar cómo influye la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y la cascarilla de arroz sobre el revenimiento del concreto.
- Determinar qué porcentaje de 8%, 12% y 16% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y cascarilla de arroz es idóneo para la sustitución del cemento.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### Nivel Internacional

(MÉNDEZ, 2009) “La sustitución parcial del cemento por CCA, provocó una reducción en la trabajabilidad de los morteros, debido a su elevada superficie específica; puesto que retuvieron el agua de amasado. Las probetas donde se sustituyó hasta un 30% de cemento por CCA; se curaron a temperatura ambiente durante 90 días, presentando resistencias a flexotracción y compresión, superiores a los morteros patrones correspondientes. La máxima carga que soportaron las tejas que fueron curadas a temperatura ambiente durante 90 días, donde se sustituyó hasta un 30% de cemento por CCA, en la mayoría de los casos, se registraron valores superiores a la teja patrón. De forma general se pudo concluir que la sustitución de hasta un 30% de cemento en peso por CCA es factible, lo que sería un beneficio económico y un beneficio ecológico”.

(SERRANO, BORRACHERO, MONZÓ, & PAYÁ, 2012) “Se analizaron diversas metodologías para la utilización de la cascarilla de arroz con y sin pretratamientos, como una adición en la fabricación de morteros ligeros, tales como el lavado con agua destilada, baño en disolución ácida durante 24 horas, baño en disolución básica durante 24 horas, así como combinaciones y variaciones de los anteriores pretratamientos. Se obtuvieron morteros ligeros con densidades que oscilaban entre 1,1 - 1,3 g/cm<sup>3</sup> y que presentaban resistencias mecánicas entre 2 – 4 MPa. Como se esperaba, los materiales resultantes no presentaron mejoras de sus propiedades mecánicas, tanto en los morteros como en hormigones tradicionales, sin embargo, su uso podría aplicarse en componentes de construcciones livianas y no portantes (aislamientos térmicos, acústicos o rellenos)”.

(MATTEY, ROBAYO, DÍAZ, DELVASTO, & MONZÓ, 2015) “En esta investigación se utilizó un residuo agro-industrial como lo es la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) producido por la combustión controlada de la cascarilla de arroz, este proceso de quema fue realizado en la arrocería la Esmeralda ubicada en el municipio de Jamundí (Cali, Valle del Cauca, Colombia). La ceniza resultante del proceso de combustión de la cascarilla de arroz presentó un 29,38% de sílice amorfo. Este residuo fue incorporado en mezclas de concreto con el fin de conocer sus propiedades puzolánicas en la sustitución parcial de cemento Portland tipo I y como agregado fino, para la fabricación de bloques no estructurales y bloques macizos. Los resultados que se obtuvieron mostraron que la relación cemento/agregado de 1 a 6 y la adición del 20% de CCA que actúa como filler y puzolana es cantidad óptima para la utilización de este residuo agro-industrial para producir bloques no estructurales. También encontramos que en el proceso de mezclado en dos etapas mejora la calidad del producto, aportando las propiedades mecánicas de las mezclas elaboradas a 28 días de curado”.

### **Nivel Nacional**

(VILLEGAS, 2012) “En este estudio se realizó la verificación para la utilización de puzolanas en la producción de morteros y concretos para revestimientos y la producción de componentes constructivos con base cementicia. Se encontró que las cenizas de cáscara de arroz fueron las que presentaron mejores propiedades mecánicas, obteniéndose hasta un 15% más de resistencia con respecto a la mezcla control. Mientras que al elaborar bloques de concreto, la ceniza de cascarilla de arroz cuya cantidad óptima fue del 15% en reemplazo del cemento se obtuvo a los 28 días de curado una resistencia de 103% más con respecto a la de control”.

(LOAYZA, 2014) “En esta investigación analizaron el efecto que genera la ceniza de cáscara de arroz sobre la resistencia a la compresión de un concreto normal, al añadirle el 5%, 10%, 15% y 20% del peso del cemento. Se elaboraron de especímenes de concreto, los cuales fueron sometidos a ensayos de compresión, a los 7, 14 y 28 días de curado. Los resultados demostraron que la ceniza de cáscara de arroz aumentó la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón a los 28 días en  $57.64\text{Kg/cm}^2$ ,  $77.29\text{ Kg/cm}^2$ ,  $96.68\text{ Kg/cm}^2$  y  $76.20\text{ Kg/cm}^2$  cuando se adicionan 5%, 10%, 15%, y 20% respectivamente. En conclusión, el concreto adicionado con CCA va a obtener resistencias superiores con respecto al concreto patrón, siendo el 15% el porcentaje óptimo de adición”.

(IGLESIAS & YUPANQUI, 2016) “El presente trabajo tuvo como objetivo la utilización de materiales de desecho, como la CCA, y cuyo fin fue la adición en proporciones determinadas al cemento; para que de esta forma los costos para producir este insumo sean más económicos y con esto ser accesibles para las personas de bajo recursos, sin comprometer ninguna de sus características físicas y mecánicas. Las muestras de concreto con pérdidas mayores en la resistencia a la compresión son aquellos que contienen altos porcentajes de adición de CCA. Sin embargo, la resistencia a la compresión de las muestras con 5% y 10% de adición presentaron resultados similares y mayores a largo plazo”.

### **Nivel Local**

(CONTRERAS & PEÑA, 2017) “La Ceniza Volante de Carbón (CVC) es considerada un desecho industrial, sin embargo, para el desarrollo de esta tesis se muestra como una alternativa diferente de adición para el diseño y construcción de estructuras de concreto, con el fin de aumentar la resistencia a la compresión y disminuir la permeabilidad en el

concreto. Las cantidades de Ceniza Volante de Carbón (CVC) se obtuvieron tomando en consideración investigaciones realizadas que determinaron utilizar dosificaciones del 1.5%, 3%, 4.5% y 6% de CVC respecto al peso del cemento de la mezcla. Los resultados que se obtuvieron de los ensayos de esfuerzo a la compresión en el Concreto Patrón arrojaron una carga máxima promedio de 218 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días del curado, para el Concreto + 1.5% C.V.C se obtuvo 220 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días del curado, en el Concreto + 3% C.V.C se obtuvo 227 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días del curado, para el Concreto + 4.5% C.V.C se obtuvo 232 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días del curado y para el Concreto + 6% C.V.C arrojó una carga promedio de 241 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días del curado; lo que quiere decir que para cantidades que registren valores por debajo del 6% de CVC se muestra un aumento de resistencia a la compresión”.

(HUAROC, 2017) “El objetivo en el presente trabajo de investigación fue la evaluación del porcentaje de adición óptimo de micro sílice, la cual se obtuvo de la ceniza de cáscara de arroz. Esta se aplicó al concreto en estado fresco y endurecido para poder evaluar sus propiedades físico-mecánicas. Los agregados fueron caracterizados como granulometría (NTP 400.012), contenido de humedad (NTP 339.185), absorción (NTP 400.022), peso específico (NTP 400.021) y peso unitario (NTP 400.017). Para la obtención de la micro sílice de la cáscara de arroz fue necesario calcar la cáscara del arroz en un horno de gas a una temperatura de 400 °C a 600 °C, para luego colocarlo en un molino a mano para reducir el tamaño de la ceniza y posteriormente pasarlo por un molino de bolas; finalmente para obtener un tamaño micro, la ceniza se tamizó en malla No. 325 (0.045) y No. 400 (0.03 mm). La utilización de un superplastificante (EUCCO 37) fue fundamental, ya que a medida que se iba agregando los distintos porcentajes de cenizas, producto de ello la mezcla estaba más seca. Se tuvo que añadir el

supercriterizador al 1% a la mezcla con respecto al peso del cemento. La resistencia máxima que se obtuvo fue de  $376 \text{ kg/cm}^2$  para un concreto con 6% de adición de cenizas, aumentando en un 27% con respecto a las muestras de prueba estándar. El asentamiento con el 6% de adición se obtuvo una buena mezcla plástica. La absorción con el 6% de la adición resulto ser baja, además, el peso unitario más alto alcanzado por el hormigón fue del 6% de adición de cenizas”.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Cemento Portland**

Se define al cemento como un polvo fino aglutinante, cuyas propiedades aglomerantes y ligantes al hacer contacto con el agua se endurecen. Al adicionarle agua, se convierte en una pasta homogénea capaz de endurecer y conservar su estructura, incluso a pesar de un nuevo contacto con el agua. Dentro de los cementos, y entre los más comunes está el denominado cemento Portland, al cual se lo define como un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker y cuya composición es de silicatos de calcio hidráulicos que contienen generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda. (Canal Construcción © 2018).

El cemento Portland, es un polvo de color gris, más o menos verdoso, de gran valor como material estructural, a consecuencia de alcanzar dureza pétreo después de ser amasado con agua, es también un aglomerante hidráulico por excelencia (SAAVEDRA, 2013).

Según Aspidín, el cemento Portland es un alúmino silicato de calcio. En consecuencia, identificaremos 5 categorías de cemento Portland cada una con sus respectivas características físicas y químicas específicas:

- Tipo I: El cemento normal, el que todos conocemos, usado en la construcción de obras de hormigón en general, viviendas, estructuras, edificaciones, etc. Libera más calor de hidratación que otros tipos de cemento.
- Tipo II: Tiene una resistencia media a los ataques de sulfatos y se utiliza en obras de construcción en general y en construcciones expuestas a la acción moderada de los sulfatos o que requieren un calor de hidratación moderado. Por lo general este cemento es utilizado en la realización de tuberías de hormigón y puentes.
- Tipo III: Este desarrolla una alta resistencia en un tiempo menor, en 3 días su resistencia a la compresión es la misma que las del tipo I o II en 7 días. Se utiliza por ejemplo para la construcción de elementos prefabricados o construcciones de emergencia.
- Tipo IV: Es un cemento de secado lento por lo que no genera gran cantidad de calor de hidratación siendo ideal para chorreas masivas que no requieran una alta resistencia inicial. Para lograr esto se regulan las cantidades de silicato tricálcico y aluminato tricálcico. Es utilizado en estructuras de hormigón muy grandes, como los diques.
- Tipo V: Este cemento se usa en la construcción de elementos y obras que necesiten una resistencia elevada al ataque concentrado de sulfatos y álcalis. Se utiliza por ejemplo en la construcción de alcantarillas, canales de conducción e infraestructuras portuarias (SANJUAN & CHINCHON, 2005).

Los cementos Portland tipos Ia, IIa y IIIa tienen la misma composición que los tipos I, II y III normales. La diferencia está en que los tipos Ia, IIa y IIIa tienen un agente incorporador de aire que se muele en la mezcla. La incorporación de aire debe cumplir con la especificación opcional de mínimo y máximo que se encuentra en el

manual de la ASTM. Estos tipos solo están disponibles en el este de Los Estados Unidos y Canadá, la incorporación de aire a este tipo de cementos, mejora considerablemente la resistencia a la congelación cuando hay bajas temperaturas. (Canal Construcción © 2018).

### **2.2.2. Concreto**

Se denomina concreto a la mezcla de cemento, arena gruesa, piedra y agua, que se endurece conforme avanza la reacción química del agua con el cemento. La cantidad de cada material en la mezcla depende de la resistencia que se indique en los planos de estructuras. Siempre la resistencia de las columnas y de los techos debe ser superior a la resistencia de cimientos y falsos pisos. Después del vaciado, es necesario garantizar que el cemento reaccione químicamente y desarrolle su resistencia. Esto sucede principalmente durante los 7 primeros días, por lo cual es muy importante mantenerlo húmedo en ese tiempo. A este proceso se le conoce como curado del concreto. (ACEROS AREQUIPA, 2017).

#### **2.2.2.1. Diseño de mezclas de concreto (ACI COMMITTEE 211, 2002)**

El método ACI es un método que permite encontrar la dosificación para el diseño de mezclas del concreto; consiste en medir los materiales (cemento, agua, piedra y arena) en peso y volumen, y se diseña tanto para mezclas en estado fresco como endurecido.

Para diseñar la mezcla de este trabajo de investigación debemos tener en cuenta lo siguiente:

- Cemento: Mochica Tipo I (bolsa roja)
- Agregados: Agregado Grueso (piedra de 1/2”), Agregado Fino (Arena Gruesa)
- Agua

- Cascarilla de arroz y Ceniza de cascarilla de arroz (CCA)

### **2.2.2.1.1 Consideraciones para el diseño de las mezclas (MADRID, 1977)**

Lo que realmente buscamos en el diseño de mezcla es obtener una pasta uniforme y con poco volumen de vacíos que nos permita cumplir con las propiedades requeridas.

Antes de realizar el diseño de la mezcla debemos tener conocimiento de la siguiente información:

- Los materiales
- El elemento estructural a vaciar y dimensiones.
- Resistencia a la compresión
- Condiciones ambientales durante el vaciado.
- Condiciones a la cual estará expuesta la estructura.

### **2.2.2.1.2 Parámetros básicos en el comportamiento del concreto (MADRID, 1977)**

#### **a) La Trabajabilidad**

La facilidad de colocar, fijar y dar el acabado al concreto fresco y la resistencia que no permitirá la segregación de los materiales que lo conforman durante el transporte se llama trabajabilidad. Una manera práctica para determinar la trabajabilidad de una mezcla consiste en medir su fluidez, mediante el ensayo del asentamiento o revenimiento haciendo uso del cono de Abrams.

#### **b) La Resistencia**

La resistencia a la compresión es la característica más importante de un concreto, definiéndose como la capacidad que soporta una carga sobre una unidad de área. El ensayo se realiza sobre probetas de forma cilíndricas que

son elaboradas en moldes especiales, cuyas dimensiones son 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

### **c) La Durabilidad**

Es la habilidad que tiene el concreto para resistir el intemperismo, la abrasión y cualquier otro proceso que produzcan deterioro. No dependerá sólo del diseño de mezcla, sino que también estará en función de las condiciones medioambientales y el uso a la que se encontrará una estructura.

#### **2.2.2.1.3 Valores requeridos para el diseño de mezcla por el método ACI (MADRID, 1977)**

- Elección del revenimiento
- Elección del tamaño máximo de agregado
- Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire
- Selección de la relación agua- cemento
- Cálculo del contenido de cemento
- Estimación del contenido de agregado grueso
- Estimación del contenido de agregado fino
- Ajuste por humedad del agregado
- Ajustes en las mezclas de prueba

### **2.2.3. Concreto en estado fresco**

#### **2.2.3.1. Asentamiento (NTP 339.035) (INDECOPI, 2008)**

El asentamiento es el índice que mide la consistencia del concreto, con relación a su fluidez.

La NTP 339.035 establece que el asentamiento o Slump consta en poner una muestra de hormigón en estado plástico (recién mezclado) dentro de un molde en

forma de cono truncado. Se llenará el cono en tres capas y en cada capa compactaremos dándole 25 golpes con la varilla perpendicularmente y en sentido circular. El molde se levantará, y se deja que caiga el hormigón por efecto de la gravedad. Medimos la distancia vertical entre la varilla y el centro de la mezcla desplazada y se anotamos el valor del asentamiento del hormigón.

El revenimiento es generalmente está ligado al incremento proporcional del contenido de agua que tiene la mezcla fresca e inversamente relacionado con la resistencia del concreto.

**Tabla 1:** Concretos según su consistencia

TIPOS DE CONCRETOS	SLUMP
Estándar	0" a 4"
Plastificante	4" a 6"
Superplastificante	6" a 8"
Rheoplástico	>8"

**Fuente:** Tello, 2008.

## 2.2.4. Concreto en estado endurecido

### 2.2.4.1. Resistencia a la compresión (NTP 339.034) (INDECOPI, 2008)

El ensayo de resistencia a la compresión es la prueba que comúnmente se ha sometido al concreto en estado endurecido. Hay una relación inversamente proporcional entre la resistencia y la relación agua-cemento, la cual está directamente relacionada con la calidad del hormigón.

La NTP 339.034 establece el procedimiento para poder determinar la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de concreto.

Las muestras o probetas se preparan en tres capas iguales, apisonándose 25 veces por cada capa. Una vez acabada la superficie, las probetas se conservan en el molde o encofrado durante las primeras 24 horas. Después, se extraen del encofrado y se curan en agua.

Este ensayo consiste en aplicar una carga axial perpendicular a la superficie los moldes cilíndricos a una velocidad tal que se encuentre dentro del rango especificado antes que la ocurra la falla. El esfuerzo a la compresión de la muestra se calcula al dividir la máxima carga que se obtiene durante el ensayo sobre el área de la sección transversal de la muestra. Esta se expresa en  $\text{kg/cm}^2$  a 28 días después del curado. Los cilindros para pruebas de aceptación deben tener un tamaño de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura.

### **2.2.5. Agregados**

Agregado según la ASTM se define como aquel material granular que puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, que será mezclado con un material cementante para la elaboración de concreto o mortero hidráulico. Existen diferentes clasificaciones de los agregados, que van desde el color, su composición química como por ejemplo la piedra caliza, granito, basalto etc.; su tamaño: agregados gruesos y agregados finos; peso y su origen. (FERREX, 2018).

#### **2.2.5.1. Agregado Grueso**

Sabiendo que el concreto es una piedra artificial, el agregado grueso es el insumo principal para fabricar el concreto. En consecuencia, se debe usar la cantidad necesaria y del tamaño correspondiente, teniendo en cuenta las condiciones para su colocación y resistencia. Hasta para poder alcanzar la resistencia de  $250 \text{ kg/cm}^2$  debemos utilizar el mayor tamaño posible del agregado grueso. (BERNA, 2009).

### **2.2.5.2. Agregado Fino**

El agregado fino o arena se usa principalmente como un llenante, además actúa como lubricante para el desplazamiento de los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto. La falta de arena se refleja mayormente en la aspereza de la mezcla y un exceso de arena demanda mayor cantidad de agua para obtener un asentamiento determinado, ya que entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y al requerir mayor cantidad de agua, esta necesitará mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación agua cemento. (BERNA, 2009).

### **2.2.5.3. Caracterización de Agregados Grueso - Fino**

Para la caracterización de los agregados se realizará los siguientes ensayos:

#### **a) Análisis Granulométrico (NTP 400.012) (INDECOPI, 2008)**

El objetivo principal de este ensayo es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo, además es también posible su clasificación AASHTO o USCS.

Para poder obtener la distribución de tamaños, se hace uso de tamices normalizados y numerados, que se colocan en orden decreciente.

ESPINACER R. dice que, para suelos cuyo tamaño de partículas es mayor a 0,074 mm. (74 micrones) se utilizan los tamices de abertura y numeración que son indicados en la tabla N° 02.

Para suelos con menor tamaño a 0.074 mm. (74 micrones), se utiliza el método del hidrómetro, el cual se basa en la Ley de Stokes. El análisis granulométrico consta en hacer pasar el agregado fino o grueso a través de los tamices ya mencionados. La designación de tamices se hace de acuerdo a la abertura de la malla medida en milímetros o en micras.

**Tabla 2:** Tabla de numeración y abertura de tamices

Tamiz (ASTM)	Tamiz (Nch) (mm.)	Abertura real (mm.)	Tipo de suelo
3"	80	76,12	Piedra
2"	50	50,80	
1 ½"	40	38,10	
¾"	20	19,05	
3/8"	10	9,52	
N° 4	5	4,76	Arena Gruesa
N° 10	2	2,00	Arena Media
N° 20	0,90	0,84	
N° 40	0,50	0,42	
N° 60	0,30	0,25	Arena Fina
N° 140	0,10	0,105	
N° 200	0,08	0,074	

Fuente: Espinacer R., 1984.

- **Curva Granulométrica:**

Los resultados que se obtiene del análisis mecánico, son representados sobre una hoja semilogarítmica, por una curva llamada "granulométrica". Los porcentajes que se indican son acumulados.

- **Módulo de Finura:**

El módulo de finura es un factor que nos permite tener una idea de que tan fino o grueso es un material.

- **Tamaño Máximo:**

Este es el menor tamaño de abertura del tamiz que va a permitir el paso de todo el material que se va analizar y que va a representar su tamaño máximo.

- **Tamaño Máximo Nominal:**

El tamaño máximo nominal de las partículas es el mayor tamaño del tamiz, listado en la norma. El tamaño máximo y el tamaño máximo nominal se determinan generalmente al agregado grueso únicamente.

b) **Contenido de Humedad (NTP 339.185) (INDECOPI, 2008)**

Este ensayo determina la cantidad de agua superficial que pueden retener en algún momento los agregados y es una característica muy importante que va contribuir al incremento del agua de la mezcla en el concreto, razón por la cual se debe tomar en consideración junto con la absorción para luego realizar las correcciones en el proporcionamiento de las mezclas.

Los agregados se pueden presentar en las siguientes condiciones: totalmente seco, parcialmente seco, saturado y superficialmente seco y húmedos.

- **Totalmente Seco**

Se logra al colocar la muestra al horno a 110°C durante 24 horas hasta que tengan un peso constante.

- **Parcialmente seco**

Se logra cuando la muestra se seca superficialmente al aire libre.

- **Saturado y Superficialmente seco (SSS)**

Se logra cuando los poros de los agregados se encuentran llenos de agua, pero al mismo tiempo estos se encuentran superficialmente secos. Este estado solo podrá lograrse en el laboratorio.

- **Totalmente Húmedo**

Se logra cuando el material se encuentra totalmente húmedo y además existe agua libre superficial.

**c) Peso Unitario Volumétrico (NTP 400.017) (INDECOPI, 2008)**

Es la relación que existe entre el peso del agregado y el volumen que ocupa el mismo, y es expresado en  $\text{Kg/m}^3$ . Se aplica para conocer el consumo de agregados por metro cúbico.

Hay dos tipos de Pesos Unitarios: Peso Unitario Suelto (PUS) y Peso Unitario Compacto (PUC).

**- Peso Unitario Suelto**

En este ensayo se establece la relación peso/volumen dejando caer por su propio peso desde una cierta altura el agregado (10 cm – 15 cm aproximadamente), sobre un recipiente de volumen conocido y constante. Este valor nos permite transformar pesos en volúmenes y viceversa cuando se trabaja con agregados.

**- Peso Unitario Compacto**

El procedimiento es parecido al del Peso Unitario Suelto, solo que compactando el agregado dentro del molde. El valor del Peso Unitario Compacto nos sirve para el diseño de mezcla con el método ACI (American Concrete Institute).

**Tabla 3:** Clasificación de los Agregados por su Peso Unitario

CLASIFICACIÓN	PESO UNITARIO
<b>Pesados</b>	> 1900
<b>Normales</b>	1120 – 1900
<b>Livianos</b>	< 1120

**Fuente:** Huaroc, 2017.

**d) Peso Específico (NTP 400.022) (INDECOPI, 2008)**

Es la relación que hay entre el peso de un cierto volumen de sólidos (en el aire) a una determinada temperatura y el peso del mismo volumen de agua destilada (en el aire), a la misma temperatura.

**e) Absorción (NTP 400.022) (INDECOPI, 2008)**

Los valores de absorción sirven para poder calcular la masa de un agregado que varía debido al agua absorbida entre los poros de las partículas que lo constituyen, comparado a la condición seca, cuando este ha estado en contacto con el agua lo suficiente para poder satisfacer la absorción máxima.

### **2.2.6. Agua**

El agua es un componente muy importante para la elaboración de mezclas de concreto y morteros, pues va a permitir que el cemento pueda desarrollar su capacidad ligante. Para cada una de las cuantías del cemento existe diversas cantidades de agua que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para hacerla más fluida la pasta y pueda cumplir la función de lubricante de los agregados y obtener así la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que ha quedado dentro de la mezcla y que cuando fragua el concreto crea porosidad, reduciendo la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino incorporando aditivos plastificantes. (BERNA, 2009).

## **2.3. Definición de términos básicos**

### **2.3.1. Durabilidad del Concreto**

Según el **ACI**, define a la durabilidad del concreto como:

La habilidad para resistir la acción del intemperismo, el ataque químico, abrasión, y cualquier otro proceso o condición de servicio de las estructuras, que produzcan deterioro del concreto.

La conclusión primordial que se desprende de esta definición es que la durabilidad no es un concepto absoluto que dependa sólo del diseño de mezcla, sino que está en función del ambiente y las condiciones de trabajo a las cuales lo sometamos.

Por lo tanto, no existe un concreto “durable” por sí mismo, ya que las características físicas, químicas y resistentes que pudieran ser adecuadas para ciertas circunstancias, no necesariamente lo habilitan para seguir siendo “durable” bajo condiciones diferentes.

En consecuencia, el problema de la durabilidad es sumamente complejo en la medida en que cada situación de exposición ambiental y condición de servicio ameritan una especificación particular tanto para los materiales y diseño de mezcla, como para los aditivos, la técnica de producción y el proceso constructivo, por lo que es usual que en este campo las generalizaciones resulten nefastas.

Según **Bryant Mather**, en su libro “Reflexiones sobre la durabilidad del hormigón”, sostiene que:

Está demostrado científicamente que las estructuras de concreto se comportan inadecuadamente debido a que las especificaciones técnicas fueron deficientes o que éstas fueron correctas, pero no se siguieron en la obra.

Entre los factores que determinan la durabilidad del concreto están:

- I. Congelamiento y descongelamiento (Freezing Thawing).
- II. Ambiente químicamente agresivo.
- III. Abrasión.

IV. Corrosión de metales en el concreto.

V. Reacción química en los agregados

### **2.3.2. Utilización de Micro-sílice**

#### **2.3.2.1. Antecedentes Históricos**

**Jerez, J. y Rivas, F. (2013)** sostuvieron que:

Los primeros usos reconocidos de este material en hormigones de tipo estructural fueron en Noruega en 1971. Posteriormente en Suecia, Dinamarca y Noruega las plantas de premezclado comenzaron a incorporar micro sílice en sus hormigones, iniciándose trabajos sistemáticos de investigación. En E.E.U.U y Canadá las aplicaciones se iniciaron a fines de los años 70. El primer intercambio oficial de información técnica se produjo en la Primera Conferencia Internacional en Cenizas Volantes, Silica Fume, Escorias de alto horno y otros subproductos de minerales en hormigón, en Canadá en 1983.

#### **2.3.2.2. La Micro-sílice como aditivo para el concreto**

**Seguel**, sostiene que:

La micro sílice, es un material puzolánico que puede producir hormigones de alta resistencia cuando es agregado al cemento, se conoce su importancia desde hace ya más de 50 años aproximadamente por las renombradas propiedades que le ocasionan al hormigón en el tema de la construcción: mayor resistencia a la compresión, mayor resistencia a los ataques de ácidos y sulfatos, menor permeabilidad.

Según **Salazar**, sostiene lo siguiente:

Se consideran generalmente como puzolanas los materiales que, carentes de propiedades cementicias y de la actividad hidráulica por sí solos, contienen constituyentes que se combinan con cal a temperaturas ordinarias y en presencia de

agua, dando lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos. En tal sentido, las puzolanas dan propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico como es la cal.

### **2.3.2.3. Micro-Sílice a partir de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA)**

#### **2.3.2.3.1 Cascarilla de arroz**

**Silvana Cerón** nos dice que:

El arroz es uno de los alimentos más comunes e importantes en el mundo por lo que se generen altas producciones anuales. Sólo en nuestro país, en el año 2006 se registró una producción de 450 mil toneladas de arroz - cáscara de las cuales el 20 % representó a la cascarilla de arroz (90 mil toneladas anuales).

**César Yrupaila**, considera que:

La cascarilla de arroz no presenta propiedades nutritivas significativas, porque presenta un alto contenido de Dióxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ), lo cual lo hace imposible de ingerir como alimento, además de contener un bajo contenido de celulosa (40% aproximadamente), presenta un valor nulo por ser desecho y no se le ha dado un uso adecuado para conferirle un valor agregado y por esto existe la factibilidad de poder utilizarlo como combustible con las briquetas.

**Juárez**, sostiene que:

“La cascarilla de arroz cuando es quemada produce bastante ceniza (una tonelada por cinco de cáscara)”. En las siguientes tablas se muestra la cantidad de ceniza de distintos cereales, y también se muestra la composición química de la cáscara de arroz.

**Tabla 4:** Cantidad de ceniza por distintos cereales

Cosecha	Parte de la planta	Ceniza (porcentaje en peso)
MAÍZ	Hoja	12
ARROZ	Cáscara	20
ARROZ	Paja	14
SORGO	Hoja	12
CAÑA DE AZÚCAR	Bagazo	15
GIRASOL	Hoja Y Tallo	11
TRIGO	Hoja	10

**Fuente:** Juárez, 2012.

Vásquez, R. y Vigil, P., sostuvieron que:

La lignina y la celulosa presentes en la cáscara de arroz pueden ser eliminadas por combustión controlada y en la ceniza queda sólo la sílice.

**Tabla 5:** Composición química de la cáscara de arroz

Componente	Fórmula	Composición
Celulosa: polímero de glucosa	$C_5H_{10}O_5$	50%
Lignina: polímero de fenol	$C_7H_{10}O_3$	30%
Sílice: componente primario de ceniza	$SiO_2$	20%

**Fuente:** Vásquez, R., Vigil, P., (2003).

Taylor y Odler, sostuvieron lo siguiente:

Existen innovadoras prácticas orientadas a incrementar la eficiencia energética de las industrias surgiendo la necesidad de encontrar un uso eficiente para las cenizas de cascarilla de arroz. Durante el proceso de calcinación que se hace aproximadamente en dos horas y cuya temperatura oscila entre los 400 a

800 °C, los compuestos orgánicos de la cascarilla se eliminan y estos son liberados en forma de gases de combustión por la chimenea del horno, obteniéndose finalmente el SiO<sub>2</sub> (óxido de silicio) en 81.90% y que, en consecuencia, posee una gran actividad puzolánica.

Con el fin de abaratar costos en la producción de los cementos se han venido utilizando desechos industriales y agrícolas que presentan propiedades puzolánicas.

#### 2.4. Hipótesis

Al ser la ceniza de cascarilla de arroz un material puzolánico con un porcentaje muy alto de sílice en su composición, y siendo la sílice el elemento principal en la producción del cemento; postulamos que la ceniza de cascarilla de arroz aportará mayor resistencia a la compresión en la elaboración de concreto.

**Tabla 6:** Componentes Metodológicos y Referenciales de la Hipótesis

HIPÓTESIS	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	VARIABLES	UNIDAD DE ANÁLISIS	CONECTORES LÓGICOS	EL ESPACIO	EL TIEMPO
Al ser la ceniza de cascarilla de arroz un material puzolánico con un porcentaje muy alto de sílice en su composición, y siendo el sílice el elemento principal en la producción del cemento; postulamos que la ceniza de cascarilla de arroz aportará mayor resistencia a la compresión en la elaboración de concreto.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ceniza de cascarilla de arroz (CCA).</li> <li>2. Cascarilla de arroz.</li> <li>3. Resistencia a la compresión.</li> </ol>	Probetas de concreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumenta</li> <li>- Disminuye</li> </ul>	La ciudad de Trujillo	2018

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Operacionalización de variables

#### 3.1.1. Variables independientes

- Cascarilla de arroz al 8%, 12% y 16%.
- Ceniza de cascarilla de arroz (CCA) al 8%, 12% y 16%.

#### 3.1.2. Variables dependientes

- Resistencia a la Compresión.

**Tabla 7:** Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	UNIDAD
<b>Dependiente</b>	Resistencia a la compresión	La resistencia a la compresión es la característica más importante de un concreto, definiéndose como la capacidad que soporta una carga sobre una unidad de área.	Ensayo de Resistencia a la Compresión	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Independiente</b>	Cascarilla de Arroz	Constituye un subproducto del proceso agroindustrial con aplicaciones reducidas, que en la práctica puede considerarse como un material de desecho.	Peso	Kg
	Ceniza de Cascarilla de Arroz (CCA)	La ceniza de cascarilla de arroz es un material con escasas propiedades cementicias y actividad hidráulica por sí sola, por su carácter puzolánico al estar en presencia de agua genera compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos, dando propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico.	Peso	Kg

**Fuente:** Propia, 2018

### 3.2. Diseño de investigación

Investigación experimental.

### 3.3. Material

#### 3.3.1. Unidad de estudio

Concreto con sustitución del cemento por cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla de arroz (CCA).

#### 3.3.2. Población

Son todas las probetas diseñadas en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte – sede San Isidro con sustitución de 8%, 12% y 16% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y cascarilla de arroz.

#### 3.3.3. Muestra

Nuestra muestra es **NO PROBABILÍSTICA**, hecha por conveniencia para un mejor estudio. Se estipuló una muestra total de 56 probetas de concreto de la siguiente manera:

**Tabla 8:** Distribución de la muestra

CONTROL	CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ			CASCARILLA DE ARROZ		
	0%	8%	12%	16%	8%	12%
8	8	8	8	8	8	8

**Fuente:** Propia, 2018.

#### 3.3.4. Características de la muestra

Los ensayos se realizarán en probetas cilíndricas de concreto de 15 cm x 30 cm tal como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 4:** Dimensiones de la muestra cilíndrica.

La norma NTP 339.034, sugiere realizar 3 réplicas de concreto de 15 cm x 30 cm, por conveniencia, se realizará las repeticiones especificadas se distribuyeran de la siguiente manera:

Para el ensayo de resistencia a la compresión, se emplearán 56 probetas cilíndricas de concreto de 15 cm x 30 cm, donde se realizará la variación de 3 diferentes porcentajes de cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla de arroz (CCA) al 8%, 12%, 16%, aplicándose 8 réplicas para cada diseño, de acuerdo a la norma NTP 339.034. A estas probetas se les aplicará una carga mediante una prensa hidráulica a los 7, 14 y 28 días del curado.

### 3.3.5. Diseño de contrastación

En esta investigación se realizó un diseño experimental unifactorial, donde el porcentaje de sustitución de cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla de arroz (CCA) fue al 8%, 12%, 16%, aplicándose 8 réplicas por cada diseño de mezcla para evaluar la resistencia a la compresión del concreto en un intervalo de tiempo (7, 14 y 28 días) para bloques en la construcción representado por la siguiente tabla:

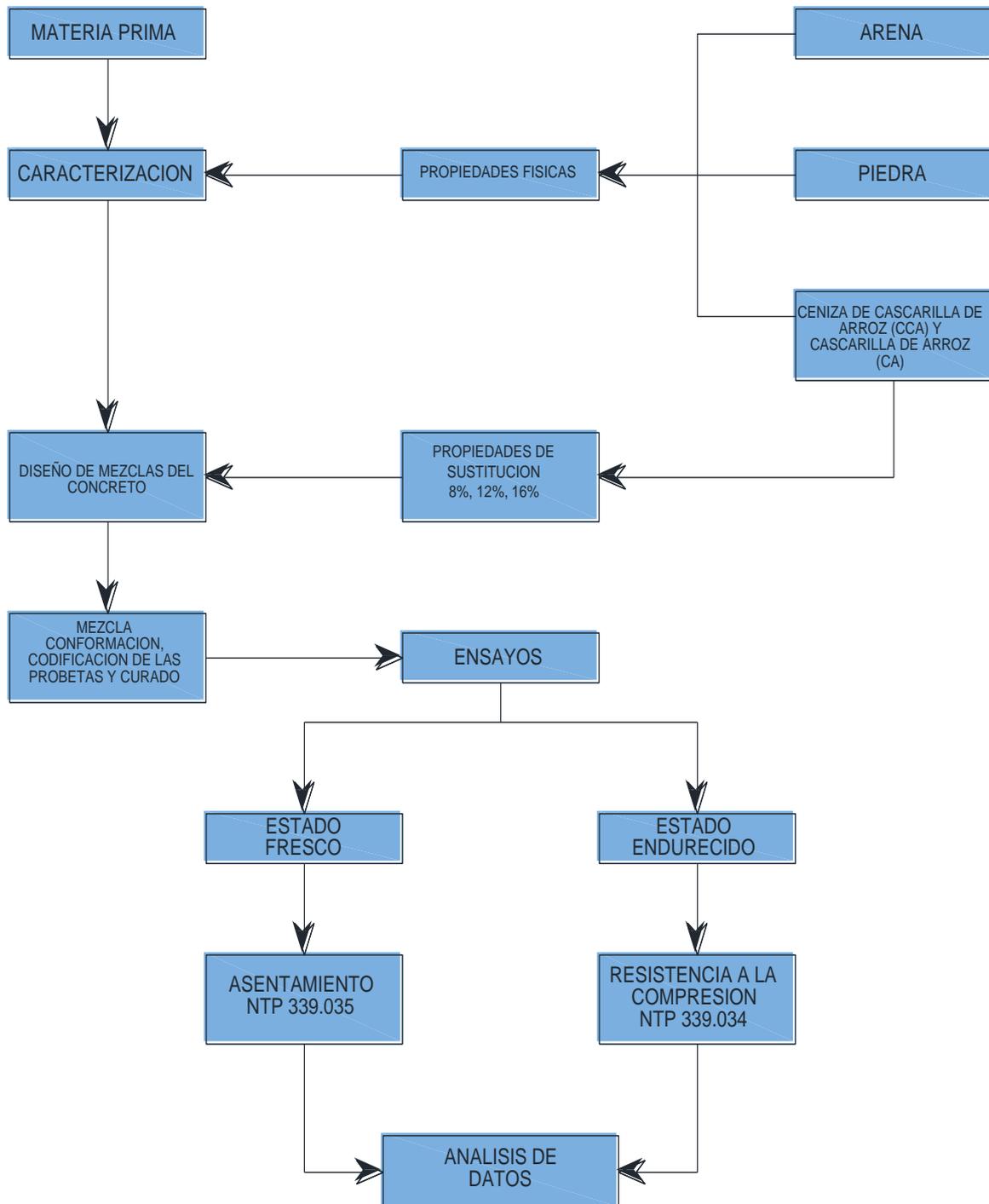
**Tabla 9:** Matriz de diseño

<b>PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN</b>						
<b>TIEMPO</b>	<b>CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA)</b>			<b>CASCARILLA DE ARROZ</b>		
	<b>8%</b>	<b>12%</b>	<b>16%</b>	<b>8%</b>	<b>12%</b>	<b>16%</b>
<b>7 DÍAS</b>	R.C	R.C	R.C	R.C	R.C	R.C
<b>14 DÍAS</b>	R.C	R.C	R.C	R.C	R.C	R.C
<b>28 DÍAS</b>	R.C	R.C	R.C	R.C	R.C	R.C

**Fuente:** Propia, 2018.

### 3.4. Técnicas, Instrumentos y Procedimientos de datos

#### 3.4.1. Procedimientos Experimentales



**Figura 5:** Circuito de procedimiento experimental.

### 3.4.2. Diseño de contrastación

Se usará Cemento Mochica para uso general de la empresa Pacasmayo, agregados de arena gruesa y piedra de 1/2” de la cantera “El Milagro” en el distrito de Huanchaco. En el distrito de Guadalupe, provincia de Pacasmayo, adquirimos la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) de una ladrillera el cual la utilizó como combustible para el horneado de ladrillos artesanales, además la cascarilla de arroz la conseguimos en la fábrica Molinera Inca en el distrito de Moche. Finalmente, el agua potable la obtuvimos de la localidad de Trujillo.

#### **Cascarilla de arroz**

La cascarilla de arroz está constituida en más de un 80% de sílice, sus dimensiones varían de 4 – 14 mm de largo, 2 – 4 mm de ancho y un espesor aproximado de 50  $\mu\text{m}$  debido a la gran variedad que existe de arroz en cáscara.

En su investigación Echeverría (2010), hace un acercamiento microscópico a la cascarilla de arroz donde pudo observar la parte exterior rugosa y la parte interior lisa, lo que influye en la humedad de la cáscara, su peso varía de 2.97 a 3.55 mg y su capacidad calórica es muy buena.

Según estudios realizados por CIPCA-Piura en 1990, se sabe que la deforestación en el departamento de Piura llega a 12,386 ha/año, y en Lambayeque a 10,848 ha/año. El 53% de la leña se usa en las ladrilleras artesanales, el 39% se destina al consumo doméstico y el resto se emplea para otros usos. En general se sabe que en los departamentos de la costa norte se extrae leña en volúmenes que exceden la capacidad de recuperación biológica de sus bosques naturales, conduciendo de este modo al exterminio de la especie de mayor importancia de la costa peruana. En ese sentido ITDG-Perú ha desarrollado con bastante éxito un proyecto piloto sobre la utilización

de la cascarilla de arroz como combustible, para la fabricación de ladrillos en Piura (Perú) y actualmente está en condiciones de hacer una diseminación a nivel nacional de los resultados. Este proyecto fue ejecutado con un importante cofinanciamiento del Programa APGEP-SENREM, con recursos de la Agencia Internacional para el desarrollo (AID). (SÁNCHEZ & RAMÍREZ).

### **Ceniza de cascarilla de arroz (CCA)**

La cascarilla de arroz en estado natural puede provocar problemas en el fraguado del hormigón, así como en la resistencia que éste presente debido a que es un componente orgánico, previo a la utilización la cascarilla de arroz debe someterse a calcinación a una temperatura entre 400 y 800°C, de lo cual se obtendrá la ceniza de cascarilla de arroz (CCA), a una temperatura más elevada la sílice presentará una fase de cristalización la cual no reaccionará fácilmente. (ORTIZ VIZUETE & BASTIDAS GUTIÉRREZ, 2016).

El proceso de obtención de la CCA es una fuente de energía, puesto que durante la quema el contenido de celulosa y lignina producen un impacto ambiental muy bajo, no obstante, la contaminación se produce al no almacenar o dar un buen uso a la CCA. (ORTIZ VIZUETE & BASTIDAS GUTIÉRREZ, 2016).

#### **3.4.3. Recolección, calcinación, molienda y tamizado de la ceniza de la cascarilla de arroz (CCA)**

**a) Recolección:** Se procedió a recolectar las muestras de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y otros componentes (paja seca, madera, etc.) de un horno artesanal que fue utilizado como combustible para la quema de ladrillos en el distrito de Guadalupe, provincia de Pacasmayo, cuyo horno se mantuvo encendido por 4 días.

La toma de las muestras de ceniza se realizó de acuerdo a la norma ASTM D 75 o NTP 400.010, cuyo procedimiento consta en tomar 3 muestras similares al azar en toda el área de la chimenea y mediante el método del cuarteo quedarnos con una muestra representativa.

- b) **Molienda:** La ceniza de cascarilla de arroz (CCA) fue pulverizada en un molino de mano.
- c) **Tamizado:** Se tamizó la muestra representativa con el fin de obtener partículas más finas. Para ello se utilizaron las mallas #100 (0,150 mm) y la malla #200 (0,075 mm), con los cuales obtuvimos una mezcla más homogénea.

#### 3.4.4. Propiedades de la ceniza de la cascarilla de arroz (CCA)

##### Propiedades Químicas de la CCA:

**Tabla 10:** Composición Química de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA)

COMPOSICIÓN	%
Pérdida por calcinación	-
Residuo insoluble	0,17
Anhídrido Silícico SiO <sub>2</sub>	91,26
Oxido Alumínico Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,94
Oxido Férrico Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37
Oxido Cálcico CaO	2,15
Oxido Magnésico MgO	0,88

Fuente: (CHAVEZ & MARTINEZ, 2015).

**Tabla 11:** Composición Química de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA)

COMPOSICIÓN	%
Humedad (H <sub>2</sub> O)	8,10
Base Seca	14,00
Pérdida de calcinación (M.O)	
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	63,00
Alúmina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1,60
Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,26
Oxido Cálxico (CaO)	20,10
Oxido Magnésico (MgO)	1,70

Fuente: Propia.

Por su alto contenido de sílice se consideró en su estudio, que la ceniza sola no posee ninguna propiedad cementante, pero al reaccionar con el hidróxido de calcio libre que deja el cemento al fraguar, adquiere dicha propiedad.

#### Propiedades Físicas de la CCA:

**Tabla 12:** Propiedades Físicas de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA)

PROPIEDADES	VALOR
Densidad(sss) kg/m <sup>3</sup>	2265
Masa Unitaria compactada kg/m <sup>3</sup>	452
Masa Unitaria suelta kg/m <sup>3</sup>	181
Superficie específica m <sup>2</sup> /kg	2000

Fuente: (ALLAUCA, AMER, & LUNG, 2009).

La densidad de la ceniza puede considerarse para compararla con la del cemento, lo que podrá influir en la densidad del hormigón.

### 3.4.5. Caracterización de los agregados

#### a) Ensayo Granulométrico – Determinación del Módulo de Finura (NTP 400.012) Agregado Fino y Grueso (INDECOPI, 2008)

- Obtener una muestra representativa del agregado fino y grueso, esta muestra debe estar secada al aire.
- Colocar las mallas de diámetro mayor a menor (N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, y Fondo) para agregado fino y para agregado grueso colocaremos igualmente las mallas de diámetro mayor a menor (1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, y Fondo).
- Colocar material.
- Realizar el proceso de vibración de las mallas (máquina vibratoria).
- Pesar el contenido retenido en cada malla.
- Determinar el módulo de finura del agregado fino.
- El módulo de finura para el agregado fino, se determina con la suma de los porcentajes retenidos acumulados en dichas mallas.

$$MF = \frac{(\sum \% \text{ retenidos acumulados en las mallas } 3/8", N^{\circ} 4, N^{\circ} 16, N^{\circ} 20, N^{\circ} 30, N^{\circ} 50, N^{\circ} 80, N^{\circ} 100, N^{\circ} 200)}{100}$$

- El tamizado se efectuará de la forma mencionada anteriormente.
- Mostraremos a continuación la tabla de los tamices que se usan con mayor frecuencia, para el análisis granulométrico del agregado fino.

**Tabla 13:** Tamices más empleados en el análisis granulométrico del agregado fino

TAMIZ (ASTM)	LUZ (mm)
3/8"	9,5
N° 4	4,75
N° 8	2,36
N° 16	1,18
N° 30	0,60
N° 50	0,30
N° 100	0,15

Fuente: Propia, 2018.

Tabla de los tamices más utilizados para el análisis granulométrico del agregado grueso.

**Tabla 14:** Tamices más empleados en el análisis granulométrico del agregado grueso

TAMIZ (ASTM)	LUZ (mm)
2"	50,00
1 1/2"	37,50
1"	25,00
3/4"	19,00
1/2"	12,50
3/8"	9,50
N° 4	4,75
N° 8	2,36
N° 16	1,18
N° 50	0,30

Fuente: Propia, 2018.

Los resultados del tamizado deben expresarse en forma tabulada, como se muestra en la siguiente tabla, tabla N° 15.

**Tabla 15:** Determinación de la granulometría de agregados

Tamiz mm – pulg.	Masa Retenida (gr)	Porcentaje Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)

**Fuente:** Propia, 2018

En la tabla N° 15, se tiene lo siguiente:

**Columna (1):** En esta columna observamos los tamices usados en el análisis granulométrico en orden descendente.

**Columna (2):** En la siguiente columna se puede observar la masa retenida en cada tamiz (lo que se ha obtenido en laboratorio) ( $X_I$ ).

**Columna (3):** En esta columna se expresa cada valor  $X_i$  de la columna (2) como porcentaje de la masa total de la muestra  $X_T$  de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Y_i = \left( \frac{X_I \times X_T}{100} \right)$$

**Columna (4):** Se muestra en esta columna el acumulado de los porcentajes retenidos en cada tamiz:

Por ejemplo:  $Z_1 = Y_1$ ,  $Z_2 = Y_1 + Y_2$ ,  $Z_3 = Y_1 + Y_2 + Y_3$ , Hasta  $Z_n = 100\%$

**Columna (5):** Con el porcentaje retenido acumulado en cada tamiz se determina el porcentaje que pasa por cada tamiz  $T_i = 100 - Z_i$ . Este porcentaje que pasa es el más representativo para la representación gráfica de la granulometría (curva granulométrica).

### Curva Granulométrica

En la curva granulométrica se representa generalmente el porcentaje que pasa en el eje de las ordenadas y la abertura de la malla en el eje de las abscisas y en escala logarítmica. En la figura N° 6 se muestra el gráfico que será utilizado para representar la curva granulométrica.



**Figura 6:** Gráfico para construir la Curva Granulométrica.

**b) Determinación del Contenido de humedad (NTP 339.185) Agregado Fino y Grueso (INDECOPI, 2008)**

- Pesar la muestra de arena en estado natural ( $P_h$ ).
- Colocar en el horno a una temperatura de  $100\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  por 24 horas, hasta peso constante y determinar el peso seco ( $P_s$ ) de la muestra.

### **Determinación del Contenido de Humedad**

$$W\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Dónde:

$P_h$  : Peso húmedo de la muestra (gr).

$P_s$  : Peso seco de la muestra (gr).

W% : Contenido de Humedad (%).

### **c) Determinación del Peso Unitario Suelto y Compactado (NTP 400.017)**

#### **Agregado Fino y Grueso (INDECOPI, 2008)**

##### **Peso Unitario Suelto Seco**

- Pesar el recipiente o molde vacío.
- Determinar el volumen interno del recipiente en  $m^3$ .
- Verter la muestra a una altura aproximada de 15 cm sobre el borde superior del recipiente, hasta llenarlo.
- Enrazar la superficie con el agregado.
- Pesar la muestra y el molde.
- El procedimiento se debe repetir mínimo 3 veces, verificando una variación menor del 1%.

##### **Determinación del Peso Unitario Suelto Seco**

$$PUSS = \frac{A - B}{V}$$

Dónde:

PUSS : Peso Unitario Suelto Seco ( $kg/m^3$ ).

A : Peso del recipiente de medida más el agregado (kg).

$B$  : Peso del recipiente de medida (kg).

$V$  : Volumen de la medida ( $m^3$ ).

### **Peso Unitario Compactado Seco**

- Pesar el recipiente o molde vacío.
- Determinar el volumen interno del recipiente en  $m^3$ .
- Verter el material en el recipiente en 3 capas iguales, cada capa deberá ser compactada con una varilla con 25 golpes.
- Enrazar la superficie con la varilla.
- Pesar la muestra dentro del molde.

### **Determinación del Peso Unitario Compactado Seco**

$$PUCS = \frac{A - B}{V}$$

Dónde:

$PUCS$  : Peso Unitario Compactado Seco del agregado ( $kg/m^3$ ).

$A$  : Peso del recipiente de medida más el agregado compactado  
(kg).

$B$  : Peso del recipiente de medida (kg).

$V$  : Volumen de la medida ( $m^3$ ).

### **d) Determinación del Peso Específico y Absorción Agregado Fino (NTP 400.022) (INDECOPI, 2008)**

- Inicialmente se realiza la preparación de la muestra de ensayo por cuarteo.
- Se lava aproximadamente 1000 gr del material seleccionado por cuarteo.
- Se sumerge la muestra con agua y se deja en reposo por 24 horas.

- Se retira la muestra del agua y se inicia el proceso de secado en una estufa, hasta que las partículas puedan mezclarse libremente.
- En un molde de metal cónico se rellena en 3 capas compactando con un pisón 25 golpes por capa.
- Si existe humedad libre, el agregado fino mantendrá su forma al retirar el cono por lo que se seguirá revolviendo constantemente la muestra, se intenta nuevamente hasta que la muestra se derrumbe al momento de retirar el cono. Esto demostrará que el agregado ha alcanzado su condición de saturado superficialmente seco.
- Si en la realización del primer intento, al retirar el cono el agregado se desmorona, es porque la muestra ya no tiene humedad libre, en este caso se vuelve a repetir el proceso.
- Alcanzando el estado (SSS) se introduce de inmediato la muestra en una fiola que ha sido pesada con anterioridad, y posteriormente se pesa con la muestra introducida en dicha fiola.
- Enseguida se introduce agua en la fiola con la muestra y se hace rodar el frasco sobre una superficie plana, hasta que todas las burbujas de aire sean eliminadas.
- Después de 1 minuto, se llena con agua hasta la marca de  $500 \text{ cm}^3$  y se determina el peso de la fiola más el agua y más la muestra.
- Se retira con cuidado la muestra de agregado fino de la fiola y en seguida se pone a secar en el horno a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta peso constante.
- Obtener el peso seco de la muestra.

### Determinación del Peso Específico

$$P_{esp} = \frac{A}{B + S - C}$$

Dónde:

$P_{esp}$  : Peso Específico.

$A$  : Peso en el aire de la muestra secada en la estufa (gr).

$B$  : Peso de la fiola más el agua (gr).

$S$  : Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca  
SSS (gr).

$C$  : Peso de la fiola más muestra más agua (gr).

### Determinación del Porcentaje de Absorción

$$A\% = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Dónde:

$A\%$  : Porcentaje de Absorción (%).

$S$  : Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca  
SSS (gr).

$A$  : Peso en el aire de la muestra secada en la estufa (gr).

### e) Determinación del Peso Específico y Absorción Agregado Grueso (NTP 400.022) (INDECOPI, 2008)

- Se lava aproximadamente 5000 gr de agregado grueso.
- Se sumerge la muestra con agua y se deja en reposo por 24 horas.
- Se retira la muestra del agua, se extiende y se seca con un paño la superficie de dicha muestra.
- Pesar en el aire en condiciones SSS.

- Colocar en una cesta de alambre el material y pesar dentro del agua a una temperatura de 20°C. Manipular con cuidado para que la medida sea exacta.
- Finalmente secar la muestra a peso constante a una temperatura de 100 °C ± 5 °C, dejar enfriar y determinar su peso seco a temperatura ambiente.

#### **Determinación del Peso Específico**

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

Dónde:

$P_{esp}$  : Peso Específico.

$A$  : Peso en el aire de la muestra secada en el horno (gr).

$B$  : Peso en el aire de la muestra (gr).

$C$  : Peso en el agua de la muestra (gr).

#### **Determinación del Porcentaje de Absorción**

$$A\% = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Dónde:

$A\%$  : Porcentaje de Absorción (%).

$A$  : Peso en el aire de la muestra secada en el horno (gr).

$B$  : Peso en el aire de la muestra SSS (gr).

#### **3.4.6. Diseño de mezcla (ACI COMMITTEE 211, 2002)**

Después de haber desarrollado la caracterización de los agregados fino y grueso se precede a la elaboración del diseño de mezcla.

En el presente trabajo de investigación se desarrollará el Diseño de Mezclas por el Método ACI 211, tomando como datos las propiedades de los agregados fino y grueso.

## Pasos para el Proporcionamiento

### a) Determinar la Resistencia Promedio o Resistencia Requerida ( $f'_{cr}$ )

Si el valor de la desviación estándar es desconocido el comité del ACI nos indica aplicar la siguiente tabla, para la determinación de la resistencia promedio requerida.

**Tabla 16:** Resistencia a la compresión promedio

$f'_{c}$	$f'_{cr}$
Menos de 210	$f'_{c} + 70$
210 a 350	$f'_{c} + 84$
Sobre 350	$f'_{c} + 98$

Fuente: (LAURA, 2006).

$f'_{c}$ : Resistencia de Diseño o Resistencia característica

### b) Selección del Asentamiento (Slump)

El asentamiento puede escogerse de la siguiente tabla.

**Tabla 17:** Consistencia y Asentamientos

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO
Seca	0" (0 mm) a 2" (50 mm)
Plástica	3" (75 mm) a 4" (100 mm)
Fluida	$\geq 5"$ (125 mm)

Fuente: (LAURA, 2006).

**c) Selección del Tamaño Máximo Nominal del Agregado**

La Norma Técnica de Edificación E-0.60 prescribe que el agregado grueso no debe ser mayor de:

- 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrados; o
- 1/3 del peralte de la losa; o
- ¾ del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de pre – esfuerzo.

**d) Determinación del Contenido de Aire Atrapado**

El ACI 211 establece una tabla que proporciona aproximadamente el porcentaje del contenido de aire atrapado en una mezcla de concreto en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso.

La siguiente tabla indica la cantidad aproximada de contenido de aire atrapado que se espera encontrar en concretos sin aire incluido.

**Tabla 18:** Contenido de aire atrapado

<b>TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO</b>	<b>AIRE ATRAPADO</b>
3/8"	3,0%
1/2"	2,5%
¾"	2,0%
1"	1,5%
1 ½"	1,0%
2"	0,5%
3"	0,3%
4"	0,2%

**Fuente:** (LAURA, 2006).

### e) Determinación del Volumen de Agua

La cantidad de agua (por volumen unitario de concreto) que se requiere para producir un asentamiento dado, depende del tamaño máximo nominal del agregado, de la forma de las partículas y gradación de los agregados y de la cantidad de aire incluido.

La siguiente tabla proporciona una primera estimación del agua de mezclados para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado.

**Tabla 19:** Volumen de agua por metro cúbico

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA								
Asentamiento	Agua, en 1m <sup>3</sup> , para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
	Concretos sin aire incorporado							
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-

**Fuente:** (LAURA, 2006).

### f) Elección de la Relación agua/cemento

En la elección de la relación a/c existen dos criterios (por resistencia y por durabilidad) para la selección de la relación agua/cemento, de los cuales se elegirá al menor de los valores, con lo cual se garantiza el cumplimiento de los

requisitos de las especificaciones. Es importante que la relación agua/cemento seleccionada con base en la resistencia, satisfaga también los requerimientos de durabilidad.

En este trabajo de investigación se tomará en cuenta el criterio por resistencia.

### Por Resistencia

Para concretos preparados con cemento Portland Tipo I o cementos comunes, puede tomarse la relación agua/cemento de la siguiente tabla:

**Tabla 20:** Relación agua/cemento por resistencia

Resistencia a la compresión a los 28 días (f 'cr) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación agua/cemento del diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	...
400	0.43	...
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

**Fuente:** (LAURA, 2006).

### a) Cálculo del Contenido de Cemento

Cada vez que la cantidad de agua y la relación agua/cemento han sido determinadas, la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto se obtiene dividiendo la cantidad de agua por la relación agua/cemento.

$$P_{\text{cemento}} \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{V_{\text{agua}} \text{ (lts/m}^3\text{)}}{\text{Relación a/c (paraf'cr)}}$$

### b) Selección del Peso Específico del Cemento

Para seleccionar el Peso específico del cemento a utilizarse en la presente investigación, se tendrá en cuenta la siguiente tabla.

**Tabla 21:** Peso Específico del cemento mochica para uso general

PROPIEDADES FISICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.082 / ASTM C1157
Contenido de Aire	%	5	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.06	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	5470	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	4.0	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	2.99	NO ESPECIFICA

Fuente: (CEMENTOS PACASMAYO, 2016).

### c) Selección del Peso del Agregado Grueso

El contenido de agregado grueso se determina mediante la tabla N° 19 elaborada por el Comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. La tabla N° 19 permite obtener un coeficiente  $b/b_0$  resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en  $\text{kg/m}^3$ .

**Tabla 22:** Peso del agregado grueso por unidad de volumen concreto

TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO GRUESO		Volumen de ag. grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diferentes MF de ag. fino			
		MODULO DE FINEZA DE AGREGADO FINO			
mm	pulg	2.4	2.6	2.8	3
10	3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

**Fuente:** (LAURA, 2006).

Obtenido  $b/b_0$  se procede a calcular la cantidad de agregado grueso necesario para un metro cúbico de concreto, de la siguiente manera:

$$P. Sec. A. Grueso (kg/m^3) = \frac{b}{b_0} \times (P. Unitario Compactado de la A. Grueso)$$

**d) Cálculo de los Volúmenes Absolutos de los Materiales**

$$Vol. A. Fino (m^3)$$

$$= 1 - (Vol. Agua + Vol. Aire + Vol. Cemento + Vol. A. Grueso)$$

Dónde:

- $Vol. Agua = \frac{P. Agua}{P.e. Agua}$
- $Vol. Aire = Ver\ tabla\ N^{\circ}\ 14$
- $Vol. Cemento = \frac{P. Cemento}{P.e. Cemento}$
- $Vol. A. Grueso = \frac{P. A. Grueso}{P.e. A. Grueso}$

**e) Cálculo del Peso en Estado Seco del Agregado Fino**

$$Peso_{ag. fino} = (Volumen_{ag. fino}) \times (Peso\ específico_{ag. fino})$$

**f) Presentación del Diseño en estado seco**

- Agua: L/m<sup>3</sup>
- Cemento: kg/m<sup>3</sup>
- Piedra: kg/m<sup>3</sup>
- Arena: kg/m<sup>3</sup>

**g) Corrección del Diseño por el aporte de humedad de los agregados**

**h)** Hay que tener en cuenta la humedad de los agregados para pesarlos correctamente. Por lo general los agregados contienen humedad y a su peso seco debe sumarse el peso del agua que contienen, tanto absorbida como superficial.

$$Peso\ húmedo_{ag. grueso} = cantidad\ de\ ag.\ grueso \times \left(1 - \frac{\%W_{ag. grueso}}{100}\right)$$

$$Peso\ húmedo_{ag. fino} = cantidad\ de\ ag.\ fino \times \left(1 - \frac{\%W_{ag. fino}}{100}\right)$$

**i) Cálculo de Agua Efectiva**

El agua que se utilizará en la mezcla de prueba debe incrementarse o reducirse en una cantidad igual a la humedad libre que contiene dicho agregado, esto es, humedad total menos absorción. Para ello se utilizará la siguiente fórmula:

$$AGUA_{ag. grueso} = \left(\frac{\%A_{ag. grueso} - \%W_{ag. grueso}}{100}\right) \times cantidad_{ag. grueso}$$

$$AGUA_{ag. fino} = \left(\frac{\%A_{ag. fino} - \%W_{ag. fino}}{100}\right) \times cantidad_{ag. fino}$$

$$AGUA\ EFECTIVA = Cantidad\ de\ agua - (AGUA_{ag. grueso} - AGUA_{ag. fino})$$

## **j) Presentación del Diseño en estado húmedo**

Si deseamos obtener las proporciones de la mezcla de concreto que cumpla con las características deseadas, con los materiales seleccionados se prepara una primera mezcla con las proporciones iniciales. A la mezcla se le mide su consistencia y se le compara con la deseada. A su vez se determina la resistencia a la compresión y se compara con la resistencia óptima.

### **3.4.7. Ensayos en el concreto**

#### **3.4.7.1. Concreto en Estado Fresco**

##### **3.4.7.1.1 Medición del Asentamiento (NTP 339.035) (INDECOPI, 2008)**

Para poder realizar el ensayo de asentamiento del concreto en estado fresco se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Tomar el cono de Abrams y humedecer su interior, esto se hace para evitar que el material quede adherido al cono y pueda alterar su resultado.
- Se colocará el cono en una base plana, rígida y no absorbente, la misma que debe humedecerse previamente a la realización de la prueba.
- Hay que sostener firmemente el cono, para evitar que se deslice durante el procedimiento.
- El llenado del cono se hará en tres capas, cada una de ellas debe corresponder a un tercio del cono, a cada capa se asentará uniformemente con una varilla introduciéndola 25 veces, cuando se realiza el asentamiento entre la capa uno y dos, la capa dos y tres debe penetrar ligeramente la capa anterior para darle una mayor uniformidad a la muestra de prueba.

- Para el asentamiento de la mezcla dentro del cono se utiliza una varilla redonda, evitando que la mezcla no se adhiera a la varilla y así evitar que la grava se mueva formando burbujas de aire, si después de la tercera capa el concreto cae por encima del cono de Abrams debemos agregar nuevamente concreto y se continuará asentando desde el valor alcanzado antes de desbordarse.
- Después de haber terminado de asentar con la varilla 25 veces la tercera capa, se enrasa la superficie superior del cono con la misma varilla de compactación.
- Hacemos presión sobre los estribos del cono de Abrams para remover el material sobrante que se haya acumulado en la base del cono.
- Levantamos verticalmente con un movimiento constante el cono y no se podrá realizar ningún movimiento lateral ni de torsión al levantar el cono de Abrams.
- Finalmente medimos el asentamiento de la mezcla, tomando la distancia vertical entre la parte superior del cono invertido y el centro desplazado en la superficie de la muestra.

### **3.4.7.2. Concreto en Estado Endurecido**

#### **3.4.7.2.1 Medición de la Resistencia a la Compresión (NTP 339.034) (INDECOPI, 2008)**

Durante el ensayo de resistencia a la compresión del concreto endurecido fresco se debe seguir el siguiente procedimiento:

Elaboramos las probetas en tres capas iguales, chuceando 25 veces por capa. Terminado el proceso de vaciado de las probetas, éstas se conservan en

el molde cilíndrico durante las primeras  $24 \pm 3$  horas. Posteriormente, se sacan del molde cilíndrico y se inicia el proceso de curado.

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial en compresión a los moldes cilíndricos con una velocidad tal que esté dentro del rango especificado antes de que ocurra la falla.

Este esfuerzo a la compresión de la muestra está calculado por el cociente de la carga máxima obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal de la muestra. Se expresa en  $\text{kg/cm}^2$  a una edad de 28 días. Los cilindros para pruebas de aceptación deben tener un tamaño de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura.

La resistencia a la compresión de la probeta se calcula con la siguiente fórmula:

$$F'c = \frac{Pmax}{A}$$

Dónde:

$F'c$  : Resistencia de rotura a la compresión ( $\text{kg/cm}^2$ ).

$Pmax$  : Carga máxima de rotura (kg).

$A$  : Área de la probeta ( $\text{cm}^2$ ).

## **CAPÍTULO 4. RESULTADOS**

### **4.1. Ceniza de cascarilla de arroz (CCA)**

Se compró un saco de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) en una ladrillera en el distrito de Guadalupe, provincia de Pacasmayo – La Libertad.

La cascarilla de arroz fue utilizada como combustible en dicha ladrillera, por lo que estimamos que su temperatura debió sobrepasar los 800°C, obteniendo de esta manera dicho material.

Procedimos a trabajar con la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) usando un molino de mano para triturar y obtener partículas más finas, logrando un material óptimo y poder realizar la sustitución de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) por cemento en los porcentajes indicados.

Después de haber obtenido partículas más finas, procedimos a tamizar nuestro material. Seguidamente realizamos la clasificación por tamaño de sílice en las mallas #100 (0,150 mm) y #200 (0,075 mm), obteniendo una ceniza inorgánica y posteriormente elaboramos nuestras probetas de concreto que nuestro proyecto de investigación lo exige.

#### **4.1.1. Ensayo granulométrico del agregado fino y grueso (NTP 400.012)**

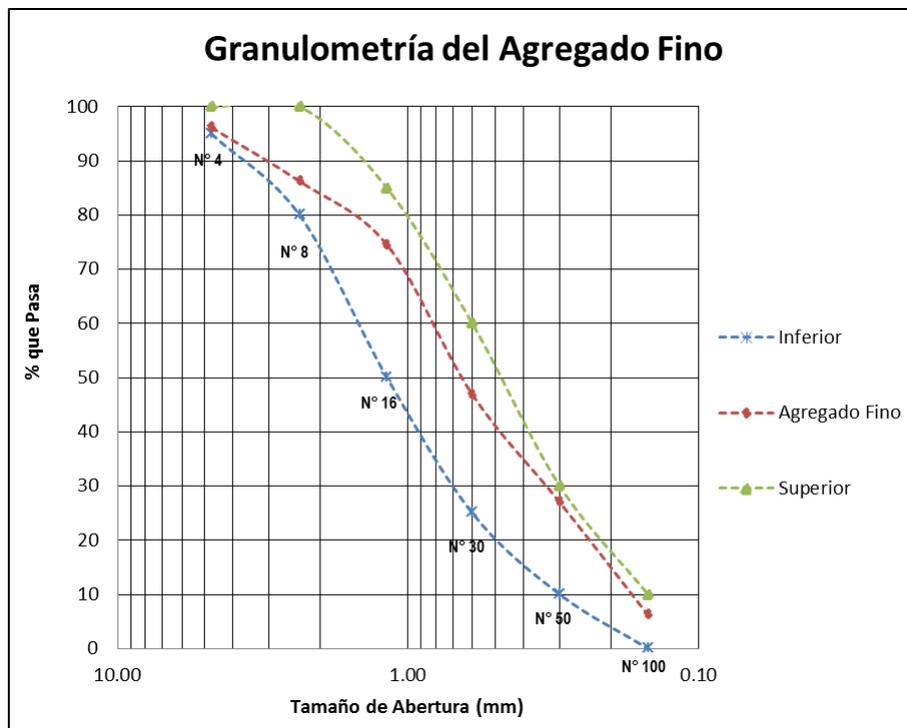
El presente trabajo de investigación se elaboró con agregados provenientes de la cantera “El Milagro” ubicada en el Milagro – Huanchaco. Se trasladaron en un vehículo menor 1/2 m<sup>3</sup> de piedra de ½” y 1/2 m<sup>3</sup> de arena gruesa de la cantera mencionada, hasta la sede de la Universidad Privada del Norte en la Urbanización San Isidro de Trujillo, para llevar a cabo la caracterización correspondiente de los agregados según lo contempla la norma NTP 400.012.

a) Agregado Fino

**Tabla 23:** Granulometría del agregado fino

Tamiz #	Tamaño de Tamiz en Mm	Peso Retenido	% Retenido	Peso Retenido Acumulado	% Retenido Acumulado	% que pasa
N° 4	4.75	30.67	3.83	30.67	3.83%	96.17%
N° 8	2.360	79.33	9.92	110.00	13.75%	86.25%
N° 16	1.180	94.00	11.75	204.00	25.50%	74.50%
N° 30	0.600	221.00	27.63	425.00	53.13%	46.88%
N° 50	0.300	159.00	19.88	584.00	73.00%	27.00%
N° 100	0.149	166.67	20.83	750.67	93.83%	6.17%
<b>Fondo</b>		49.33	6.17	800.00	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		800.00	100.00			

Fuente: Propia, 2018.



**Figura 7:** Curva Granulometría del Agregado Fino.

Fuente: Propia

### Características Físicas de la Arena

El Módulo de Finura para el agregado fino, se determinó mediante la suma del porcentaje retenido acumulados en las mallas empleadas.

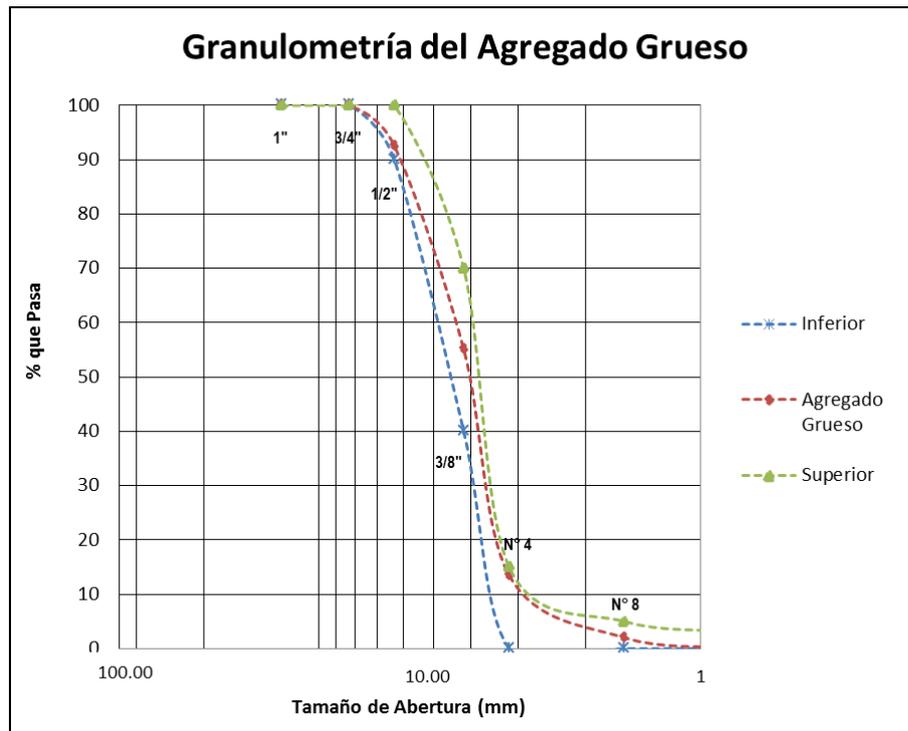
- Módulo de Finura: 2.6

#### b) Agregado Grueso

**Tabla 24:** Granulometría del agregado grueso

Tamiz #	Tamaño de Tamiz en mm	Peso Retenido	% Retenido	Peso Retenido Acumulado	% Retenido Acumulado	% que pasa
1"	25,00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%
3/4"	19,00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	100.00%
1/2"	12,50	59.33	7.42%	59.33	7.42%	92.58%
3/8"	9,50	299.67	37.46%	359.00	44.88%	55.13%
N° 4	4,75	333.33	41.67%	692.33	86.54%	13.46%
N° 8	2,36	91.33	11.42%	783.67	97.96%	2.04%
<b>Fondo</b>		16.33	2.04%	800.00	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		800.00	100.00%			

**Fuente:** Propia, 2018.



$W\%$  : Contenido de humedad (%).

**a) Agregado Fino**

**Tabla 25:** Contenido de humedad de la muestra de agregado fino

<b>ARENA GRUESA</b>	
$P_{TARA}$	283
$P_{TARA + ARENA NAT}$	1283
$P_{ARENA NAT}$	1000
$P_{TARA + ARENA SECA}$	1276.1
$P_{ARENA SECA}$	993.1
$\%W_{ARENA}$	0.69

**Fuente:** Propia, 2018.

**b) Agregado Grueso**

**Tabla 26:** Contenido de humedad de la muestra de agregado grueso

<b>PIEDRA</b>	
$P_{TARA}$	295.5
$P_{TARA + PIEDRA NAT}$	1295.5
$P_{PIEDRA NAT}$	1000
$P_{TARA + PIEDRA SECA}$	1289
$P_{PIEDRA SECA}$	993.5
$\%W_{PIEDRA}$	0.65

**Fuente:** Propia, 2018.

### 4.1.3. Determinación del Peso Unitario Suelto y Compactado (NTP 400.017) Agregado

#### Fino y Grueso

##### Peso Unitario Suelto

El Peso Unitario Suelto Seco se determinó con la siguiente fórmula:

$$PUSS = \frac{A - B}{V}$$

Dónde:

$PUSS$  : Peso Unitario Suelto Seco del agregado ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$A$  : Peso del recipiente más el agregado (kg).

$B$  : Peso del recipiente (kg).

$V$  : Volumen de la medida ( $\text{m}^3$ ).

#### a) Agregado Fino

**Tabla 27:** Peso Unitario Suelto Seco del agregado fino

<b>PUSS</b>	
<b>PESO OLLA</b>	5.314
<b>VOLUMEN OLLA</b>	0.015
<b>ARENA GRUESA</b>	
<b>P ARENA SUELTA 1 + OLLA</b>	22.798
<b>P ARENA SUELTA 2 + OLLA</b>	22.288
<b>P ARENA SUELTA 3 + OLLA</b>	22.316
<b>P prom ARENA SUELTA + OLLA</b>	22.467
<b>PUSS ARENA</b>	1500.00

**Fuente:** Propia, 2018.

**b) Agregado Grueso**

**Tabla 28:** Peso Unitario Suelto Seco del agregado grueso

<b>PUSS</b>	
<b>PESO</b> OLLA	5.314
<b>VOLUMEN</b> OLLA	0.015
<b>PIEDRA</b>	
<b>P</b> PIEDRA SUELTA 1 + OLLA	21.830
<b>P</b> PIEDRA SUELTA 2 + OLLA	21.504
<b>P</b> PIEDRA SUELTA 3 + OLLA	21.872
<b>P prom</b> PIEDRA SUELTA + OLLA	21.735
<b>PUSS</b> PIEDRA	1450.00

**Fuente:** Propia, 2018.

**Peso Unitario Compactado**

El Peso Unitario Compactado Seco se determinó con la siguiente fórmula:

$$PUCS = \frac{A - B}{V}$$

Dónde:

*PUCS* : Peso Unitario Compactado Seco del agregado (kg/m<sup>3</sup>).

*A* : Peso del recipiente más el agregado compactado (kg).

*B* : Peso del recipiente (kg).

*V* : Volumen de la medida (m<sup>3</sup>).

**a) Agregado Fino**

**Tabla 29:** Peso Unitario Compactado Seco del agregado fino

<b>PUCS</b>	
<b>PESO</b> OLLA	5.314
<b>VOLUMEN</b> OLLA	0.015
<b>ARENA GRUESA</b>	
<b>P</b> ARENA COMPACT. 1 + OLLA	23.950
<b>P</b> ARENA COMPACT. 2 + OLLA	24.430
<b>P</b> ARENA COMPACT. 3 + OLLA	24.616
<b>P prom</b> ARENA COMPACT. + OLLA	24.332
<b>PUCS</b> ARENA	1620.00

**Fuente:** Propia, 2018.

**b) Agregado Grueso**

**Tabla 30:** Peso Unitario Compactado Seco del agregado grueso

<b>PUCS</b>	
<b>PESO</b> OLLA	5.314
<b>VOLUMEN</b> OLLA	0.015
<b>PIEDRA</b>	
<b>P</b> PIEDRA COMPACT. 1 + OLLA	23.218
<b>P</b> PIEDRA COMPACT. 2 + OLLA	23.358
<b>P</b> PIEDRA COMPACT. 3 + OLLA	23.192
<b>P prom</b> PIEDRA COMPACT. + OLLA	23.256
<b>PUCS</b> PIEDRA	1550.00

**Fuente:** Propia, 2018.

#### 4.1.4. Determinación Del Peso Específico Y Absorción (NTP 400.022)

##### a) Agregado Fino

El Peso Específico se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$P_{esp.} = \frac{A}{B + S - C}$$

Dónde:

$P_{esp.}$  : Peso Específico (Kg/cm<sup>3</sup>)

$A$  : Peso en el aire de la muestra secada en la estufa (gr).

$B$  : Peso de la fiola más el agua (gr).

$S$  : Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca  
SSS (gr).

$C$  : Peso de la fiola más agua más muestra (gr).

El porcentaje de Absorción se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$A\% = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Dónde:

$A\%$  : Porcentaje de Absorción (%).

$S$  : Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca  
SSS (gr).

$A$  : Peso en el aire de la muestra secada en la estufa (gr).

Se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 31:** Absorción y Peso Específico de las muestras del agregado fino

<b>AGREGADO FINO</b>			
	<b>M1</b>	<b>M2</b>	
<b>M SECA EN LA ESTUFA =</b>	328	332	
<b>PESO FIOLA + AGUA =</b>	657.8	658.9	
<b>PESO FIOLA + ARENA + AGUA =</b>	870.3	874.3	
<b>PESO ARENA SSS =</b>	335.3	339.5	
	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>Pe =</b>	2671	2675	2670
<b>Pe SSS=</b>	2730	2736	2730
<b>Pe Ap.=</b>	2840	2847	2840
<b>%A =</b>	2.2	2.3	2.2

**Fuente:** Propia, 2018.

### b) Agregado Grueso

El Peso Específico se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$P_{esp.} = \frac{A}{B - C}$$

Dónde:

*P<sub>esp.</sub>* : Peso Específico.

*A* : Peso en el aire de la muestra secada en el horno (gr).

*B* : Peso en el aire de la muestra SSS (gr).

*C* : Peso en el agua de la mezcla (gr).

El Porcentaje de Absorción se determinó con la siguiente fórmula:

$$A\% = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Dónde:

$A\%$  : Porcentaje de Absorción (%).

$A$  : Peso en el aire de la muestra secada en el horno (gr).

$B$  : Peso en el aire de la muestra SSS (gr).

**Tabla 32:** Absorción y Peso Específico de las muestras del agregado grueso

<b>AGREGADO GRUESO</b>			
	<b>M1</b>	<b>M2</b>	
<b>Peso MUESTRA SECA EN LA ESTUFA =</b>	1821	1868	
<b>Peso MUESTRA EN AGUA =</b>	1168	1197	
<b>Peso MUESTRA SSS =</b>	1874	1922	
	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>Pe =</b>	2580	2580	2580
<b>Pe<sub>SSS</sub> =</b>	2650	2650	2650
<b>Pe<sub>Ap.</sub> =</b>	2789	2784	2790
<b>%A =</b>	2.9	2.9	2.9

**Fuente:** Propia, 2018

## 4.2. Análisis de la caracterización de los agregados

### a) Agregado fino

**Tabla 33:** Caracterización del agregado fino

Caracterización	Agregado Fino
Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1500
Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1620
Peso Específico (Kg/m <sup>3</sup> )	2670
Peso Específico SSS (Kg/m <sup>3</sup> )	2730
Peso Específico Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	2840
Absorción (%)	2.2
Módulo de Finura	2.6
Contenido de Humedad (%)	0.7

**Fuente:** Propia, 2018

En la Tabla N° 33, podemos observar las propiedades físicas del agregado fino, el cual será de mucha importancia para el diseño de mezcla. Estos datos fueron corroborados con los valores mínimos y máximos que están indicados en la NTP y la ASTM, y así poder verificar si cumplen con las especificaciones requeridas para ser tomados en cuenta como materia prima.

En la figura 7, el análisis granulométrico ensayado al agregado fino, podemos apreciar que la curva se encuentra dentro de los límites superior e inferior, el cual está normado por la NTP 400.037 Y ASTM C33; demostrando así que el agregado tiene una buena gradación de sus partículas.

El módulo de finura es un valor que representa el tamaño promedio de las partículas del material o muestra. En este caso nuestro módulo de finura es de 2.6, el cual está dentro del rango entre 2.3 – 3.1 según la NTP 400.037 y ASTM C33 y según la clasificación de arenas, nuestro agregado fino es una arena gruesa (módulo de finura entre 2.5 – 3.1).

El contenido de humedad es un valor que muestra como el medio ambiente aporta humedad a la muestra, el cual influye de manera directa sobre la relación agua/cemento de la mezcla; en nuestro caso el contenido de humedad es de 0.7%, el cual es un indicador de que el agregado aporta poca cantidad de agua a la mezcla. La NTP 339.185 y la ASTM C566 no establecen un límite en el contenido de humedad de los agregados, sin embargo, sería ideal que estos valores no sobrepasen los valores de la absorción.

Para el caso de la absorción, esta propiedad de los áridos tiene mucha importancia en el diseño de la mezcla, pues determina el grado de saturación de los poros del material. El grado de absorción de nuestro agregado fino es de 2.2% y se encuentra dentro del rango de 0 – 5% según la NTP 400.022 y la ASTM C127.

El peso específico determina la calidad del agregado, mientras mayor sea el valor mejor será su comportamiento. Nuestro agregado fino tiene un peso específico de 2670 Kg/cm<sup>3</sup> y se encuentra dentro del rango de 2500 – 2900 Kg/cm<sup>3</sup> según la NTP 400.022 y la ASTM C127.

El peso unitario suelto y compactado nos da una idea de cómo influye, el primero en el manejo del material y en el segundo en cómo se acomoda el agregado dentro de una mezcla de concreto. Los valores obtenidos tanto del peso unitario suelto y compactado de nuestra muestra son de 1500 Kg/cm<sup>3</sup> y 1620 Kg/cm<sup>3</sup> respectivamente, y se encuentra

dentro de los rangos establecidos por la NTP 400.017 y la ASTM C29, donde especifica que el valor del peso unitario suelto del agregado fino debe estar entre 1300 y 1800 Kg/cm<sup>3</sup>; mientras que el valor para el peso unitario compactado debe oscilar entre 1600 y 1900 Kg/cm<sup>3</sup>.

**b) Agregado grueso**

**Tabla 34:** Caracterización del agregado grueso

<b>Caracterización</b>	<b>Agregado Grueso</b>
<b>Peso Unitario Suelto (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1450
<b>Peso Unitario Compactado (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	1550
<b>Peso Específico (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2580
<b>Peso Específico SSS (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2650
<b>Peso Específico Aparente (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2790
<b>Absorción (%)</b>	2.9
<b>Contenido de Humedad (%)</b>	0.7
<b>Tamaño Máximo</b>	N° 3/4"
<b>Tamaño Máximo Nominal</b>	N° 1/2"

**Fuente:** Propia, 2018.

En la Tabla N° 34, observamos las propiedades físicas del agregado grueso. Los datos consignados en la tabla también fueron corroborados con los valores indicados en las NTP y la ASTM. A continuación, analizaremos los valores obtenidos en el laboratorio.

Como ya hemos mencionado, la granulometría de una muestra es fundamental para el diseño de mezcla del concreto, puesto que una buena gradación de las partículas influye mucho en el comportamiento del concreto.

Al analizar la figura 8, podemos ver que la curva del agregado grueso se encuentra dentro del huso 7 establecido en la NTP 400.037, el cual es un requerimiento mínimo para agregados gruesos de 1/2". Así mismo esta norma indica que el porcentaje que pasa la malla de 3/4" debe ser el 100%, la malla de 1/2" debe pasar entre el 90 – 100%, la malla de 3/8" entre 40 – 70%, la malla N° 4 entre 0 – 15% y la malla N° 8 entre 0 – 5%.

El contenido de humedad de nuestro agregado grueso es de 0.7% y no existe rango de comparación de ninguna norma; sin embargo, el valor obtenido de la absorción, 2.9%, cumple con lo estipulado por la NTP 400.022 y la ASTM C127 donde el valor debe estar entre 0.2 – 3.0%.

El peso específico de nuestro agregado es de 2580 Kg/cm<sup>3</sup>, también cumple con el rango recomendable de la NTP 400.022 y la ASTM C127, cuyo valor para el agregado grueso debe estar entre 2300 – 2800 Kg/cm<sup>3</sup>.

### **4.3. Elaboración del diseño de mezcla (ACI-211)**

#### **Paso 1: Cálculo de la resistencia promedio requerida**

Para esta investigación escogimos una resistencia a la compresión  $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  como referencia, para poder en adelante un concreto mejorado y con mayores resistencias. Recurrimos a la tabla N° 16.

<b>f 'c (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f 'cr</b>
<b>Menos de 210</b>	f 'c + 70
<b>210 a 350</b>	f 'c + 84
<b>Más de 350</b>	f 'c + 98

$$f'c = 175$$

$$f'cr = 175 + 70$$

$$f'cr = 245 \text{ kg/cm}^2$$

### **PASO 2: Elección del Asentamiento**

Nuestra investigación está aplicada a concretos para columnas y vigas y para ello se requiere de un asentamiento con consistencia plástica, según la tabla N° 17.

<b>CONSISTENCIA</b>	<b>ASENTAMIENTO (PLG)</b>
<b>SECA</b>	0 a 2
<b>PLÁSTICA</b>	3 a 4
<b>FLUIDA</b>	mas de 4

Plástica: 3" a 4"

### **PASO 3: Selección del Tamaño Máximo Nominal del Agregado**

De acuerdo con la caracterización del agregado grueso se tiene un Tamaño Máximo Nominal de:

TMN: 1/2"

### **PASO 4: Estimación del agua de mezclado y contenido de aire**

Apoyados por la tabla N° 18 y 19, donde vamos a tener en cuenta el Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso y el contenido de aire atrapado, concluimos en lo siguiente:

<b>VOLUMEN UNITARIO DE AGUA</b>								
<b>Asentamiento</b>	Agua, en 1m <sup>3</sup> , para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
	<b>Concretos sin aire incorporado</b>							
<b>1" a 2"</b>	207	199	190	179	166	154	130	113
<b>3" a 4"</b>	228	216	205	193	181	169	145	124
<b>6" a 7"</b>	243	228	216	202	190	178	160	-
<b>Concretos con aire incorporado</b>								
<b>1" a 2"</b>	181	175	168	160	150	142	122	107
<b>3" a 4"</b>	202	193	184	175	165	157	133	119
<b>6" a 7"</b>	216	205	197	184	174	166	154	-

<b>CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO</b>	
<b>Tamaño Máximo Nominal</b>	<b>Aire Atrapado (%)</b>
<b>3/8"</b>	3
<b>1/2"</b>	2.5
<b>3/4"</b>	2
<b>1"</b>	1.5
<b>1 1/2"</b>	1
<b>2"</b>	0.5
<b>3"</b>	0.3
<b>4"</b>	0.2

<b>AGUA DE MEZCLADO =</b>	<b>216</b>	<b>Lt/m</b>
<b>CONTENIDO DE AIRE =</b>	2.5	%
<b>VOLUMEN DE AGUA =</b>	0.216	m <sup>3</sup>
<b>VOLUMEN DE AIRE =</b>	0.025	m <sup>3</sup>

### PASO 5: Estimación de la Relación Agua/Cemento

En el presente trabajo de investigación se tomará en cuenta el criterio por resistencia.

Se trabajará para un concreto sin aire incorporado (ver Tabla N° 20).

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (f'cr)(Kg/cm2)	RELACION AGUA/CEMENTO DEL DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
<b>450</b>	0.38	...
<b>400</b>	0.43	...
<b>350</b>	0.48	0.40
<b>300</b>	0.55	0.46
<b>250</b>	0.62	0.53
<b>200</b>	0.70	0.61
<b>150</b>	0.80	0.71

$$\frac{250 - 200}{250 - 245} = \frac{0.62 - 0.70}{0.62 - x}$$

Para f'cr = 245 Kg/cm<sup>2</sup>

a/c = 0.63

### PASO 6: Estimación de la Relación Agua/Cemento

$$P_{\text{cemento}}(\text{kg/m}^3) = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado (lts/m}^3\text{)}}{\text{Relacion } \frac{a}{c} \text{ (para f'cr)}}$$

$P_{\text{cemento}} \text{ (kg/m}^3\text{)} = 326.4 \text{ kg/m}^3 \approx 8 \text{ bolsas.}$

$$V_{\text{cemento}} = \frac{\text{Contenido de cemento (kg.)}}{\text{peso específico del cemento } \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}\right)}$$

\* densidad específica cemento mochica = 2.99 (dato de ficha técnica del cemento).

$V_{\text{cemento}} = 0.109 \text{ m}^3.$

**PASO 7: Estimación del Contenido de Agregado Grueso y Agregado Fino** (ver Tabla N° 22)

TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO		Volumen de ag. grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diferentes MF de ag. fino			
		MÓDULO DE FINEZA DE AGREGADO FINO			
mm	pulg	2,4	2,6	2,8	3
10	3/8"	0,5	0,48	0,46	0,44
12,5	1/2"	0,59	<b>0,57</b>	0,55	0,53
20	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,6
25	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
40	1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,7
50	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
70	3"	0,81	0,79	0,77	0,75
150	6"	0,87	0,85	0,83	0,81

$$MF \text{ ag. Fino} : 2,6 \quad \frac{b}{b_o} = 0.57$$

$$TMN : 3/4"$$

$$PUSC \text{ ag. Grueso} : 1550$$

$$Pe \text{ ag. Grueso} : 2,6$$

*Pe ag. Fino* : 2,7

$$\text{Peso seco}_{ag. grueso} = \frac{b}{b_0} \times PUSC_{ag. grueso}$$

$$\text{Peso seco ag. Grueso} = 883.7 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen}_{ag. grueso} = \frac{\text{Peso seco ag. grueso}}{\text{peso especifico}_{ag. grueso}}$$

$$\text{Volumen ag. Grueso} = 0.340 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen}_{ag. fino} = 1 - (\text{vol. agua} + \text{vol. aire} + \text{vol. cemento} + \text{vol. ag. grueso})$$

$$\text{Volumen ag. fino} = 0.304 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso}_{ag. fino} = (\text{Volumen}_{ag. fino}) \times (\text{Peso especifico}_{ag. fino})$$

$$\text{Peso ag. fino} = 821.0 \text{ kg}$$

#### PASO 8: VALORES DE DISEÑO

MATERIALES	PESO	
<b>Cemento</b>	343.9	Kg
<b>Agua</b>	216	Lt
<b>Agregado Grueso</b>	883.7	kg
<b>Agregado Fino</b>	821.0	kg

#### PASO 9: AJUSTES POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN

*W% ag. Grueso* : 0.65      *A% ag. Grueso*: 2.9

*W% ag. Fino* : 0.69      *A% ag. Fino* : 2.2

$$\text{Peso húmedo}_{ag. grueso} = \text{cantidad de ag. grueso} \times \left(1 - \frac{\%W_{ag. grueso}}{100}\right)$$

$$\text{Peso húmedo ag. grueso} = 878 \text{ kg}$$

$$\text{Peso húmedo}_{ag. fino} = \text{cantidad de ag. fino} \times \left(1 - \frac{\%W_{ag. fino}}{100}\right)$$

$$\text{Peso húmedo ag. fino} = 815 \text{ kg}$$

### PASO 10: CÁLCULO DE AGUA EFECTIVA

$$AGUA_{ag. grueso} = \left( \frac{\%A_{ag. grueso} - \%W_{ag. grueso}}{100} \right) \times \text{cantidad}_{ag. grueso}$$

$$AGUA_{ag. grueso} = 20 \text{ Lts}$$

$$AGUA_{ag. fino} = \left( \frac{\%A_{ag. fino} - \%W_{ag. fino}}{100} \right) \times \text{cantidad}_{ag. fino}$$

$$AGUA_{ag. fino} = 12 \text{ Lts}$$

$$AGUA \text{ EFECTIVA} = \text{Cantidad de agua} - (AGUA_{ag. grueso} - AGUA_{ag. fino})$$

$$\text{Agua Efectiva} = 248 \text{ Lts}$$

### PASO 11: Cálculo de Dosificaciones de los Materiales

$$\frac{\text{Cantidad cemento}_{correg.}}{\text{Cantidad cemento}_{correg.}} = \frac{\text{Cantidad ag. grueso}_{correg.}}{\text{Cantidad cemento}_{correg.}} = \frac{\text{Cantidad ag. fino}_{correg.}}{\text{Cantidad cemento}_{correg.}}$$

$$= \frac{\text{Cantidad agua}_{correg.}}{\text{Cantidad cemento}_{correg.}}$$

MATERIALES	PESO		EQUIVALENCIAS	
<b>cemento</b>	344	Kg	8.00	Bolsas
<b>Agua</b>	248	Lt	0.25	m <sup>3</sup>
<b>Agregado Grueso</b>	878.0	Kg	0.34	m <sup>3</sup>
<b>Agregado Fino</b>	815.3	Kg	0.30	m <sup>3</sup>

### PASO 12: Cálculo para las 56 probetas que ensayaremos en laboratorio

$$\text{Altura} : 0.3$$

$$\text{Diámetro} : 0.15$$

#### CANTIDAD DE CONCRETO

$$\text{Volumen para 1 probeta} : 0.0053 \text{ m}^3.$$

$$\text{Volumen para 56 probetas} : 0.0053 \times 56 = 0.2968 \text{ m}^3 \text{ de concreto.}$$

### ***CANTIDAD DE CEMENTO***

*Volumen para 1 probeta* :  $0.0053 \times 344 = 1.8 \text{ Kg.}$

*Volumen para 56 probetas* :  $1.8 \times 56 = 100.8 \text{ Kg. de cemento (3 bolsas).}$

### ***CANTIDAD DE AG. GRUESO***

*Volumen para 1 probeta* :  $0.0053 \times 0.34 = 0.0018 \text{ m}^3.$

*Volumen para 56 probetas* :  $0.0018 \times 56 = 0.1008 \text{ m}^3 \text{ de Ag. Grueso.}$

### ***CANTIDAD DE AG. FINO***

*Volumen para 1 probeta* :  $0.0053 \times 0.30 = 0.0016 \text{ m}^3$

*Volumen para 56 probetas* :  $0.0016 \times 56 = 0.0896 \text{ m}^3 \text{ de Ag. Fino.}$

### ***CANTIDAD DE AGUA***

*Volumen para 1 probeta* :  $0.0053 \times 0.25 = 0.0013 \text{ m}^3$

*Volumen para 56 probetas* :  $0.0013 \times 56 = 0.0728 \text{ m}^3 \text{ de Agua (73 Litros).}$

**Tabla 35:** Dosificación y distribución de los insumos para la elaboración de las  
probetas a ensayar en laboratorio

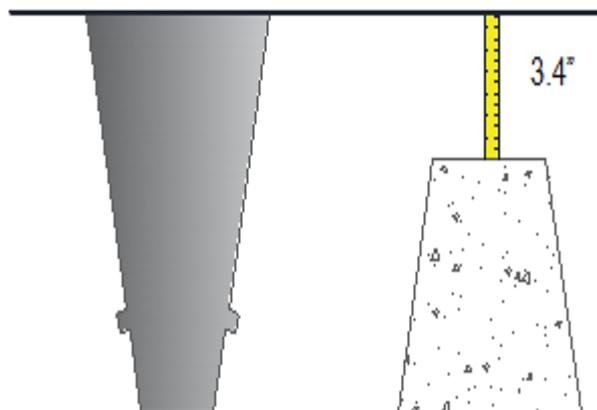
<b>DOSIFICACION EN KILOS PARA 56 PROBETAS</b>							
<b>INSUMOS</b>	<b>CONTROL</b>	<b>CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ (CCA)</b>			<b>CASCARILLA DE ARROZ</b>		
		<b>8% CCA</b>	<b>12% CCA</b>	<b>16% CCA</b>	<b>8% CASCAR.</b>	<b>12% CASCAR.</b>	<b>16% CASCAR.</b>
	<b>8 PROBETAS</b>	<b>8 PROBETAS</b>	<b>8 PROBETAS</b>	<b>8 PROBETAS</b>	<b>8 PROBETAS</b>	<b>8 PROBETAS</b>	<b>8 PROBETAS</b>
<b>CEMENTO</b>	13.8 kg	12.7 kg	12.1 kg	11.6 kg	12.7 kg	12.1 kg	11.6 kg
<b>CCA</b>	-	1.1 kg	1.7 kg	2.2 kg	-	-	-
<b>CASCARILLA</b>	-	-	-	-	1.1 kg	1.7 kg	2.2 kg
<b>AG. GRUESO</b>	43.8 kg		43.8 kg	43.8 kg	43.8 kg	43.8 kg	43.8 kg
<b>AG. FINO</b>	30.3 kg	30.3 kg	30.3 kg	30.3 kg	30.3 kg	30.3 kg	30.3 kg
<b>AGUA</b>	10.15 Lt	10.15 Lt	10.15 Lt	10.15 Lt	10.15 Lt	10.15 Lt	10.15 Lt

Fuente: Propia, 2018.

#### 4.4. Asentamiento (NTP 339.035)

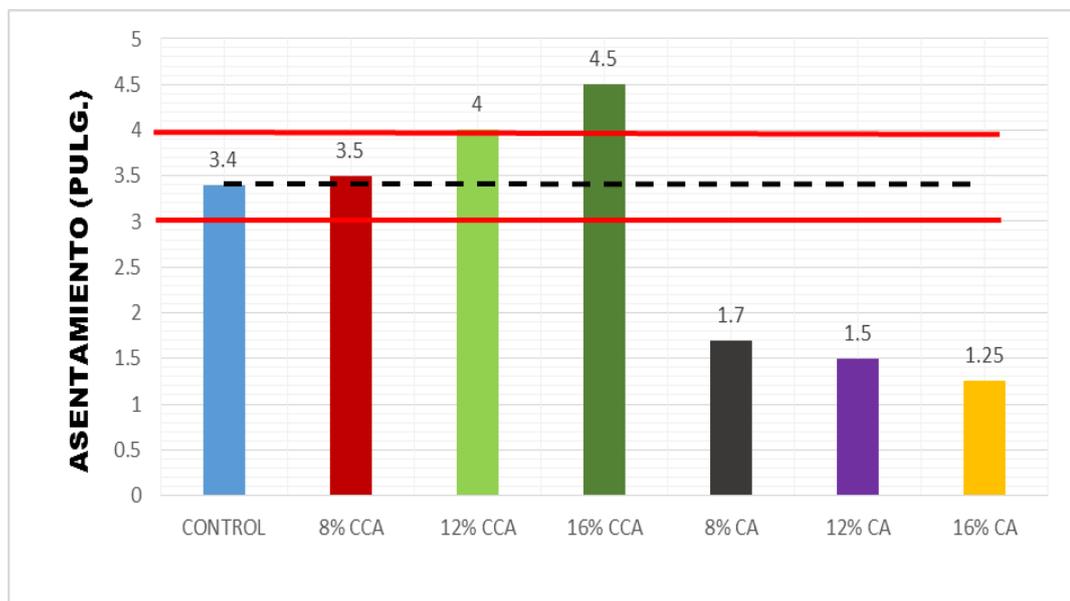
Sabemos que al mezclar el agua con el cemento las partículas de éste producen reacciones químicas exotérmicas en las cuales se libera calor, generando esta reacción enlaces o estructuras cristalinas que las convierten en un material aglutinante; sin embargo, alcanzar una buena trabajabilidad en el concreto es muy importante. Tomar en cuenta la cantidad de agua a emplearse en la mezcla, nos da una mayor trabajabilidad debido al exceso de agua, pero a la vez pérdidas de resistencia. Por ello, es importante emplear en nuestro diseño de mezcla las cantidades apropiadas de agua para obtener buenos resultados en las propiedades mecánicas evitando alterar las propiedades en estado fresco.

La relación agua-cemento influye directamente en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto, debido al proceso de hidratación. Esto quiere decir que si ocurre un exceso de agua en la mezcla provocará la aparición de huecos capilares reduciendo su resistencia, creando a su vez el fenómeno llamado exudación, a mayor relación agua-cemento el asentamiento es mayor, debido a que sus partículas se dispersan de una mejor manera.



**Figura 9:** Asentamiento de la mezcla control.

Como observamos en la figura 9 el asentamiento de la mezcla control es de 3.4” (8.6 cm), por lo tanto, nos encontramos con una mezcla plástica y muy plástica. Cuyo diseño de mezcla se hizo para 3” a 4” (7.5 a 10 cm)  $\pm$  2 encontrándonos dentro del rango considerando un margen de error de 2 cm. En este caso, la resistencia obtenida a los 28 días estaba dentro del rango de diseño, por lo tanto, consideramos un asentamiento correcto.



**Figura 10:** Asentamiento de las mezclas con sustitución de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y cascarilla de arroz.

En nuestro diseño de mezcla se consideró una mezcla plástica (Slump de 3” a 4”), tal como lo muestra la tabla 17. Y si observamos en la figura 10 claramente nuestra probeta control y las probetas con sustitución de 8% de CCA, 12% de CCA y 16% de CCA respectivamente, cumplen con la característica de nuestro diseño y, por lo tanto, se encuentran entre los rangos permitidos según la norma ASTM-C143 (Revenimiento normal: Se trata de concreto con buena o excelente trabajabilidad. El revenimiento usado para concreto estructural se sitúa entre 2 y 7 pulgadas.), mientras que las probetas

con sustitución de 8% de CA, 12% de CA y 16% de CA no están dentro del rango que estipula un diseño de mezcla plástica.

La NTP 339.035/ASTM C143 nos dice que el ensayo de asentamiento a través del cono de Abrams no es aplicable a concretos no plástico y tampoco cohesivo. Por ello es importante tener en cuenta los rangos en los que se puede aplicar este ensayo, sabiendo que los asentamientos en concretos menores a 1/2" (13 mm) no son plásticos y los asentamientos en concretos mayores a 9" (230 mm) no son cohesivos.

**Tabla 36:** Medición del asentamiento o Slump

ASENTAMIENTO							
PROBETAS	CONTROL	CCA			CASCARILLA DE ARROZ		
		8%	12%	16%	8%	12%	16%
SLUMP	3.4"	3.5"	4"	4.5"	1.7"	1.5"	1.25"

**Fuente:** Propia, 2018.

#### 4.5. Medición de la Resistencia a la Compresión (NTP 339.034)

**Tabla 37:** Resistencia a la compresión de las probetas control

CONTROL	
7 DIAS	149 Kg/cm <sup>2</sup>
14 DIAS	158 Kg/cm <sup>2</sup>
28 DIAS	184 Kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** Propia, 2018.



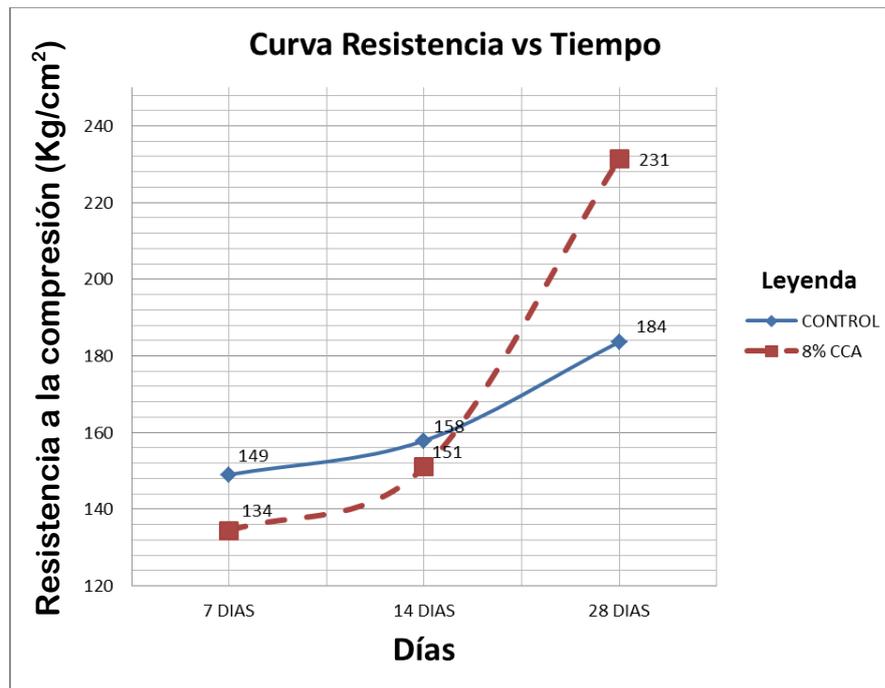
**Figura 11:** Gráfico de la curva de resistencia de las probetas control.

Según la interpretación del gráfico en la figura 11 observamos que la resistencia a la compresión de la probeta control a los 7 días es de 149 kg/cm<sup>2</sup>, a los 14 días su resistencia se incrementa a 158 kg/cm<sup>2</sup> y finalmente a los 28 días su resistencia final es de 184 kg/cm<sup>2</sup>, confirmando así que el diseño de mezcla es de un concreto  $f'c = 175$  Kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 38:** Resistencia a la compresión de las probetas con 8% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA)

CONTROL		CCA
		8%
7 DIAS	149 Kg/cm <sup>2</sup>	134 Kg/cm <sup>2</sup>
14 DIAS	158 Kg/cm <sup>2</sup>	151 Kg/cm <sup>2</sup>
28 DIAS	184 Kg/cm <sup>2</sup>	231 Kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** Propia, 2018



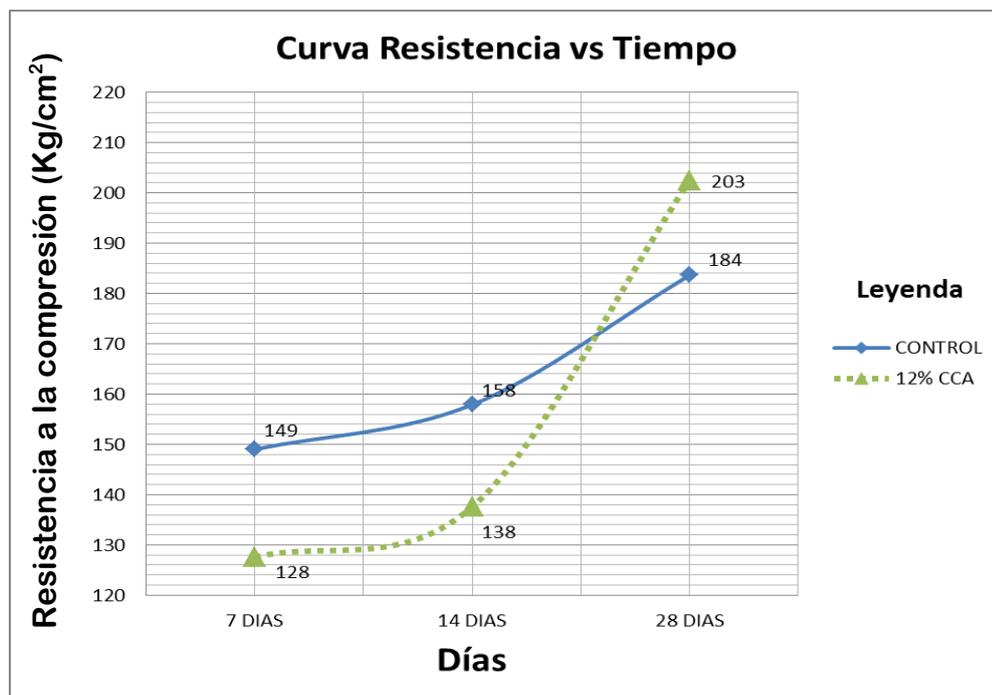
**Figura 12:** Gráfico de la curva de resistencia de las probetas con 8% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA).

En el gráfico de la figura 12 hacemos la comparación de la resistencia a la compresión entre la probeta control y la probeta con sustitución de CCA al 8%, aquí podemos observar que a los 7 días la resistencia inicial de la probeta con sustitución de 8% de CCA es de 134 kg/cm<sup>2</sup> y de la probeta control es 149 kg/cm<sup>2</sup>, a los 14 días su resistencia a la compresión de la probeta con sustitución de 8% de CCA pasa a ser de 151 kg/cm<sup>2</sup> y de la probeta control es de 158 kg/cm<sup>2</sup>, y aproximadamente a los 16 días la resistencia a la compresión de la probeta control y de la probeta con sustitución de 8% de CCA se igualan con 162 kg/cm<sup>2</sup>. Finalmente, a los 28 días la probeta control alcanzó una resistencia a la compresión final de 184 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la probeta con sustitución de 8% de CCA alcanzó una resistencia a la compresión de 231 kg/cm<sup>2</sup> superando considerablemente la resistencia a la compresión de la probeta de control.

**Tabla 39:** Resistencia a la compresión de las probetas con 12% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA)

CONTROL		CCA
		12%
7 DIAS	149 Kg/cm <sup>2</sup>	128 Kg/cm <sup>2</sup>
14 DIAS	158 Kg/cm <sup>2</sup>	138 Kg/cm <sup>2</sup>
28 DIAS	184 Kg/cm <sup>2</sup>	203 Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Propia, 2018.



**Figura 13:** Gráfico de la curva de resistencia de las probetas con 12% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA).

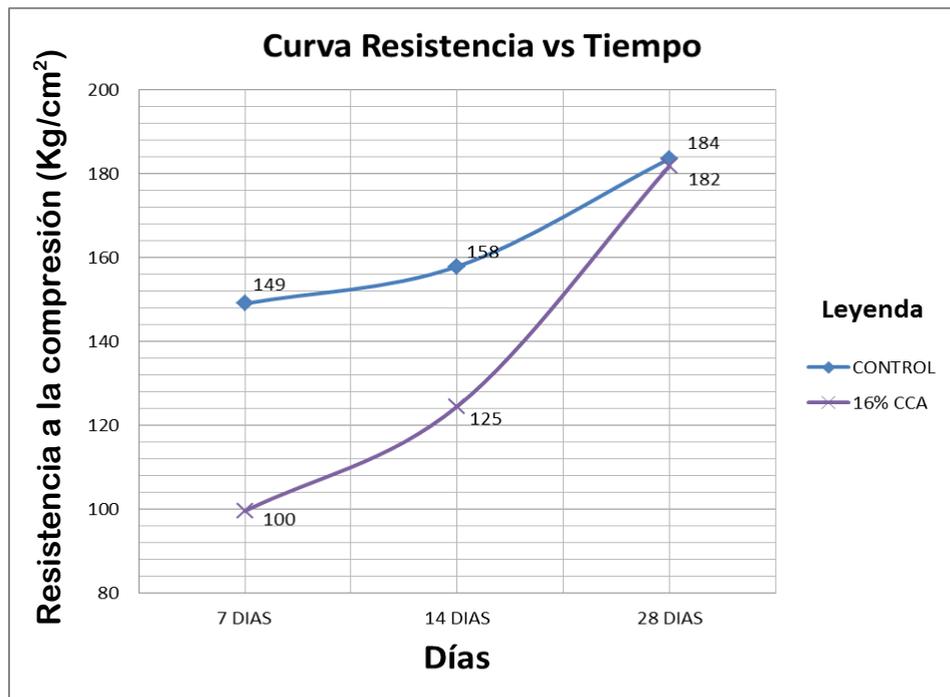
En el gráfico de la figura 13 hacemos la comparación de la resistencia a la compresión entre la probeta control y la probeta con sustitución de CCA al 12%, aquí podemos observar que a los 7 días su resistencia inicial de la probeta con sustitución de 12% de CCA es de 128 kg/cm<sup>2</sup> y de la probeta control es de 149 kg/cm<sup>2</sup>, a los 14 días

su resistencia a la compresión de la probeta con sustitución de 12% de CCA se incrementa a 138 kg/cm<sup>2</sup> y de la probeta de control llega a 158 kg/cm<sup>2</sup>, aproximadamente a los 21 días la resistencia a la compresión de la probeta control y de la probeta con sustitución de 12% de CCA se igualan a 171 kg/cm<sup>2</sup>, finalmente a los 28 días la probeta control alcanza una resistencia final de 184 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la probeta con sustitución de 12% de CCA alcanzó una resistencia a la compresión de 203 kg/cm<sup>2</sup> superando así la resistencia a la compresión de la probeta de control.

**Tabla 40:** Resistencia a la compresión de las probetas con 16% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA)

CONTROL		CCA
		16%
7 DIAS	149 Kg/cm <sup>2</sup>	100 Kg/cm <sup>2</sup>
14 DIAS	158 Kg/cm <sup>2</sup>	125 Kg/cm <sup>2</sup>
28 DIAS	184 Kg/cm <sup>2</sup>	182 Kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** Propia, 2018.



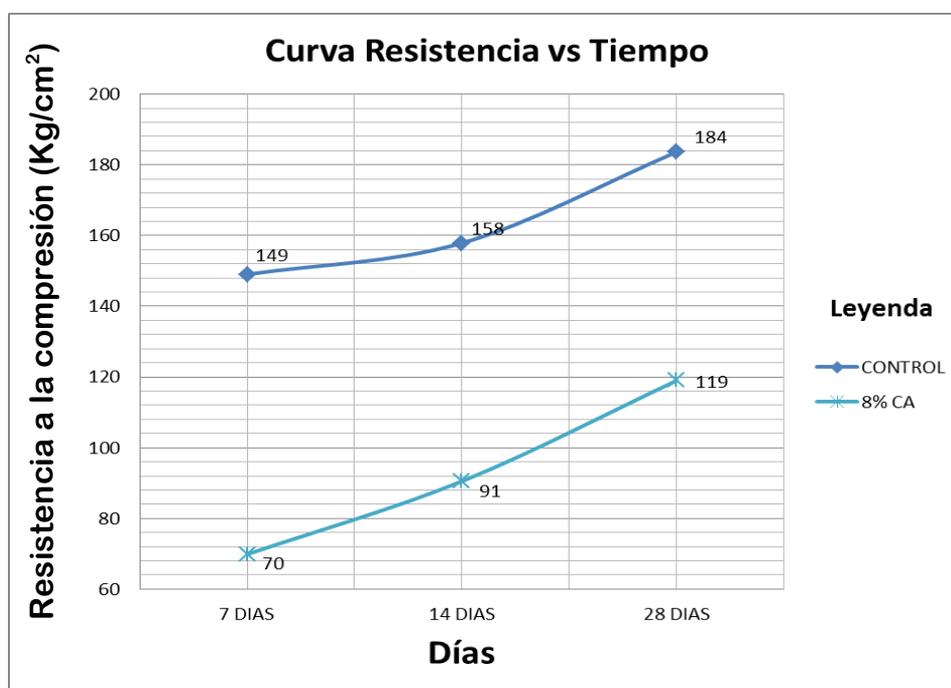
**Figura 14:** Gráfico de la curva de resistencia de las probetas con 16% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA).

Aquí en la figura 14, podemos observar como la probeta con sustitución de 16% de CCA tiene una resistencia inicial a los 7 días de haberse elaborado de 100 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la probeta control alcanza una resistencia de 149 Kg/cm<sup>2</sup>. A los 14 días de elaboradas las probetas, la probeta con sustitución de 16% de CCA alcanza una resistencia de 125 Kg/cm<sup>2</sup>, muy por debajo de la resistencia de la probeta control que tiene 158 Kg/cm<sup>2</sup>. Finalmente, a los 28 días, la probeta con sustitución de 16% de CCA obtiene una resistencia final de 182 Kg/cm<sup>2</sup>, muy parecido a la probeta control con 184 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 41:** Resistencia a la compresión de las probetas con 8% de cascarilla de arroz

CONTROL		CASCARILLA DE ARROZ
		8%
7 DIAS	149 Kg/cm <sup>2</sup>	70 Kg/cm <sup>2</sup>
14 DIAS	158 Kg/cm <sup>2</sup>	91 Kg/cm <sup>2</sup>
28 DIAS	184 Kg/cm <sup>2</sup>	119 Kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Propia, 2018.



**Figura 15:** Gráfico de la curva de resistencia de las probetas con 8% de cascarilla de arroz.

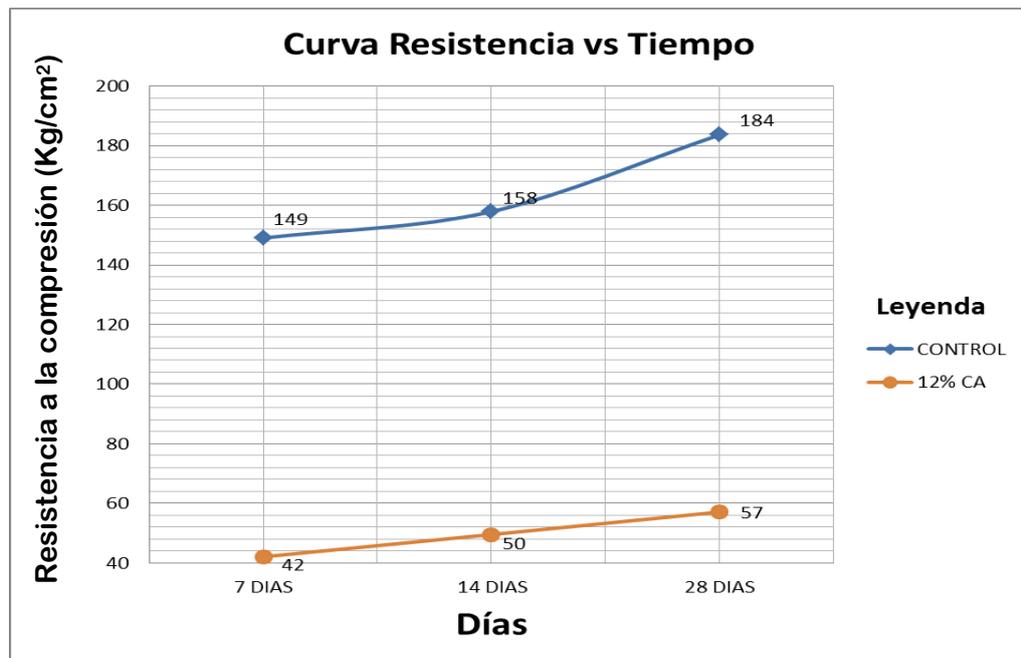
En el gráfico de la figura 15 hacemos la comparación de la resistencia a la compresión entre la probeta de control y la probeta con sustitución de cascarilla de arroz al 8%, aquí podemos observar que a los 7 días su resistencia a la compresión de la probeta con sustitución de 8% de cascarilla de arroz es de 70 kg/cm<sup>2</sup> y de la probeta de

control  $149 \text{ kg/cm}^2$ , a los 14 días su resistencia a la compresión de la probeta con sustitución de 8% de cascarilla de arroz es de  $91 \text{ kg/cm}^2$  y de la probeta de control fue de  $158 \text{ kg/cm}^2$ , finalmente a los 28 días la probeta de control alcanzó una resistencia a la compresión de  $184 \text{ kg/cm}^2$  y la probeta con sustitución de 8% de cascarilla de arroz alcanzó una resistencia a la compresión de  $119 \text{ kg/cm}^2$  disminuyendo la resistencia a la compresión de manera sustancial con respecto a la probeta de control.

**Tabla 42:** Resistencia a la compresión de las probetas con 12% de cascarilla de arroz

CONTROL		CASCARILLA DE ARROZ
		12%
7 DIAS	$149 \text{ Kg/cm}^2$	$42 \text{ Kg/cm}^2$
14 DIAS	$158 \text{ Kg/cm}^2$	$50 \text{ Kg/cm}^2$
28 DIAS	$184 \text{ Kg/cm}^2$	$57 \text{ Kg/cm}^2$

Fuente: Propia, 2018.



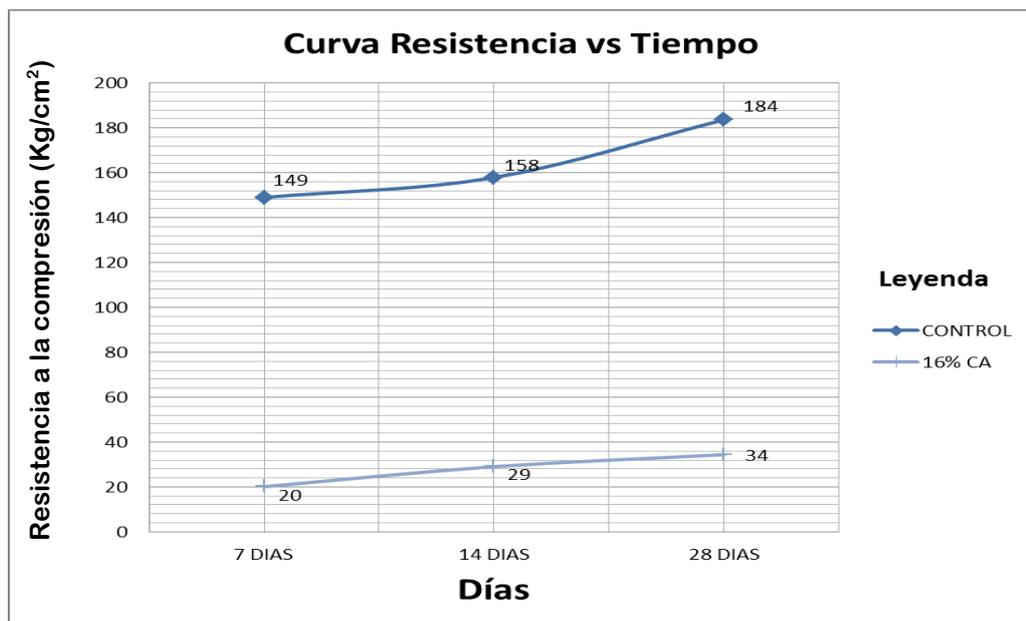
**Figura 16:** Gráfico de la curva de resistencia de las probetas con 12% de cascarilla de arroz.

En el gráfico de la figura 16 hacemos la comparación de la resistencia a la compresión entre la probeta de control y la probeta con sustitución de cascarilla de arroz al 12%, aquí podemos observar que a los 7 días su resistencia a la compresión de la probeta con sustitución de 12% de cascarilla de arroz es de 42 kg/cm<sup>2</sup> y de la probeta de control 149 kg/cm<sup>2</sup>, a los 14 días su resistencia a la compresión de la probeta con sustitución de 12% de cascarilla de arroz es de 50 kg/cm<sup>2</sup> y de la probeta de control fue de 158 kg/cm<sup>2</sup>, finalmente a los 28 días la probeta de control alcanzó una resistencia a la compresión de 184 kg/cm<sup>2</sup> y la probeta con sustitución de 12% de cascarilla de arroz alcanzó una resistencia a la compresión de 57 kg/cm<sup>2</sup> disminuyendo la resistencia a la compresión de manera sustancial con respecto a la probeta de control.

**Tabla 43:** Resistencia a la compresión de las probetas con 16% de cascarilla de arroz

CONTROL		CASCARILLA DE ARROZ
		16%
<b>7 DIAS</b>	149 Kg/cm <sup>2</sup>	20 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>14 DIAS</b>	158 Kg/cm <sup>2</sup>	29 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>28 DIAS</b>	184 Kg/cm <sup>2</sup>	34 Kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** Propia, 2018.



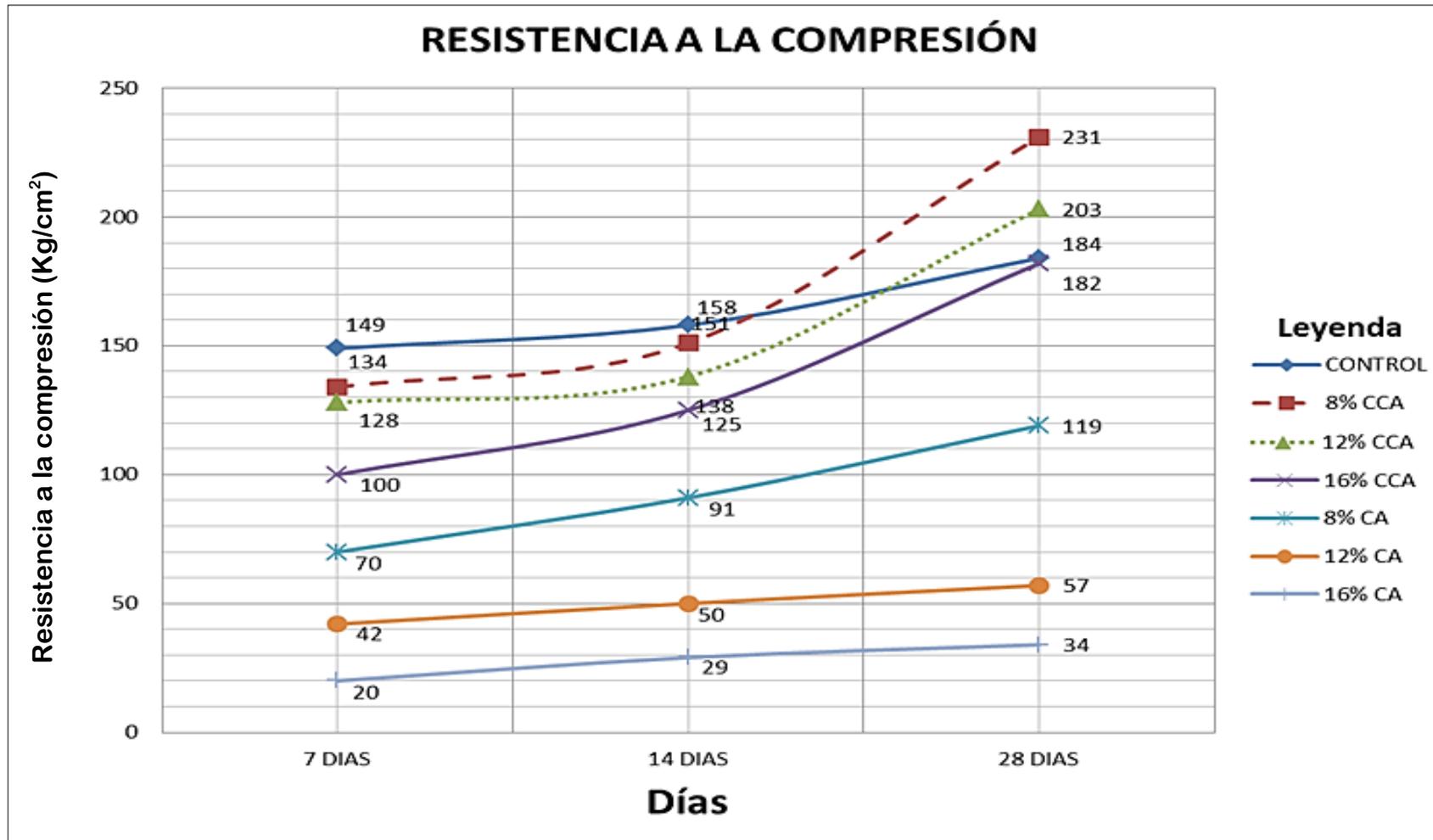
**Figura 17:** Gráfico de la curva de resistencia de las probetas con 16% de cascarilla de arroz.

En el gráfico de la figura 17 hacemos la comparación de la resistencia a la compresión entre la probeta de control y la probeta con sustitución de cascarilla de arroz al 16%, aquí podemos observar que a los 7 días su resistencia a la compresión de la probeta con sustitución de 16% de cascarilla de arroz es de 20 kg/cm<sup>2</sup> y de la probeta de control 149 kg/cm<sup>2</sup>, a los 14 días su resistencia a la compresión de la probeta con sustitución de 16% de cascarilla de arroz es de 29 kg/cm<sup>2</sup> y de la probeta de control fue de 158 kg/cm<sup>2</sup>, finalmente a los 28 días la probeta de control alcanzó una resistencia a la compresión de 184 kg/cm<sup>2</sup> y la probeta con sustitución de 16% de cascarilla de arroz alcanzó una resistencia a la compresión de 34 kg/cm<sup>2</sup> disminuyendo la resistencia a la compresión de manera considerable con respecto a la probeta de control.

**Tabla 44:** Resistencia a la compresión de todas las probetas ensayadas en el laboratorio

EDAD	CONTROL	CCA			CASCARILLA DE ARROZ		
		8%	12%	16%	8%	12%	16%
7 DIAS	149	134	128	100	70	42	20
14 DIAS	158	151	138	125	91	50	29
28 DIAS	184	231	203	182	119	57	34

**Fuente:** Propia, 2018.



**Figura 18:** Gráfico de las curva de resistencia de todas las probetas ensayadas en el laboratorio.

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo analizaremos los datos obtenidos tanto en la caracterización de los agregados grueso y fino para el diseño de mezclas de un concreto no estructural de  $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$  con el método ACI-211, el ensayo de asentamiento en estado fresco con la sustitución de 8%, 12% y 16% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y cascarilla de arroz, y el ensayo a la compresión de las muestras con las características antes mencionadas.

Cabe mencionar que cada ensayo fue realizado según lo establecido en la Norma Técnica Peruana (NTP) y las Normas de la Sociedad Americana de Prueba de Materiales (ASTM).

### 5.1. Discusión del objetivo principal

- Analizando los resultados finales en la Tabla 44, para el caso de las probetas con sustitución de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) con 8, 12 y 16% podemos observar que la resistencia a la compresión final a los 28 días fue de  $231 \text{ kg/cm}^2$ ,  $203 \text{ kg/cm}^2$  y  $182 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente. Si comparamos la probeta control, cuya resistencia final fue de  $184 \text{ kg/cm}^2$ , nos damos cuenta que la CCA al sustituir 8 y 12% del cemento ha logrado superar la resistencia de la probeta control, determinando así que su uso es favorable para el concreto. Caso contrario sucedió con las probetas con sustitución de cascarilla de arroz con 8, 12 y 16%, cuyas resistencias a la compresión final a los 28 días fueron de  $119 \text{ kg/cm}^2$ ,  $57 \text{ kg/cm}^2$  y  $34 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente. Estos resultados no pudieron superar la resistencia a la compresión final de la probeta control, descartando a la cascarilla de arroz como un agente que mejore la resistencia a la compresión de un concreto.

### 5.2. Discusión de los objetivos específicos.

- En la Tabla 44 podemos observar que tanto las probetas con ceniza de cascarilla de arroz (CCA) al 8, 12 y 16% como la cascarilla de arroz al 8, 12 y 16%, cuyas resistencia a la compresión a los 7 días fueron de  $134 \text{ kg/cm}^2$ ,  $128 \text{ kg/cm}^2$ ,  $100 \text{ kg/cm}^2$ ,  $70 \text{ kg/cm}^2$ ,  $42$

kg/cm<sup>2</sup> y 20 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, no superan a la probeta control cuya resistencia es de 149 kg/cm<sup>2</sup>. A los 14 días las resistencias se incrementaron a 151 kg/cm<sup>2</sup>, 138 kg/cm<sup>2</sup>, 125 kg/cm<sup>2</sup>, 91 kg/cm<sup>2</sup>, 50 kg/cm<sup>2</sup> y 29 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la resistencia de la probeta control se incrementó a 158 kg/cm<sup>2</sup>; por lo que se determina que tanto la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y la cascarilla de arroz antes de los 14 días no tienen ninguna influencia sobre la resistencia a la compresión de un concreto.

- Según la Tabla 36 en la probeta control se obtuvo un Slump de 3.4", el cual se encuentra dentro del rango establecido en el diseño de mezcla considerada una mezcla plástica. Cuando la comparamos con respecto al Slump de las probetas con ceniza de cascarilla de arroz (CCA), observamos que cuando sustituimos más cantidad de CCA, la mezcla se vuelve más plástica; es por eso que cuando sustituimos 8% de CCA, el asentamiento es de 3.5", muy parecido a la mezcla de la probeta control; mientras que cuando sustituimos 12% y 16% de CCA, el asentamiento se incrementa a 4" y 4.5" respectivamente. Ahora bien, si observamos los resultados que se obtuvieron con la cascarilla de arroz y las comparamos con respecto al Slump de la mezcla de la probeta patrón, nos damos cuenta que la mezcla se vuelve más seca; es decir, al sustituir más cantidad de cascarilla de arroz por cemento, la mezcla se vuelve menos trabajable, ya que la cascarilla de arroz absorbe el agua empleada en el diseño; tal es así que cuando sustituimos 8% de la cascarilla de arroz, conseguimos un asentamiento de 1.7" (considerada una mezcla de consistencia seca), es así que al sustituir el 12% y 16% se consigue un asentamiento de 1.5" y 1.25" respectivamente, confirmando de esta forma que al remplazar mayores cantidades de cascarilla de arroz obtendremos una mezcla más seca.
- A juzgar por los ensayos realizados en el laboratorio y los datos obtenidos, se determinó que existe la posibilidad de poder mejorar la resistencia de un concreto sustituyendo el

cemento por ceniza de cascarilla de arroz (CCA), pues este tipo de puzolana dentro de su composición química contiene un elemento el cual permite desarrollar una mejora en las propiedades mecánicas debido a la reacción con el álcali del cemento. Basándonos de acuerdo a los resultados, el porcentaje idóneo para sustituir el cemento por ceniza de cascarilla de arroz es de 8%, ya que fue la muestra que más resistencia a la compresión desarrolló a los 28 días.

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

- Se concluye que la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) mejora las propiedades mecánicas del concreto con respecto a la resistencia a la compresión. Por otro lado, al sustituir el 8% del cemento por CCA alcanzó la máxima resistencia a los 28 días con  $231 \text{ kg/cm}^2$ .
- También podemos concluir que antes de los 14 días no se puede conseguir igualar la resistencia a la compresión de un concreto no estructural, puesto que aún la CCA no reacciona con el cemento. La probeta donde sustituimos el 8% de cemento por CCA y la probeta control, pudieron igualar su resistencia a los 16 días.
- La utilización de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) al 8%, no altera de manera negativa al asentamiento, sin embargo, la cascarilla de arroz seca la mezcla y el asentamiento deseado no se consigue. Esto conllevaría a un aumento en la cantidad de agua y por consiguiente una baja resistencia a la compresión.
- Esta tesis propone la utilización de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) en la sustitución del cemento en un 8%, ya que es el porcentaje que más resistencia a la compresión pudo soportar el concreto.

## CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios con cantidades menores al 8% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) para determinar si existe un incremento mayor de la resistencia a la compresión en un concreto no estructural.
- También debería utilizarse aditivos plastificantes y/o retardantes del fraguado, pues la mezcla con cascarilla de arroz comienza a secarse rápidamente, dificultando así su trabajabilidad.
- La ceniza de cascarilla de arroz (CCA) debería estar libre de impurezas y haber estado expuesto a temperaturas entre 400 °C y 800 °C, para evitar así que la ceniza se pueda cristalizar y no llegue a reaccionar durante su empleo.
- Debería implementarse un proceso de molienda que permita la reducción del tamaño de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA), para poder obtener partículas más finas, muy similares a la del cemento.

## CAPÍTULO 8. REFERENCIAS

1. ACEROS AREQUIPA. (2017). Manual del maestro constructor. Obtenido de <http://www.acerosarequipa.com/manual-del-maestro-constructor/materiales-de-construccion/concreto.html>
2. ACI COMMITTEE 211. (2002). Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (ACI 211.1-91).
3. ALLAUCA, L. A., AMER, H. E., & LUNG, J. P. (2009). Uso de sílice en hormigones de alto desempeño. Guayaquil, Ecuador.
4. ARGOS. (2007). Historia del cemento y del concreto. 360° EN CONCRETO.
5. BENITEZ, V. (MAYO de 2015). Instituto de Ingeniería UNAM. Obtenido de Nuevas tendencias en tecnologías del concreto
6. BERNA, J. (18 de Enero de 2009). CONCRETO. Recuperado el 2018 de MARZO de 27, de:  
<http://elconcreto.blogspot.pe/search/label/Agragado%20Grueso%20del%20Concreto>
7. BRYANT, M. CIVILGEEK. Recuperado el 2018 de MARZO del 2, de:  
<https://civilgeeks.com/2011/12/11/durabilidad-del-concreto/>
8. Canal Construcción © 2018. Cemento portland usos y tipos. Lima.
9. CEMENTOS PACASMAYO. (2016). Ficha tecnica cemento mochica tipo I. PACASMAYO, PERU.
10. CERÓN, S. A. (2012). Uso eficiente de la cascarilla del arroz mediante la implantación de un sistema de comercialización orientado al sector público y privado en el cantón de Babahoyo. BABAHOYO, ECUADOR.
11. CHAVEZ, C. A., & MARTINEZ, M. V. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agroindustrial para la fabricacion de bloques en concreto no

- estructurales. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, P-ISSN: 0255-6952 | E-ISSN: 2244-7113.
12. CONTRERAS, K., & PEÑA, J. (2017). Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla. TRUJILLO.
  13. Domínguez et al., ). (2002). Uso de la cascara de arroz como fuente de energía en la fabricación de ladrillos cerámicos.
  14. ESPINACE. (1984). Influencia del grado de compactación de rellenos arenosos en su deformabilidad bajo acciones estáticas y cíclicas. VALPARAISO, CHILE: CEGAL.
  15. FERREX. (2018). Recuperado el 2018 de MARZO del 27, de:  
<http://www.materialesdeconstruccion.com.mx/productos-agregados.php>
  16. Garcés Terradillos, Climent Llorca & Zornoza Gómez. (2008). Protección superficial del hormigón armado: cloruros y carbonatación.
  17. GÓMEZ, J. (1994). Historia del cemento y el concreto. AICUN N° 15.
  18. GONZÁLEZ, L. O., & QUINTERO, S. L. (2004). Evaluación del uso de la fibra de la estopa de coco, para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto. MADRID: ANIFER.
  19. HUAROC, 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. TRUJILLO.
  20. IGLESIAS, F., & YUPANQUI, R. (2016). Utilización de la ceniza de cáscara de arroz del valle de majes como adición al cemento para la elaboración de concreto con resistencias 140 kg/cm<sup>2</sup>, 175 kg/cm<sup>2</sup>, 210 kg/cm<sup>2</sup>, 280 kg/cm<sup>2</sup> y 350 kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Arequipa. AREQUIPA.

21. INDECOPI, C. D. (2008). Norma Técnica Peruana. LIMA.
22. INEI. (junio de 2017). Nota de prensa. Consumo interno de cemento aumentó 4,07% y acumuló seis meses de crecimiento consecutivo. Lima.
23. LAURA, S. (2006). Diseño de mezclas de concreto. PUNO, PERÚ.
24. LOAYZA, P. (2014). Efecto de la ceniza de cáscara de arroz sobre la resistencia a la compresión del concreto normal. CAJAMARCA.
25. MADRID, C. A. (1977). Consideraciones sobre el diseño de mezclas y el control de calidad de concreto de cemento para pavimentos. Notas Técnicas N° 10 ICP.
26. MAFLA, A. (9 de MAYO de 2009). Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción. MADRID: ISSN.
27. MATTEY, P., ROBAYO, R., DÍAZ, J., DELVASTO, S., & MONZÓ, J. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. CALI: Rev. LatinAm. Metal. Mat.
28. MÉNDEZ, R. (2009). Diseño de tejas prefabricadas de bajo coste que incorporan residuos industriales de carácter puzolánico para uso en países en vías de desarrollo. Aplicación al caso de Cali (Colombia). VALENCIA.
29. MILLAN, R. (1988). La industria del concreto premezclado en Mexico. GRUPO TOLTECA.
30. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO (MINAGRI 2017). BOLETÍN MINAGRI.
31. ORTIZ VIZUETE, G., & BASTIDAS GUTIÉRREZ, P. (2016). Comportamiento de la ceniza de la cascarilla de arroz en las propiedades físico-mecánicas en mezclas de hormigón estándar. Quito.

32. PCONSTRUYE. (2016). Concreto en obra: un mercado cada vez mas solido. REVISTA PERÚ CONSTRUYE, 76-83.
33. PÉREZ, M. O., & ANGUIANO, J. R. (2013). La importancia del concreto como material de construcción. TECNOLOGIA DEL CONCRETO.
34. Por Andina. (5 de JUNIO de 2016). ANDINA DEL PERU PARA EL MUNDO. Obtenido de <http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-la-libertad-declaran-al-districto-guadalupe-como-capital-del-arroz-615711.aspx>
35. RILEM COMMITTEE 68-MMH, TASK GROUP 3. (1984). The hydration of tricalcium silicate. Materials and Structures, 457–468 .
36. SAAVEDRA, V. (2013). Suelos mejorados con aglomerantes y aglomerados como pisos en asentamientos humanos. SAN MARTIN.
37. SALAZAR, A. ¿Què es una puzolana? Recuperado el 2018 de MARZO de 27, de <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf>
38. SÁNCHEZ, T., & RAMÍREZ, S. Una experiencia piloto desarrollada por ITDG-PERÚ. LIMA.
39. SANJUAN, M. A., & CHINCHON, S. (2005). Introduccion a la fabricacion y normalizacion del cemento portland. ALICANTE: CANDELA INK.
40. SEGUEL, C. (2006). Hormigones de alta resistencia H70. VALDIVIA, CHILE.
41. SERRANO, T., BORRACHERO, M., MONZÓ, J., & PAYÁ, J. (2012). Morteros aligerados con cascarilla de arroz: diseño de mezclas y evaluación de propiedades. MEDELLIN: DYNA.
42. Tello, A. (2008). Concreto en estado fresco [en línea] Recuperado el 3 de Septiembre de 2016. De [http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2008/tello\\_am/pdf/tello\\_am-TH.4.pdf](http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2008/tello_am/pdf/tello_am-TH.4.pdf)

43. UNI. (OCTUBRE de 2012). Historia y evolucion del concreto. El concreto. LIMA, PERU.
44. Van Acker, A. (junio de 2008). Instituto mexicano del cemento y del concreto A.C. Obtenido de <http://www.imcyc.com/ct2008/jul08/mejor.htm>
45. VILLEGAS, C. (2012). Utilización de puzolanas naturales en la elaboración de prefabricados con base cementicia destinados a la construcción de viviendas de bajo costo. LIMA.
46. YRUPAILLA, C. (2010). Uso de la cascara de arroz como fuente de energía en la fabricación de ladrillos cerámicos.

## CAPÍTULO 9. ANEXOS

### 9.1. ANEXO 1: Panel Fotográfico



**Fotografía 1:** Agregado fino y agregado grueso para su uso en nuestro proyecto.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 2:** Tamices de agregados.

**Fuente:** Propia



**Fotografía 3:** Colocación de ceniza de cascarilla de arroz (CCA)  
para su tamizado.

**Fuente: Propia.**



**Fotografía 4:** Ensayo para PUCS y PUSS.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 5:** Ensayo agregado fino (PUCS).

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 6:** Ensayo peso específico agregado fino.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 7:** Ensayo agregado fino peso específico.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 8:** Ensayo peso específico de la arena.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 9:** Peso de la muestra agregado grueso.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 10:** Tamizado de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA).

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 11:** Ceniza de cascarilla de arroz (CCA) que pasó por la malla # 200.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 12:** Pesado de la cascarilla de arroz.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 13:** Pesado de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA).

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 14:** Mezcla de concreto en trompo.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 15:** Moldes para probetas de concreto.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 16:** Ensayo del cono de Abrams (Slump).

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 17:** Asentamiento de 12.5 cm de la mezcla con ceniza de cascarilla de arroz (CCA).

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 18:** Elaborando probetas de concreto.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 19:** Probetas de concreto terminadas.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 20:** Asentamiento de 3.7 cm de la mezcla con  
adición de cascarilla de arroz.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 21:** Asentamiento de 9.5 cm de la mezcla con adición  
de ceniza de cascarilla de arroz.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 22:** Prensa hidráulica para la rotura de probetas.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 23:** Probeta después de su comprobación en la prensa  
hidráulica.

*Fuente: Propia.*



**Fotografía 24:** Rotura de probeta en la prensa hidráulica.

**Fuente:** Propia.



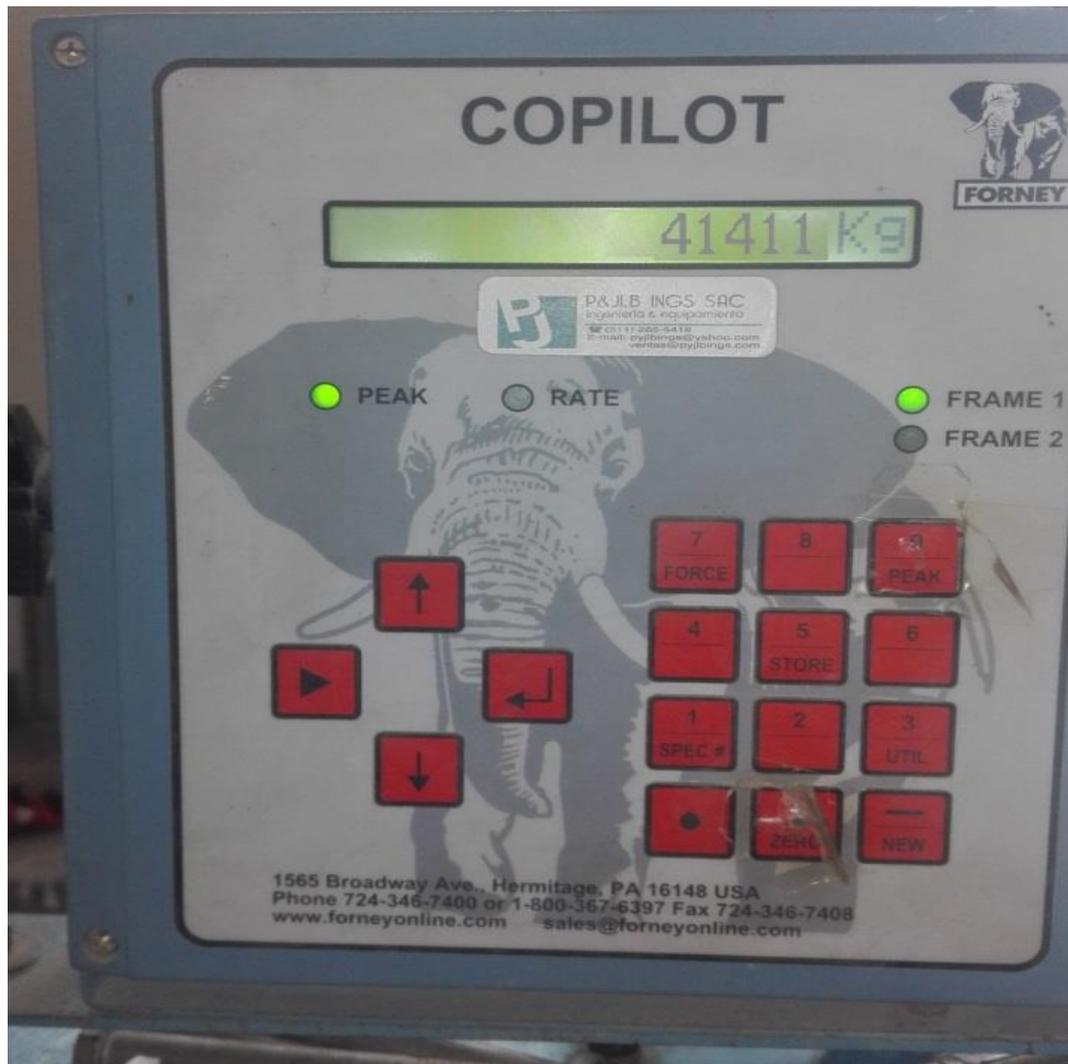
**Fotografía 25:** Rotura de probeta en la prensa hidráulica.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 26:** Rotura de probeta en la prensa hidráulica.

**Fuente:** Propia.



**Fotografía 27:** Máxima resistencia que soportó la probeta con 8% de CCA  
en la prensa hidráulica.

**Fuente:** Propia.

## 9.2. ANEXO 2: Ficha Técnica Cemento Mochica Tipo I



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04  
Versión 03

### CEMENTO MOCHICA Cemento Portland Tipo GU

Conforme a la NTP 334.082 / ASTM C1157  
Pacasmayo, 20 de Setiembre del 2017

PROPIEDADES FISICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.082 / ASTM C1157
Contenido de Aire	%	5	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.06	Máximo 0.80
Superficie Especifica	cm <sup>2</sup> /g	5180	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	3.7	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	2.98	NO ESPECIFICA
<b>Resistencia Compresión :</b>			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	21.0 (214)	Mínimo 13.0 (Mínimo 133)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	27.1 (276)	Mínimo 20.0 (Mínimo 204)
Resistencia Compresión a 28días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	33.4 (340)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)
<b>Tiempo de Fraguado Vicat :</b>			
Fraguado Inicial	min	124	Mínimo 45
Fraguado Final	min	255	Máximo 420
Expansión Barra de Mortero a 14 días	%	0.005	Máximo 0.020

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-08-2017 al 31-08-2017.  
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Julio 2017.  
La expansión de la barra del mortero corresponde al mes de Julio 2017.



**Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas**  
**Superintendente de Control de Calidad**

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

### 9.3. ANEXO 3: Certificado de ensayos en el laboratorio de la UPN – Trujillo sede San Isidro.



UNIVERSIDAD  
PRIVADA DEL NORTE

**CERTIFICADO**  
**DE ENSAYOS EN LABORATORIOS**

El que suscribe, Wesley John Leonardo Carrasco, hace constar por medio de la presente que los Sres. Portocarrero Regalado Luis Alberto y Jaime Huertas Miguel Ángel, identificados con D.N.I N° 18179510 y 42230191 respectivamente, han realizado ensayos de granulometría, peso unitario suelto y compactado, peso específico, absorción, contenido de humedad, curado y compresión de testigos de concreto en las instalaciones del *Laboratorio de Concreto y Estructuras* de esta universidad, requeridos para la tesis *"Influencia de la Cascarilla de Arroz y Ceniza de Cascarilla de Arroz sobre la Resistencia a la Compresión de un Concreto Convencional, Trujillo 2018"*; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.

Se expide esta certificación a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 09 de abril del 2018

  
Wesley J. Leonardo Carrasco  
Supervisor del Laboratorio

Mz. G Lte. 24 - Urb. Deán Saavedra  
El Cortijo - San Isidro - Trujillo  
www.upn.edu.pe

## 9.4. ANEXO 4: Normativas utilizadas para el desarrollo de los ensayos

NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 400.010 2001
Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145	Lima, Perú

### AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras

AGGREGATES. Standard practice for sampling aggregates

2001-01-24  
2ª Edición

R.0011-2001/INDECOPI-CRT. Publicada el 2001-02-07 Precio basado en 06 páginas  
I.C.S.: 91.100.30 ESTA NORMA ES RECOMENDABLE  
Descriptores: agregados, extracción, preparación de muestras agregados, exploración de canteras  
potenciales, número y medidas necesarias para estimar las características.

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 339.185  
2002**

---

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

**AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para  
contenido de humedad total evaporable de agregados por  
secado**

AGGREGATES. Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying

**2002-05-16  
1ª Edición**

R.0048-2002/INDECOPI-CRT.Publicada el 2002-05-30

Precio basado en 08 páginas

I.C.S.: 91.100.30

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptor: Agregados, secado, contenido de humedad

PARA USO EXCLUSIVO DE CONSTRUCCIONES E COMERCIO CAMARCO CORREA S.A. SUCURSAL PERU



---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 400.021  
2002**

---

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

---

Lima, Perú

## **AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso**

**AGGREGATES. Standard test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate**

**2002-05-16  
2ª Edición**

R.0048-2002/INDECOPI-CRT.Publicada el 2002-05-30

Precio basado en 08 páginas

I.C.S.: 91.100.30

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptor: absorción, agregado, agregado grueso, peso específico

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 400.022  
2002**

---

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

---

Lima, Perú

## **AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino**

**AGGREGATES. Standard test method for specific gravity and absorption of fine aggregate**

**2002-05-16  
2ª Edición**

R.0048-2002/INDECOPI-CRT.Publicada el 2002-05-30

Precio basado en 05 páginas

I.C.S.: 91.100.30

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptor: Absorción, agregado, agregado fino, peso específico

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

**NTP 400.017  
1999**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI  
Calle De La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

## **AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado**

**AGGREGATE. Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate**

**1999-04-21  
2ª Edición**

R.0021-99/INDECOPI-CRT. Publicada el 99-04-29

Precio basado en 10 páginas

I.C.S.: 91.100.30

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptor: Hormigón, Método de ensayo, Probetas cilíndricas, curado de la probeta

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 400.037  
2002**

---

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

---

**AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para  
agregados en hormigón (concreto)**

AGGREGATES. Standard specification for concrete aggregates

**2002-02-14  
2ª Edición**

R.0013-2002/INDECOPI-CRT. Publicada el 2002-02-27

Precio basado en 14 páginas

I.C.S.: 91.100.30

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptores: Agregados, hormigón, requisitos

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 339.035  
1999**

---

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI  
Calle De La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

---

Lima, Perú

## **HORMIGÓN. Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams**

**CONCRETE. Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete. Using Abram's cone**

**1999-04-21  
2ª Edición**

**R.0021-99/INDECOPI-CRT. Publicada el 99-04-29**

**Precio basado en 6 páginas**

**I.C.S.: 91.100.30**

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

**Descriptor: Concreto, método de ensayo, medida del slump o asentamiento, cono de abrams**

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 339.033  
1999**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI  
Calle De La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

---

## **HORMIGÓN. Método de ensayo para la elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto en obra**

CONCRETE. Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

**1999-04-21  
2ª Edición**

R.0021-99/INDECOPI-CRT.Pública el 99-04-29

Precio basado en 6 páginas

I.C.S.: 91.100.30

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptores: Hormigón, Método de ensayo, Probetas cilíndricas, curado de la probetas cilíndricas

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 339.034  
2008**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

---

## **HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas**

CONCRETE . Standard Test method for Compressive Strength of cylindrical concrete specimens

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C39/C39M-05e1 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

**2008-01-02  
3ª Edición**

R.001-2008/INDECOPI-CRT. Publicada el 2008-01-25

Precio basado en 18 páginas

I.C.S.: 91.100.30

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptor: Hormigón, concreto, resistencia, resistencia a la compresión, muestras cilíndricas



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

Facultad de Ingeniería Química

Departamento Académico de Química

### CONSTANCIA DE ANALISIS

El que suscribe, Ernesto S. Wong L., Docente del Departamento de Química, y Jefe del Laboratorio de Química-Física, ha supervisado los análisis realizados a una ceniza de cascarilla de arroz, correspondiente a la tesis "Influencia de la cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla de arroz sobre la resistencia a la compresión de un concreto no estructural, Trujillo 2018" Autores: Jaime Huertas, Miguel Ángel, y Portocarrero Regalado, Luis Alberto.

Siendo los resultados los siguientes:

#### COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ

HUMEDAD (H<sub>2</sub>O): ..... 8.10 %

#### EN BASE SECA:

PÉRDIDAS POR CALCINACIÓN : ..... 14.00 %

SILICE (SiO<sub>2</sub>): ..... 63.00 %

ALUMINA (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): ..... 1.60 %

HIERRO (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): ..... 0.26 %

CALCIO (CaO): ..... 20.10 %

MAGNESIO (MgO): ..... 1.70 %

Trujillo, 17 de Julio del 2018

Ing. Ernesto S. Wong López  
CIP 40771