



TESIS: “USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21–MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



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

**“USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA  
CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21 – MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA  
MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA  
COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.**

**TESISTAS:**

**Bach. MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA**

**Bach. ULLOA PONCE JAVIER JOEL**

**ASESOR:**

**Ms. ABNER LEÓN BOBADILLA**

**NUEVO CHIMBOTE-PERÚ**

**2018**



**TESIS: “USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21–MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.**

---

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



**“USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21 – MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.**

REVISADO POR:

---

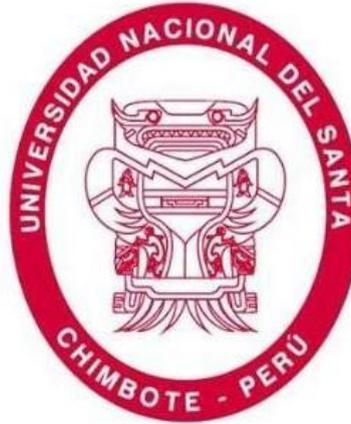
Ms. Ing. ABNER LEÓN BOBADILLA



**TESIS: “USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21–MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.**

---

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



**“USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21 – MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.**

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

Sustentado por el siguiente jurado:

---

Ms. Ing. Abner León Bobadilla  
Presidente

---

Ms. Ing. Luz Álvarez Asto  
Integrante

---

Ms. Ing. Edgar Sparrow Álamo  
Secretario



## **DEDICATORIA**

**En primer lugar a Dios, quien día tras día guía mi vida, por darme la fuerza y la sabiduría necesaria para salir adelante, que estoy segura me seguirá dando la perseverancia que necesito para lograr cada una de las metas que me he propuesto.**

**A la persona que más admiro, mi madre Marilú Pajuelo, que a pesar de mis errores siempre quiso apoyarme a seguir adelante con el sueño de ser ingeniera.**

**Me gustaría honrar con esta tesis a mi abuelita, que desde el cielo sé que está contenta por verme alcanzar una de mis metas.**

**A mi hermana Melody Mariluz quien me motiva a esforzarme cada día y a todas las personas que de alguna u otra manera, contribuyeron a mi desarrollo personal y profesional, a todos GRACIAS.**

**Milagros Mariluz Pajuelo**



## **DEDICATORIA**

**A Dios porque cada día me acompaña en el camino hacia mi formación profesional y personal, me brinda salud y fortaleza para vencer mis temores y angustias.**

**A mis padres y hermanos quienes son la razón de mi vida y han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino.**

**A los docentes de la escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil, por apoyarnos desde el inicio de la carrera, y brindado conocimiento, valores morales y experiencias.**

**Joel Ulloa Ponce**



## **AGRADECIMIENTO**

**A nuestros padres, nuestro eterno agradecimiento, pues en todo momento nos brindaron su apoyo espiritual, moral y financiero.**

**A la Universidad Nacional del Santa por acogernos y darnos la oportunidad de pertenecer a esta importante casa de estudios.**

**A nuestra Asesor, El Ing. Abner León Bobadilla que estuvo en todo momento con nosotros guiándonos y apoyándonos para la culminación de la presente tesis.**

**A los docentes de la E.A.P. de ingeniería civil por sus enseñanzas durante nuestra vida universitaria, quienes con sus aportes y conocimientos han hecho de nosotros unos profesionales competentes.**

**Milagros Mariluz y Javier Ulloa**



## ÍNDICE GENERAL

<b>Capítulo I: Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Antecedentes .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Formulación del problema .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3. Objetivos .....</b>	<b>7</b>
1.3.1. Objetivo general.....	7
1.3.2. Objetivos específicos .....	7
<b>1.4. Formulación de hipótesis.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5. Justificación .....</b>	<b>7</b>
<b>1.6. Limitaciones del trabajo.....</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo II: Marco Teórico.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Bases teóricas.....</b>	<b>10</b>
2.1.1. Materiales para las mezclas de concreto.....	10
2.1.2. Diseño de mezcla del concreto.....	26
2.1.3. Ceniza volante de carbón.....	41
2.1.4. Concreto.....	59
<b>Capítulo III: Materiales y Métodos.....</b>	<b>66</b>
<b>3.1. Método de investigación .....</b>	<b>66</b>
<b>3.2. Universo o población.....</b>	<b>66</b>
<b>3.3. Alcance de estudio.....</b>	<b>66</b>
<b>3.4. Procedimientos de recolección de datos.....</b>	<b>66</b>
3.4.1. Ensayo de los agregados.....	66
3.4.2. Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.....	81
3.4.3. Manejabilidad del concreto (NTP 339.035).....	88
3.4.4. Temperatura de la mezcla de concreto (NTP 339.114).....	96
3.4.5. Resistencia a la Compresión Testigos Cilíndricos.....	98
3.4.6. Absorción.....	102
<b>Capítulo IV: Resultados y discusiones .....</b>	<b>105</b>
<b>4.1. Ensayo de agregados.....</b>	<b>105</b>
<b>4.2. Diseño de mezcla .....</b>	<b>105</b>
4.2.1. Diseño de mezcla Patrón.....	105
4.2.2. Diseño de mezcla Patrón + Ceniza Volante de Carbón (5%).....	106
4.2.3. Diseño de mezcla Patrón + Ceniza Volante de Carbón (10%).....	106
4.2.4. Diseño de mezcla Patrón + Ceniza Volante de Carbón (20%).....	107
<b>4.3. Ensayo de consistencia.....</b>	<b>108</b>
<b>4.4. Ensayo de temperatura.....</b>	<b>108</b>
<b>4.5. Ensayo de compresión .....</b>	<b>109</b>
<b>4.6. Ensayo de absorción .....</b>	<b>114</b>
<b>4.7. Evaluación estadística de los resultados de ensayos de resistencia a la compresión.....</b>	<b>117</b>



**TESIS: “USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21–MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.**

---

<b>Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>123</b>
<b>5.1. Conclusiones .....</b>	<b>123</b>
<b>5.2. Recomendaciones .....</b>	<b>124</b>
<b>Capítulo VI: Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>129</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes del cemento Portland.....	10
Tabla 2 Límites de granulometría para el agregado fino según norma ASTM C33 .....	17
Tabla 3 Clasificación de la arena por su módulo de finura .....	19
Tabla 4 Límites de sustancias perjudiciales en agregados finos.....	20
Tabla 5 Requisitos granulométricos ASTM C-33 para agregado grueso .....	21
Tabla 6 Límites permisibles para el agua de mezcla y curado .....	24
Tabla 7 Factores de reducción .....	31
Tabla 8 Para la determinación de la resistencia promedio requerida .....	31
Tabla 9 Consistencia y Asentamiento .....	32
Tabla 10 Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción .....	32
Tabla 11 Volumen Unitario de Agua .....	34
Tabla 12 Contenido de agua de mezcla.....	35
Tabla 13 Tabla Relación agua / cemento y resistencia a la compresión del concreto .....	36
Tabla 14 Máxima relación agua / cemento permisible para concretos sometida a condiciones especiales de exposición .....	37
Tabla 15 Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto .....	38
Tabla 16 Porcentajes de Volumen de una mezcla de concreto .....	65
Tabla 17 Tamices Standard ASTM.....	72
Tabla 18 Masa mínima de la muestra de ensayo .....	74
Tabla 19 Abertura de Tamices para Agregado Grueso .....	75
Tabla 20 Límites de Granulometría para el Agregado Grueso.....	76
Tabla 21 Peso mínimo de la muestra de ensayo .....	79
Tabla 22 Número de capas requeridas en la elaboración de las mezclas .....	86
Tabla 23 Diámetro de varilla y número de golpes por capa .....	87
Tabla 24 Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción .....	89
Tabla 25 Tolerancias.....	100
Tabla 26 Propiedades Físicas del Agregado Grueso.....	105
Tabla 27 Propiedades Físicas del Agregado Fino .....	105
Tabla 28 Dosificación del concreto patrón .....	106
Tabla 29 Dosificación del concreto con 5% de ceniza volante de carbón.....	106
Tabla 30 Dosificación del concreto con 10% de ceniza volante de carbón.....	107
Tabla 31 Dosificación del concreto con 20% de ceniza volante de carbón.....	107
Tabla 32 Resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días, con 0%, 5%, 10 % y 20% de ceniza volante de carbón .....	110
Tabla 33 Resultados de la resistencia a la compresión a los 14 días, con 0%, 5%, 10 % y 20 % de ceniza volante de carbón .....	110
Tabla 34 Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días, con 0%, 5% ,10 % y 20% de ceniza volante de carbón .....	110
Tabla 35 Resistencia Promedio con diferentes porcentajes de ceniza volantes de carbón. Edad: 7 días. ....	111
Tabla 36 Resistencia promedio con diferentes porcentajes de cenizas volantes de carbón. Edad: 14 días. ....	112
Tabla 37 Resistencia promedio con diferentes porcentajes de cenizas volantes de carbón. Edad: 28 días .....	113
Tabla 38 Capacidad promedio de Absorción (gr/m <sup>2</sup> ) .....	114
Tabla 39 Capacidad de succión capilar con diferentes porcentajes de cenizas volantes de carbón.....	115
Tabla 40 Velocidad de succión capilar con diferentes porcentajes de cenizas volantes de	



carbón. Edad: 28 días .....	116
Tabla 41 Resultado de ensayos de resistencia a la compresión .....	117
Tabla 42 Incremento de valores de desviación estándar cuando se tienen menos de 30 ensayos .....	119
Tabla 43 Aplicable cuando no se dispone de resultados para definir la desviación estándar.....	119
Tabla 44 Distribución normal.....	120
Tabla 45 Valores de dispersión en el control del cemento .....	120
Tabla 46 Valores de t .....	121



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Esquema General de la Fabricación del Cemento .....	12
<i>Figura 2.</i> Partículas de la ceniza volante .....	43
<i>Figura 3.</i> Esquema de combustión de carbón pulverizado .....	47
<i>Figura 4.</i> Vista General de la Central Termoeléctrica ILO21 .....	47
<i>Figura 5.</i> Barco autodescargante .....	48
<i>Figura 6.</i> Atraco del barco junto a la plataforma de descarga .....	48
<i>Figura 7.</i> Faja Transportadora .....	49
<i>Figura 8.</i> El Apilador .....	49
<i>Figura 9.</i> Los Recuperadores .....	50
<i>Figura 10.</i> Silos de Almacenamiento .....	50
<i>Figura 11.</i> Alimentador .....	51
<i>Figura 12.</i> Pulverizador .....	51
<i>Figura 13.</i> Ventilador de Tiro Forzado .....	52
<i>Figura 14.</i> Ventilador de Aire Primario .....	52
<i>Figura 15.</i> Diésel 2 .....	53
<i>Figura 16.</i> Los Quemadores .....	53
<i>Figura 17.</i> Caldero .....	54
<i>Figura 18.</i> Transporte de gases y partículas a través de ductos al precipitador electrostático .....	54
<i>Figura 19.</i> Precipitador Electrostático .....	55
<i>Figura 20.</i> La chimenea .....	55
<i>Figura 21.</i> Curva esfuerzo - deformación para un cilindro .....	62
<i>Figura 22.</i> Curvas típicas esfuerzo- deformación del concreto .....	62
<i>Figura 23.</i> Cuarteo Manual .....	68
<i>Figura 24.</i> Molde para determinar el Asentamiento .....	90
<i>Figura 25.</i> Varilla Compactadora .....	90
<i>Figura 26.</i> Compactación del concreto en el molde cónico .....	92
<i>Figura 27.</i> Retiro del cono después del enrasado del concreto .....	92
<i>Figura 28.</i> Medición del Asentamiento .....	93
<i>Figura 29.</i> Formas que adopta la mezcla de concreto después de retirado el cono .....	94
<i>Figura 30.</i> Temperatura vs Asentamiento .....	96
<i>Figura 31.</i> Partes de una máquina de compresión .....	100
<i>Figura 32.</i> Esquemas de tipos de falla .....	101
<i>Figura 33.</i> Probeta para el ensayo de absorción por succión .....	103
<i>Figura 34.</i> Porcentajes de ceniza volante vs Resistencia Promedio a los 7 días .....	111
<i>Figura 35.</i> Porcentajes de ceniza volante vs Resistencia Promedio a los 14 días .....	112
<i>Figura 36.</i> Porcentaje de ceniza volante vs Resistencia Promedio a los 28 días .....	113
<i>Figura 37.</i> Porcentajes de ceniza volante vs Capacidad de succión capilar .....	115
<i>Figura 38.</i> Porcentajes de ceniza volante vs Velocidad de Succión Capilar .....	116
<i>Figura 39.</i> Valores para la distribución normal .....	122



**TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".**

---

## **RESUMEN**

El presente proyecto de tesis propone una investigación experimental basada en la utilización de cenizas volantes de carbón, para evaluar la incidencia de las cenizas en las propiedades de resistencia del concreto, absorción, manejabilidad y temperatura. La ceniza volante es un tipo de desecho o bien llamado residuo el cual se origina en la planta termoeléctrica ubicada en Ilo, Moquegua. El uso de esta ocasiona un problema al medio ambiente, sin embargo, para el desarrollo de esta tesis se muestra como una alternativa diferente de adición para el diseño y realización de estructuras de concreto con el fin de mejorar sus propiedades.

Para ello se realizaron ensayos de revenimiento, temperatura, resistencia a la compresión y absorción, realizando una muestra patrón sin cenizas que sirvió de base para compararla con nuestras adicionando cenizas en dosificaciones del 5%, 10% y 20% en relación con el peso del cemento de la mezcla. Y se evaluó la influencia de la adición de las cenizas volantes en las propiedades de resistencia, absorción, manejabilidad y temperatura del concreto, concluyéndose que el porcentaje óptimo de cenizas volantes de carbón fue del 10 %.



**TESIS: “USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21–MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.**

---

## **ABSTRACT**

The present thesis project proposes an experimental investigation based on the use of coal fly ash, to evaluate the incidence of the ashes in the properties of concrete resistance, absorption, manageability and temperature. The fly ash is a type of waste or called residue which originates in the thermoelectric plant located in Ilo, Moquegua. The use of this causes a problem to the environment, however, for the development of this thesis is shown as a different alternative of addition for the design and realization of concrete structures in order to improve their properties.

For this, tests of slump, temperature, resistance to compression and absorption were performed, making a standard sample without ashes that served as a basis to compare it with our ash additions in dosages of 5%, 10% and 20% in relation to the weight of the cement of the mixture. And the influence of the addition of the fly ash on the properties of resistance, absorption, manageability and temperature of the concrete was evaluated, concluding that the optimum percentage of fly ash of coal was 10%.



**TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".**

---

## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**



## Capítulo I: Introducción

### 1.1. Antecedentes

La inclinación por el uso de las cenizas volantes inició en 1895, cuando se aprovechaba como combustible el carbón pulverizado de las fábricas de cemento. Además se comienza a emplear en calderas de vapor en el año 1910, que desde entonces se utiliza, en Centrales Térmicas mostrando un crecimiento en el empleo de carbón pulverizado; a la misma vez hubo un gran aumento de las restricciones reguladoras de las descargas de humos, sobresaliendo en lugares de alta densidad poblacional, problema que originó el aumento del resarcimiento de las cenizas volantes a gran escala.

Al desarrollar la creación de dichos materiales, y solucionar su restauración, se originó el problema, que persiste en la actualidad, el de su eliminación, motivo por el cual se dio comienzo a analizar sus posibles empleos. Estas investigaciones se realizaron en EE.UU., pero no solo en dicho país, sino en muchos otros industrializados que empleaban carbón en grandes cantidades, como Inglaterra, Francia, Polonia, Alemania, entre otros.

Los buenos resultados que ha dado la ceniza volante en el concreto ha hecho que su uso se dé en grandes proyectos de ingeniería civil tales como: La presa del Támesis, el sistema de almacenamiento por bombeo de Dinorwic, de igual manera la presa del lago Wimbleball, la plataforma principal del Yacimiento petrolífero de Ninian y la central Eléctrica “D” de Little Brook en el Reino Unido donde se continúa usando este desperdicio como aditivo para mejorar el concreto en los elementos estructurales.

En los años sesenta (1960) la ASTM elaboró normas para el empleo de la ceniza volante en los concretos. El ACI ha denominado a la ceniza volante como un controlador de materiales de baja resistencia. En el control de materiales de baja resistencia las mezclas se utilizan para llenar zanjas o tiros de minas, tanques de almacenamiento subterráneos abandonados, etc. Durante más de 50 años la ceniza volante se ha empleado en muchas de las grandes estructuras



del mundo, tales como la presa Hungry Horse en los E.U.A. y en la mayor parte de las presas del Reino Unido, en los últimos años.

Actualmente, en varios países, las cenizas volantes vienen siendo empleadas como fuente de ingresos y ya no como una carga.

Se puede estimar que en el año 1951, Francia realizó actividades industriales mediante el uso de las cenizas volantes. Ahora se usan algo más de 1 millón de ton/año; solamente en la fabricación de cementos, y con relación a su elaboración, es uno de los países que más cenizas volantes gasta en industrias.

En junio el año 2000 empezó el empleo del carbón en el Perú con la central térmica a vapor ILO21 de Ener Sur, que era la única que aprovechaba esta fuente de energía. La energía creada en el año 2002 fue de 845,9 GWh (0.363 t/MWh), y figura como el 21,5% de producción por centrales térmicas y el 3,8% del total territorial. El empleo de carbón mineral en el 2002 se elevó a 307,660 toneladas en la creación de energía eléctrica. (Pérez, 2012)

Como recurso para la creación de calor la planta termoeléctrica Ilo 21, encontrándose en la provincia de Ilo, emplea cenizas y escorias en su proceso industrial.

A continuación veamos investigaciones anteriores relacionadas con el presente trabajo realizado.

Los estudios de Peña y Contreras (2017), en su tesis: **“Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla”**. Con esta investigación se argumenta lo siguiente: Añadiendo dosificaciones del 1.5%, 3%, 4.5% y 6% de ceniza volante de carbón se aumenta la resistencia a la compresión y se reduce la permeabilidad en el concreto.

Al analizar el agregado de cenizas volantes de carbón en la mezcla se observa el aumento que se genera en la resistencia a la compresión en función a las dosificaciones y al tiempo de curado, además disminuye la penetración de agua que se genera en el ensayo de permeabilidad



en función a las dosificaciones aplicadas.

El estudio de la Ing. Roció Pérez (2012), en su tesis: **“Estabilización de suelos arcillosos con cenizas volantes de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos”**, con esta investigación se justifica que: Las arcillas en mezcla con cenizas volantes y cemento en un 3%, origina resultados correctos haciendo mejorar la resistencia del suelo arcilloso desde 7.7% hasta 51% de CBR al 100% de la Máxima densidad seca del Próctor Modificado, logrando menos gastos en su construcción.

Al añadir ceniza volante en la muestra de arcilla reduce los resultados de crecimiento, la humedad de la arcilla y gravedad específica y la plasticidad.

Los estudios de Cifuentes y Ferrer (2006), en su tesis titulada **“Análisis del Comportamiento Mecánico a Edades Tardías del Concreto Hidráulico con Adición de Cenizas Volantes de Termopaipa”**, con esta investigación se expone que: La ceniza volante, por poseer mayor superficie específica da al concreto fresco mayor rapidez de hidratación y así mismo regula el aumento de calor de hidratación, evitando la retracción y, por ese motivo, el concreto adicionado es menos susceptible a la figuración.

En cuanto a la pauta mecánica a compresión de los concretos evaluados, se puede dar como conclusión que un adecuado diseño de concreto adicionando cenizas volantes dado la misma resistencia especificada, se puede asegurar que a edades mayores a los 28 días su aumento será superior a los concretos normales.

El trabajo de Vera y Zambrano (2013), sobre **“Usos de las cenizas activadas del carbón proveniente de los calderos industriales, como sustituto parcial del cemento, para fabricar morteros de cemento portland”**, con esta investigación se demuestra que: La ceniza calcinada a 500 C con un 30% de sustitución para 28 días de curado y según análisis estadístico (ANVA) elaborado para 28 días de curado, la menor permeabilidad la presenta la CO-325 (morteros con sustitución del 20% de ceniza volante y tamizada por malla 325) y el concreto que presenta



cantidades mayores de resistencia es la CC-325 (ceniza calcinada a 500 y tamizada a malla 325).

En la localidad de Chimbote no se tiene conocimiento de investigaciones relacionadas con este tema, por la poca difusión acerca de los beneficios que podría generar en el concreto. Es por eso que en dicha tesis será de gran importancia explicar el uso de las cenizas volantes al concreto para el conocimiento de la población que se aferra continuamente a los materiales de uso común que son publicitados por las industrias de concreto que no ven una alternativa más como reducir la extracción de materias primas y la contaminación del medio ambiente.

## **1.2. Formulación del problema**

El concreto es la mezcla que se emplea en mayores cantidades alrededor del mundo, como consecuencia de esto la industria de la construcción se ha interesado en investigar la forma de desarrollar concretos con mayor desempeño, tanto técnico como económico, y en los últimos años ecológico. Asimismo ningún material de construcción ha sido utilizado el concreto en cantidades masivas en todo el mundo y en un futuro posiblemente no parece encontrarse otro material de construcción que pueda medirse con el concreto en cuanto a la capacidad de volumen.

Es por ello que la necesidad de encontrar materiales modificados en la construcción, poco a poco se vuelve tendencia a nivel mundial, más aun usando productos reciclados que eviten mayores contaminaciones.

La gran cantidad de subproductos industriales sin utilidad aparente representa un reto para los investigadores, y en ese sentido se deben proponer nuevas alternativas para reutilizar y valorizar dichos residuos.

Hoy en día se incorporan en los concretos subproductos de origen industrial o natural o como, las escorias de alto horno, cenizas volantes, humo de sílice, puzolanas naturales para



desarrollar sus propiedades. El uso apropiado de estos materiales no sólo aporta beneficios económicos y ecológicos, sino que se obtienen algunas mejoras tecnológicas en el producto final.

En esta investigación se usó cenizas volantes de carbón, éstos son productos que se toman de la precipitación electrostática o por captación mecánica de las partículas que conducen las emanaciones de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas suministradas por carbones pulverizados.

La constante expansión del sector termoeléctrico y la extracción de puzolanas naturales, producen que los costos en el cuidado del medio ambiente sean altos, viéndose una tarea atractiva para usar las cenizas volantes en la producción de cementos puzolánicos, pues según Obla (2003), el uso de esta puzolana produce una reducción en los costos de la producción del concreto, así como el manejo y desecho del residuo, proporcionando una sustentabilidad en el sector construcción y energía. Además provoca que las mezclas de concreto tengan un mejor manejo en el control de calidad como: un menor empleo de agua para obtener una trabajabilidad similar a la de un concreto sin ceniza volante, disminución de la relación agua/cemento, descenso en el sangrado, disminución de la permeabilidad, reducción del calor de hidratación y también ayuda en la reducción del agrietamiento a edades tempranas. El concreto hecho con ceniza volante también proporciona una mayor protección al acero de refuerzo contra la acción de los agentes naturales externos y amplía la resistencia a los sulfatos.

Mediante un informe técnico el Dr. Pérez Bueno (2006) recomienda que al concreto se le debe añadir una porción de 20 ó 25% de ceniza de carbón, de esta forma aumentará su resistencia, aparte de ello disminuirá su costo si se emplea en cantidades industriales. También indica que las cenizas volantes tienen la ventaja de no necesitar otro proceso adicional y pueden emplearse de forma directa en los cementos y concretos.

Agregar cenizas volantes de carbón en las mezclas de concreto implica una ganancia



de mejora de propiedades, así mismo reduce los gastos de eliminación de la ceniza volante para las empresas productoras de energía, ya que la fabricación anual mundial de ceniza de carbón se valora en más de 600 millones de toneladas, de las cuales al menos el 80% ó 500 millones de toneladas son cenizas volantes, de acuerdo a la Agencia Internacional de Energía y la Asociación Mundial de Carbón dados en el 2010.

Este material de desperdicio se excluye en vertederos, siendo transportado y almacenado muchas veces por métodos húmedos, que requieren añadir agua. Es así que se han formado rellenos de cientos de miles de toneladas, los que se han debido restaurar y adaptar para evitar el peligro de contaminación de zonas aledañas, lo cual hace que la ceniza volante se haya vuelto una cuestión ambiental, especialmente analizar sus beneficios en la ingeniería civil, tratando de reducir el impacto ambiental que produce su elaboración.

En junio del año 2000 se inició en el Perú el empleo de carbón en la central térmica a vapor ILO21 de Ener Sur, ubicada en la provincia de ILO siendo la única que utiliza esta fuente de energía. El empleo de carbón mineral en el 2002 se elevó a 307,660 toneladas en la producción de energía eléctrica. “Estos desechos ocasionan un problema al medio ambiente, al ser puestos a disposición en rellenos sanitarios acondicionados, demandando espacio y produciendo costos, sin contemplar aplicación alguna que equilibre el excedente de ceniza con técnicas innovadoras” (Collantes, 2012).

Sin embargo en el Perú la aplicación de la ceniza volante no es muy aprovechada, no solo por la falta de difusión acerca de los beneficios que podría generar al concreto sino también de las posibles fuentes disponibles para su obtención.

En Chimbote, aún es incipiente la adición o reemplazo de cenizas volantes de carbón en mezclas de concreto, pues es un tema que sigue siendo poco investigado.

Por lo mencionado anteriormente y con el fin de aprovechar estos residuos para mejorar las propiedades del concreto se formula la siguiente pregunta:



**¿La utilización de las cenizas volantes de carbón mejorará las propiedades de: resistencia a la compresión, absorción, manejabilidad y temperatura del concreto?**

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general.**

Determinar las propiedades de resistencia a la compresión, absorción, manejabilidad y temperatura de un concreto mediante la adición de cenizas volantes de carbón.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar el grado de alcalinidad (Ph) y la composición química de la Ceniza Volante de Carbón.
- Elaborar mezclas de concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> adicionando cenizas volantes de carbón en porcentajes de 5%,10% y 20%.
- Comparar los resultados de resistencia, absorción, manejabilidad y temperatura para cada cantidad agregada al concreto con cenizas volantes.
- Determinar un rango óptimo del uso de las cenizas volantes de carbón en el concreto.
- Realizar una evaluación estadística del ensayo de resistencia a la compresión con el porcentaje de ceniza volante más óptimo.

### **1.4. Formulación de hipótesis**

Si se emplean las cenizas volantes de carbón de la central termoeléctrica Ilo21-Moquegua se mejorarían las propiedades de resistencia a la compresión, absorción, manejabilidad y temperatura del concreto.

### **1.5. Justificación**



La presente investigación busca mejorar las propiedades del concreto, ya que es indispensable que éste tenga la capacidad de resistir a una gran variedad de condiciones extremas durante su vida útil. Mediante el uso de las cenizas volantes de carbón, siendo éste un desecho industrial podrá contribuir a la mejora de las propiedades del concreto y con esto lograr la reducción de la contaminación que hay en el mundo generando un beneficio sustentable y económico.

Poco frecuentes son los trabajos elaborados con cenizas volantes usados en la producción de cementos durante su proceso de producción, comparándolos con cementos portland sin adición. Los resultados conseguidos, indican ventajas y desventajas semejantes a las presentadas por cementos con adiciones de puzolanas naturales. La razón es evidente, puesto que las puzolanas naturales y las cenizas volantes se originan de fenómenos que pueden ser comparados.

Se ha comprobado que elementos muy grandes colados con cemento portland ordinario no logran dar la resistencia requerida por la alta temperatura que se desarrolla mientras se hidrata el cemento, que consecuentemente tiene un efecto negativo referente a la resistencia. Inicialmente la ceniza volante fue usada para concretos masivos por su bajo calor de hidratación a edades tempranas y por el aumento de su resistencia a la compresión.

Con la adición se puede lograr disminuir los problemas de ataque por cloruros, sulfatos y la reacción álcali agregado; como ejemplo de ello, sus propiedades puzolánicas dan la posibilidad de la reducción de la penetración de cloruros a mayores días de secado, mejorando su forma de empleo en puertos y obras que se realizan en el mar, dándole más tiempo de vida al concreto y protección del acero frente a la carbonatación.

Este material adicional en el concreto puede ayudar en gran medida a disminuir la contaminación que hay en el mundo y lo que se quiere hacer es generar un beneficio sustentable y económico.



## 1.6. Limitaciones del trabajo

En cuanto a las limitaciones de la presente tesis se han presentado las siguientes:

- El curado, ya que para evaluar de forma correcta las muestras de concreto se necesita mayor tiempo de curado (mayor a 28 días).
- La falta de antecedente sobre investigaciones similares en la localidad de Chimbote.



**TESIS: “USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21–MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.**

---

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**



## Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1. Bases teóricas

#### 2.1.1. Materiales para las mezclas de concreto.

Para la obtención del concreto es indispensable conocer los materiales que lo conforman, pues de ello dependerá obtener un producto de calidad. A continuación se describen dichos elementos.

##### 2.1.1.1. *Cemento.*

Se define como material pulverizado que con el agua forma una aglomeración capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire. Quedan separadas de esta clasificación las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos. (SENCICO, 2009).

Entre los tipos de cemento, el más frecuente es el denominado cemento Portland, el cual puede ser definido como un cemento hidráulico fabricado por medio de la pulverización del Clinker compuesto principalmente de silicatos de calcio hidráulicos y que comprende una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición en la etapa de la molienda.

El cemento Portland fue registrado por J. Aspdin en 1824, y llamado Portland por su similitud a una piedra que hay en grandes cantidades en esa localidad de Inglaterra. El proceso se realiza mediante un calentamiento inicial (alrededor de 1300 °C) de la unión de minerales finamente molidos, constituido por piedra caliza y arcilla. La calcinación se realiza en hornos giratorios ligeramente inclinados 3m de diámetro y 100 m de largo. El material que se consigue es llamado “Clinker” se tritura finamente agregándole de un 2% a 3% de yeso para que no se fragüe de forma inmediata. El cemento así formado está compuesto por:

Tabla 1



### *Componentes del cemento Portland*

Nombre	Fórmula	Fórmula de óxidos	Porcentaje
Silicato dicálcico	$\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	$\text{SiO}_2.2\text{CaO}$	32%
Silicato Tricálcico	$\text{Ca}_3\text{SiO}_5$	$\text{SiO}_2.3\text{CaO}$	40%
Aluminado tricálcico	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{CaO}$	10%
Ferroaluminato tetra cálcico	$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$	$\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3.4\text{CaO}$	9%
Sulfato De Calcio	$\text{CaSO}_4$		2-3%

Fuente: <http://omard10.blogspot.pe/2013/06/compuestos-principales-del-cemento.html>

#### *2.1.1.1.1. Etapas de la fabricación del cemento.*

##### **Aprovechamiento de materias primas.**

Se basa en la obtención de piedras calizas y las arcillas de canteras, de las cuales según su condición física se emplean distintas formas de explotación; luego este se lleva a la fábrica. (Cemento Portland, 2018).

##### **Elaboración y clasificación de las materias primas.**

Después de haber conseguido los materiales, en dichas fábricas se disminuye el tamaño de la caliza siguiendo ciertas condiciones para su elaboración. Su tamaño se disminuye con la trituración hasta conseguir que llegue entre 5 y 10 mm. (Cemento Portland, 2018).

##### **Homogeneización.**

Se basa en unir mediante una mezcla las calizas y arcillas, que ya se han triturado. Se realiza mediante bandas transportadoras o molinos, con el fin de disminuir su tamaño hasta llegar al diámetro de medio milímetro. En dicha fase se origina la primera gran variación de los sistemas de elaboración del cemento, (procesos secos y húmedos). (Cemento Portland, 2018)

##### **Clinkerización.**

Se basa en traer la mezcla a hornos rotatorios a elevadas temperaturas, cerca de 1450 °C. En la última parte del este se elabora la mezcla de distintos componentes y se producen gránulos de 1 a 3 cm de diámetro, llamados Clinker. (Cemento Portland, 2018).

### **Enfriamiento.**

Luego de este proceso sigue la etapa de enfriamiento que se basa en la reducción de la temperatura para poder producir el cemento con este material. Dicho enfriamiento se acelera con máquinas especializadas. (Cemento Portland, 2018).

### **Adiciones finales y molienda.**

Después de enfriar el Clinker se sigue a obtener la finura del cemento, que se basa en moler el Clinker. Luego se le agrega yeso con el motivo de conseguir retardar el tiempo de fragua. (Cemento Portland, 2018).

Almacenamiento, ensacado y expedición de cemento.



Figura 1. Esquema General de la Fabricación del Cemento

#### *2.1.1.1.2. Tipos de cemento.*

En la norma ASTM C 150 tenemos las especificaciones para el cemento Portland tipo I, II, III, IV y V.



### **Tipo I.**

Este es utilizado en la elaboración de obras de concreto cualesquiera, estructuras (puentes, edificaciones, viviendas, etc.) se aplica cuando las especificaciones de obra no señalan el empleo de otro diferente tipo de cemento.

### **Tipo II.**

Dicho cemento posee una resistencia moderada a la acción de los sulfatos, y es usado en construcciones de concreto donde se necesite moderado calor de hidratación, cuando así se encuentre establecido en las especificaciones técnicas.

### **Tipo III.**

Este cemento logra adquirir una resistencia alta a edades tempranas, a los 3 y 7 días, debido a que la molienda del cemento es más fino. Éstas se emplean de acuerdo a las necesidades específicas que requiera la construcción, como cuando se necesita retirar las cimbras lo más pronto posible (antes de los 28 días) para recibir las cargas como en los elementos estructurales prefabricados o construcciones de emergencia. Por otra parte también es empleado en ocasiones donde una obra debe ponerse en servicio lo más rápido posible como por ejemplo en la construcción de caminos y autopistas.

### **Tipo IV.**

Se emplea en donde se requiera un bajo calor de hidratación sin que se produzca dilataciones en la fase de fragua. Por consiguiente la resistencia que desarrolla es más lenta que diferentes tipos de cemento. Utilizado en estructuras de concreto masivo, como los diques y presas por gravedad.

### **Tipo V.**

El tipo V es empleado en la edificación de obras que están expuestas al daño por sulfatos, como en las canales de conducción, infraestructuras portuarias, alcantarillas, y en general a terrenos que están en contacto con la humedad.



En la ASTM C 595 observamos las especificaciones para los cementos adicionados

Clinker + Yeso + ADICIÓN MINERAL

### **Adición mineral.**

Elementos inorgánicos que se integran al cemento, con el objetivo de ayudar a llegar a tener mejoras en sus propiedades.

Principales adiciones:

- a) Puzolanas
- b) Escoria de Alto Horno
- c) Filler

- Cemento pórtland tipo IS: Cemento Pórtland con escoria de alto horno. Su cantidad de escoria oscila entre 25% a 70%.
- Cemento pórtland tipo IP: Molienda conjunta entre el Clinker y puzolana. Contiene entre 15% y 40 % de puzolana.
- Cemento pórtland tipo I (PM): Cemento Pórtland puzolánico modificado, producida mediante la molienda entre el Clinker y la puzolana. Contiene cerca del 15 % de puzolana.
- Cemento pórtland tipo IL: Cemento Pórtland calizo. Esta entre el 5 % a 15 % de filler calizo.
- Cemento pórtland tipo ICO: Cemento Pórtland compuesto, producido por la pulverización conjunta del Clinker Portland, materias calizas y/o inertes hasta un máximo de 30%.
- Cemento pórtland ternario IT: Cemento Pórtland ternario. Con dos adiciones. En caso se necesite condiciones únicas, pueden llevar los siguientes sufijos: MS, HS, MH y LH

En la ASTM C 1157 consideramos los siguientes cementos portland.

### **ESPECIFICACIÓN DE LA PERFORMANCE.**

Tipo GU: De cualquier uso.

Tipo HE: Este cemento es gran resistencia inicial.

Tipo MS: De resistencia moderada a los sulfatos.

Tipo HS: Posee gran resistencia a los sulfatos.



Tipo MH: Tiene moderado calor de hidratación.

Tipo LH: Tiene bajo calor de hidratación.

#### *2.1.1.1.3. Comentario sobre la norma de performance.*

La Norma de Performance NTP 334.082 es una normativa de requisitos más reciente y flexible. Se manifiesta en el año 2000 iniciándose como una norma opcional para los cementos con adiciones y, posteriormente, es ampliada para todos los cementos Pórtland.

Tiene muchas ventajas sobre otras normas: en primer lugar se tiene que es aprovechada para todos los cementos con aditivos o no; luego otra ventaja es que atiende solo requisitos físicos; y la más relevante se basa en el hecho de que no se basa en proporciones ni condiciones de sus elementos que componen al cemento, únicamente requisitos de comportamiento, es decir, de performance. Así nos da una norma amplia y flexible para los productores y de mayor facilidad de emplear y contrastar para los consumidores.

#### *2.1.1.1.4. Producción de cemento en el mundo.*

El cemento es uno de los materiales mayormente empleados alrededor del mundo en la construcción, a pesar que las grandes ciudades ya están saturadas de grandes construcciones, el cemento sigue siendo pretendido en las grandes obras. Según los últimos recuentos brindado por Index Mundi, en su reporte Hydraulic Cement: World Production, By Country se registra un producto de 2310 millones de toneladas de cemento.

Siendo China el país que más produce cemento en el mundo, repitiéndose dicho dato estadístico según los últimos registros.

#### *2.1.1.1.5. La producción de cemento en el Perú.*

Perú posee más progresión en la industria inmobiliaria de Latinoamérica en los últimos años; sin olvidar el desarrollo urbano estatal y demás obras de gran envergadura de carácter estatal y



privado. Con una elaboración alrededor de los de 6.86 millones de toneladas de cemento, estableciéndose en el puesto 42 de producción de cemento en el mundo.

Pese a que los últimos 12 meses la fabricación de cemento ha decaído 5.5%, la reconstrucción tras el fenómeno del Niño Costero y los megaproyectos de infraestructura provocaría un repunte en el consumo de cemento.

### ***2.1.1.2. Agregados***

Son componentes de granulometría variable que son unidos por la pasta de cemento para crear una estructura resistente y durable. Abarcan aproximadamente las  $\frac{3}{4}$  del total y poseen una relevancia esencial en el producto final.

La designación de inertes es relativa, ya que si no participan directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para elaborar el conglomerado, por consiguiente sus características se ven afectados en el producto resultante, asimismo presenta casos de gran importancia como el cemento para la obtención de ciertas propiedades específicas de conductibilidad, resistencia, durabilidad, entre otros.

Están compuestos por fracciones minerales de basalto, granito, cuarzo, arenisca o uniones de estos, y sus características químicas y físicas poseen prácticamente participación en todas las propiedades del concreto.

La forma como se distribuye las partículas posee gran relevancia en el concreto para conseguir una estructura eficiente y densa, también una trabajabilidad correcta. Está comprobado que debe haber una unión casi total entre todas las partículas, de tal forma que las más chicas abarquen espacios entre los mayores y estos estén juntos por la pasta de cemento. (Carbajal, 1998)

#### ***2.1.1.2.1. Clasificación.***



#### 2.1.1.2.1.1. Agregado fino.

Producto resultante que se encuentra en forma natural por la desintegración de las rocas (arenas) o piedras que son finamente trituradas por la mano del hombre, y deben cumplir con los límites definidos por la norma ITINTEC 400.037, el cual tiene como requisito pasar por el tamiz 3/8” quedando retenido en la malla N°200.

#### **Granulometría.**

Las condiciones de la norma ASTM C33, proporcionan un intervalo grande en la granulometría del agregado fino, pero las especificaciones de otros ordenamientos son en ocasiones más ajustadas. La granulometría apropiada para el agregado fino, se somete al tipo de estudio, de uniformidad de la mezcla, y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más paupérrimas, o en el momento que se usan agregados gruesos de tamaño menor, la granulometría que se acerque más al porcentaje máximo que va por cada tamiz resulta ser más adecuado para alcanzar una buena manejabilidad. En términos generales, si la relación agua cemento se establece constante y la relación de agregado fino a grueso se escoge de manera correcta, se puede emplear un gran intervalo en la granulometría sin necesidad de una intención considerable en la resistencia. En este sentido se conseguirá una economía máxima, adaptando la mezcla del concreto para la cual se ajuste con la granulometría de los agregados locales.

La graduación del agregado fino está en el intervalo de los términos de la norma ASTM C33, y está relacionada a la gran parte de los concretos. Las limitaciones de esta norma con relación al tamaño de los tamices se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2



*Límites de granulometría para el agregado fino según norma ASTM C33*

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8" (9.50 mm)	100%
N°4 (4.75 mm)	95 a 100 %
N°8 (2.36 mm)	80 a 100%
N°16 (1.18 mm)	50 a 85 %
N°30 (600 µm)	25 a 60 %
N°50 (300 µm)	10 a 30 %
N°100 (150 µm)	2 a 10 %

Fuente: Normas de la Asociación American para el Ensayo de Materiales, Vol. 04.03. Pág.10

Dichas especificaciones proporcionan que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30 mm (No.50) y de 0.15 mm (No.100) sean limitados a 5% y 0%, respectivamente, siempre que se cumpla:

1.- El agregado se use con aire incluido que abarque cerca de 237 kg de cemento por metro cúbico y posea una capacidad de aire superior al 3%.

2.- El agregado se utilice abarque cerca de 296 kg de cemento por cada metro cúbico cuando el concreto posea aire incorporado.

3.- Se emplea un aditivo mineral aceptado para hacer una compensación de la falta del material que pase estas dos mallas.

Otros requerimientos de la norma ASTM son:

Que el agregado fino no retenga una cantidad mayor del 45% entre dos mallas consecutivas.

Que el módulo granulométrico no sea menor a 2.3 ni mayor a 3.1, ni que sobrepase el intervalo de 0.2 del valor típico de origen de suministro del agregado. Si sobrepasara este valor, el agregado fino no será considerado siempre y cuando se realicen los ajustes convenientes en los tamaños del agregado fino y grueso.

En teoría las cantidades de agregado fino que ingresan en las mallas de 0.30mm (No.50) y 0.15mm (No.100), intervienen determinadas características como la manejabilidad, la textura



superficial y exudación del concreto. La gran parte de las especificaciones aceptan que del 10% al 30% pase por la malla de 0.30mm (No. 50). El límite inferior alcanza condiciones de vaciado más fáciles o a la vez que el concreto posea un acabado mecánico, de la manera que sucede para los pavimentos. No obstante, en acabados de concreto donde se solicite textura tersa, se dispondrá un agregado fino que contenga al menos un 15% que pase la malla de 0.30mm (No.50) y lo sumo un 3% que pase la malla de 0.15mm (No.100).

### **Módulo de finura. (FM)**

También conocido como granulométrico del agregado fino se logra, de acuerdo a la ASTM C125, adicionando cantidades acumuladas en peso de los agregados contenidos en una serie establecida de mallas y fraccionando la suma entre 100. Las mallas que se utilizan para hallar el módulo de finura son la de 0.15mm (No.100), 0.30mm (No.50), 0.60mm (No.30), 1.18mm (No.16), 2.36mm (No.8), 4.75mm (No.4), 9.52mm (3/8”), 19.05mm (3/4”), 38.10mm (1½”), 76.20mm (3”), y 152.40mm (6”). El MF es un indicador de la finura del agregado, cuando sea más el módulo, mayor grosor tendrá el agregado.

Tabla 3  
*Clasificación de la arena por su módulo de finura*

Tipo de arena	Módulo de finura
Gruesa	2.90 -3.20 gramos
Media	2.20 - 2.90 gramos
Fina	1.50 - 2.20 gramos
Muy fina	1.50 gramos

Fuente:<https://edoc.site/tesis-agregados-pdf-free.html>

El MF tiene que encontrarse en el rango de 2.3 a 3.1. Si se modifica en más del 0.20 del valor tomado al escoger las cantidades para concreto, no podrá ser aceptado siempre y cuando se comprueben los ajustes más correctos con el propósito de compensar la variación de



gradación.

*Sustancias perjudiciales.*

Tabla 4  
*Límites de sustancias perjudiciales en agregados finos*

Sustancia	Porcentaje máximo en peso del total de la muestra
Arcilla y partículas disgregables	3.0
Material más fino que el tamiz 200 (75 $\mu\text{m}$ ):	
Concreto sujeto a abrasión	3.0 <sup>A</sup>
Cualquier otro concreto	5.0 <sup>A</sup>
Carbón y lignito:	
Cuando es importante la apariencia del concreto	0.5
Cualquier otro concreto	1.0

Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol. 04.03 Pág. 11.

<sup>A</sup> En el caso de arena manufacturada, si el material más fino que el tamiz 200 consiste en polvo de fractura, esencialmente libre de arcilla o esquisto, estos límites pueden incrementarse en 5 y 7% respectivamente.

#### **2.1.1.2.1.2. Agregado grueso.**

Principales componentes del concreto constituido por gravas trituradas, gravas, escoria de hornos de explosión, piedra triturada, concreto de cemento hidráulico triturado o alguna unión, es aquel que queda a partir del tamiz N°4, para su efectivo empleo no pueden ser muy porosos, tampoco de muy alargada conforme con las limitaciones que dispone la ASTM C-33.

#### **Granulometría.**

Para el análisis granulométrico del agregado grueso y fino, es preferible que el agregado grueso en conjunto sea continuo en tamaños en su constitución granulométrica; pese a ello los resultados que la gradación de la grava genera en la trabajabilidad de las mezclas de concreto, son mínimos que los elaborados por el agregado fino. De esta forma, la granulometría de un agregado grueso, de un tamaño máximo seleccionado, puede cambiar dentro de un rango en apariencia amplio sin generar efectos considerables en los requerimientos de cemento y agua.

Según la Norma ASTM E11 para el agregado grueso la serie de tamices a emplearse son:



6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", y #4.

Tabla 5

*Requisitos granulométricos ASTM C-33 para agregado grueso*

Tamaño N°	Tamaño nominal en pulgadas	Porcentajes pasantes en peso para cada malla standard												
		4" (100 mm)	3 1/2" (90 mm)	3" (75 mm)	2 1/2" (63 mm)	2" (50 mm)	1 1/2" (37.5 mm)	1" (25 mm)	3/4" (19 mm)	1/2" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	N°4 (4.75 mm)	N°8 (2.36 mm)	N°16 (1.18 mm)
1	3 1/2" a 1 1/2"	100	90 a 100	-----	25 a 60	-----	0 a 15	-----	0 a 5	-----	-----	-----	-----	-----
2	2 1/2" a 1 1/2"	-----	-----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-----	0 a 5	-----	-----	-----	-----	-----
3	2" a 1"	-----	-----	-----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-----	0 a 5	-----	-----	-----	-----
357	2" a Malla #4	-----	-----	-----	100	95 a 100	-----	35 a 70	-----	10 a 30	-----	0 a 5	-----	-----
4	1 1/2" a 3/4"	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-----	0 a 5	-----	-----	-----
467	1 1/2" a malla #4	-----	-----	-----	-----	100	95 a 100	-----	35 a 70	-----	10 a 30	0 a 5	-----	-----
5	1" a 1/2"	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-----	-----	-----
56	1" a 3/8"	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-----	-----
57	1" a malla #4	-----	-----	-----	-----	-----	100	95 a 100	-----	25 a 60	-----	0 a 10	0 a 5	-----
6	3/4" a 3/8"	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-----	-----
67	3/4" a malla #4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	-----	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-----
7	1/2" a malla #4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-----
8	3/8" a malla #4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	85 a 100	0 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: ASTM C-33

### Tamaño nominal máximo.

Es la medida del tamiz comercial por el cual pasa la mayor parte de agregado o en términos generales es el primer retenido de la muestra en la malla de menor tamaño. En general el tamaño máximo de las partículas del agregado no puede exceder:

1. El tamaño más pequeño del miembro de concreto en un 1/5.
2. Entre barras de refuerzo 3/4 del espaciamiento libre.
3. Del peralte de las losas 1/3.

*Sustancias perjudiciales.*



Las especificaciones de los límites de elementos dañinos en los agregados gruesos a usar en la elaboración de concreto se destinan de acuerdo a la clasificación de agregado, el grado de desgaste y otros factores a los que deben ser mostrados, semejante a los del agregado fino, ver Tabla 4.

Los agregados gruesos empleados en la producción de concreto tienen que estar libres de sustancias mayores como lignito, material fino, carbón, arcilla y cenizas. Las tolerancias estarán en relación del empleo que se le asignará al concreto. El agregado grueso que va a ser usado en concreto, tiene que estar exento de materiales que reaccionen nocivamente con los álcalis del cemento para los casos en el que esté expuesto con frecuencia en el agua.

#### **Densidad relativa.**

En cuanto a los agregados, las especificaciones que se emplea para determinar la característica principal de su densidad, le incumbe a la gravedad específica de masa, que viene a ser el cociente obtenido de la división del peso en el aire de un cierto tamaño de agregados siendo requerida en estado saturado y posee una superficie seca, entre el peso de un volumen en el aire equivalente de agua filtrada libre de aire, de igual temperatura.

#### **Absorción.**

Esta propiedad de los agregados se determina con el fin de calcular la porosidad de las partículas de los agregados de acuerdo a la cantidad de agua que este absorba y con esto calcular los pesos precisos de cada unión.

#### **Contenido de humedad.**

Es el agua total que posee el agregado cuando se va hallar su masa. Cuando este se exprese en proporción de la muestra seca (en estufa), se califica como proporción de humedad, que debe ser superior o inferior que el porcentaje de absorción. Los agregados habitualmente se los localiza húmedos, y pueden alterarse con el tiempo, motivo por el cual se debe hallar



asiduamente la cantidad de humedad, para después modificar las dosificaciones de la mezcla.

#### *2.1.1.2.2. Calidad de los agregados.*

En obras de construcción civiles a causa de la baja calidad de los componentes del concreto como los agregados pueden producirse daños por humedad o filtros en las paredes, baja resistencia, un aumento en el desperdicio de materiales de construcciones, y daño temprano de hormigones entre otros daños que provienen del mismo.

Los requisitos que tienen que cumplir los áridos empleados los define la INEN 872 para hormigón, y detalla los ensayos tomados en cuenta originados para control y recepción. Este tiene que estar exento de cantidades peligrosas de impurezas orgánicas. Los áridos empleados en el ensayo para hallar las impurezas orgánicas según la INEN 855 y que originen un color más oscuro que el color definido o patrón, deben ser negados. Un árido fino desechado en el ensayo de impurezas orgánicas puede ser empleado si al ser ensayados morteros de prueba, estos originan una resistencia relativa hallada a los 7 días, de acuerdo a la INEN 866, valores que no pasen al 95 % de la resistencia esperada. (Collantes, 2012)

#### *2.1.1.2.3. Análisis de las propiedades mecánica de los agregados.*

Para determinar la acción mecánica de rozamiento y desgaste con frecuencia se utiliza como indicador general de su calidad la resistencia a la abrasión, y la resistencia al rayado de un agregado, dándose este último en forma de incisiones por desplazamiento a presión. Por otro lado la máquina de los Ángeles ha sido desarrollada para hallar la resistencia a fragmentación, de acuerdo con la norma ASTM C-131, el cual consiste, fundamentalmente, en dejar el agregado dentro de un cilindro rotatorio con una carga de bolas de acero por un lapso de tiempo, y que luego de este procedimiento se especifica la proporción de deterioro soportado.



### 2.1.1.3. Agua

Es un componente que se utiliza para la hidratación del cemento y para la manejabilidad de la mezcla.

No está permitido el empleo de aguas ácidas; minerales; calcáreas; carbonatadas; relaves o aguas que provienen de minas; aguas con contenido sulfatos mayor de 1%; aguas que contengan algas; aguas industriales o que contengan residuos minerales; humus, aguas que contengan azúcares o sus derivados, materia orgánica. (Rivva, 1992)

El agua utilizada en la mezcla y curado del concreto tendrá que llegar a cumplir con las solicitudes de la ITINTEC 334.088 siendo preferente potable.

La NTP 339.088 nos recuerda que las aguas que se puedan utilizar para la preparación y curado del concreto, son las que poseen propiedades y contenidos de materias diluidas están incluidos dentro de los intervalos:

Tabla 6  
*Límites permisibles para el agua de mezcla y curado*

Descripción	Limite Permisible		
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5000	ppm	Máximo
Materia Orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaCHCO <sub>3</sub> )	1000	ppm	Máximo
Sulfatos (ion SO <sub>4</sub> )	600	ppm	Máximo
Cloruros (ión Cl <sup>-</sup> )	1000	ppm	Máximo
pH	5 a 8		Máximo

Fuente: NTP 339.088

Si el cambio de color es una condición que se quiere contrastar, la capacidad máxima de hierro, expuesto en ion férrico, será de 1 ppm.

Si se usa aguas no son potables, la clase del agua, que resulta del estudio en los laboratorios, podrá ser garantizada por la Supervisión.



La elección de los porcentajes de la mezcla de concreto se justificará en lo obtenido en los que se empleó en la preparación del concreto con el agua de la fuente electa.

#### *2.1.1.3.1. Uso de agua no potable.*

Si en cualquiera de las solicitaciones referidas en la tabla 6 no esté relacionada con el agua utilizada, entonces se deberá efectuar ensayos comparativos del estudio del agua estudiada y agua potable o destilada, manteniendo similitud en el uso de materiales y procedimientos.

Los ensayos mencionados se estudiarán, sobre todo, análogamente con el cemento que será empleado. Además comprenderá el cálculo del tiempo de fragua de las pastas y la resistencia a la compresión a los 28 y 7 días.

Dentro del análisis relacionado sobre la calidad del agua empleada no influye el tiempo de fraguado y menos en las causas de la misma del concreto endurecido. En ese sentido la NTP 339.084 aprueba que los plazos de fragua inicial y final de la pasta elaborada con el agua analizada los cuales pueden ser menores o mayor al 25%, respectivamente, en mención a la mezcla del cemento y agua de referencia.

#### *2.1.1.3.2. Agua de mar.*

El agua de mar únicamente se puede utilizar en la elaboración del concreto siempre y cuando se tenga previa permiso por escrito del ingeniero responsable del proyecto y de la inspección

Es aconsejable que la mezcla de concreto posea una cantidad de cemento menor de 350 kg/m<sup>3</sup>; una razón de agua/cemento máxima de 0.5; consistencia plástica; y un recubrimiento mínimo de 7 cm.

El agua de mar no se podrá utilizar en los siguientes casos:

Concreto pres forzados.

Concreto donde la resistencia a la compresión a los 28 días sea mayor del 75 kg/cm<sup>2</sup>

Concretos en los que estén incorporados materiales de aluminio o de fierro galvanizado.



Concretos trabajados en climas de temperaturas elevados.

Concretos con acabado superficial de relevancia, descubiertos y de cara vista.

### **2.1.2. Diseño de mezcla del concreto.**

Existen cuantiosos métodos para realizar un diseño de mezcla, desde los más conservativos hasta los que requieren límites de proporcionalidad de los materiales para el concreto, pero para estudios de esta tesis el método que se empleó para el diseño de mezcla fue del Comité 211 del ACI. Una definición sobre el diseño de mezcla se menciona a continuación:

“El diseño de mezclas de concreto, es conceptualmente la aplicación técnica y práctica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, para lograr un material resultante que satisfaga de la manera más eficiente los requerimientos particulares del proyecto constructivo” (Camacho, 2017).

El comité 211 del ACI ha establecido un método de diseño de mezclas conveniente, en el que se basa en algunas tablas, permitiendo obtener valores de los diferentes materiales que constituyen el metro cubico de concreto.

El procedimiento para la selección de las proporciones que se presentan en este capítulo es aplicable a concretos de peso normal y a las condiciones que está expuesta, se detallan en cada una de las tablas para cada caso particular.

#### ***2.1.2.1. Proporcionamiento de mezclas de concreto de peso normal.***

La finalidad de diseñar una mezcla de concreto radica en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que se cuenta, con el fin de producir un concreto que cumpla con los requisitos de comportamiento y calidad bajo ciertas condiciones de uso. Para lograr el objetivo de tener una mezcla de concreto bien proporcionada, tendrá que cumplir con las propiedades que a continuación se mencionan:



1. Para un concreto fresco, la trabajabilidad tiene que ser aceptable.
2. En un concreto endurecido, durable, resistente y uniforme en la mezcla preparada.
3. Económico

El pensamiento de los principios básicos del diseño de mezclas es bien importante como la reelaboración de los cálculos mismos. Solamente con una elección oportuna de los materiales y de las características de la mezcla tal como un proporcionamiento apropiado se pueden obtener las propiedades anteriores al trabajar un concreto.

A pesar que se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con las apariencias teóricas del diseño de mezclas, en buena parte continúa siendo un procedimiento empírico. Y aunque hay varias propiedades importantes del concreto, la mayor parte de los pasos a seguir en el diseño, está fundamentada principalmente en alcanzar una resistencia a compresión para una edad determinada, al igual que mantener una trabajabilidad adecuada. También es posible que si se logran estas dos propiedades entonces el concreto logrará ser satisfactoria (salvo en la resistencia al congelamiento y deshielo o diferentes problemas de durabilidad así como la resistencia al ataque químico).

#### ***2.1.2.2. Información requerida para el diseño de mezclas.***

Los ensayos y la verificación de ciertas características que se requieren para la elaboración de un diseño de mezcla son las siguientes:

- Granulometría de los agregados.
- Peso unitario compactado o varillado del agregado fino y grueso.
- Peso específico del agregado fino y grueso.
- Contenido de humedad y absorción del agregado fino y grueso.
- Forma y textura de los agregados.
- Tipo y marca del cemento para cada uso.



- Peso específico del cemento.
- Relaciones entre resistencia y la relación agua/cemento, para combinaciones posibles de cemento y agregados.

### ***2.1.2.3. Pasos para el Proporcionamiento de Mezcla.***

#### ***2.1.2.3.1. Especificaciones técnicas.***

Para realizar el diseño de una mezcla de concreto debemos tener en cuenta, primero, el de observar los planos y las especificaciones técnicas de obra, para luego determinar las condiciones que fijó el ingeniero proyectista y así la obra pueda cumplir ciertos requisitos durante su vida útil.

#### ***2.1.2.3.2. Elección de la Resistencia Promedio ( $f'_{cr}$ ).***

Las mezclas de concreto deben diseñarse para una resistencia promedio, en el que dicho valor siempre será mayor a la de la resistencia de diseño establecida por el ingeniero proyectista.

Si no se cuenta con registros de desviación estándar, el comité de ACI sugiere utilizar la tabla 8 de la presente tesis, que están en función del grado de control de la uniformidad y de la calidad del concreto hecho en obra.

#### ***2.1.2.3.3. Cálculo de la desviación estándar.***

##### **Método 1.**

Si se posee una serie de datos de resultados de ensayos de obras anteriores deberá determinarse la desviación estándar. El registro deberá:

- a) Representar materiales, medios de control de calidad y condiciones relacionadas a aquellos que se espera en la obra antes de realizar una dosificación de concreto.
- b) Representar a concretos listos para lograr una resistencia en compresión de diseño



especificada del orden de la del trabajo a ser iniciado; reconociendo un rango de variación de 35 kg/cm<sup>2</sup>, para resistencias en compresión hasta de 280 kg/cm<sup>2</sup>, y de 70 kg/cm<sup>2</sup> para resistencias superiores en concordancia a la resistencia de diseño especificada para la otra propuesta.

Cuando se tiene de 3 ensayos consecutivos, la desviación estándar se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}}$$

Donde:

S, Desviación estándar (kg/cm<sup>2</sup>).

$X_i$ , Resistencia de la probeta de concreto (kg/cm<sup>2</sup>).

$\bar{X}$ , Resistencia promedio de n probetas (kg/cm<sup>2</sup>).

N, Número de ensayos consecutivos de resistencia.

- c) Constar por lo menos 30 ensayos consecutivos o dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen como mínimo 30 ensayos.

Si se posee dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos un registro de 30 ensayos consecutivos, la desviación estándar promedio se calculará con la siguiente fórmula.



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

Dónde:

S = Desviación estándar.

n = Numero de ensayos de la serie.

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>... X<sub>n</sub>, = Resultados de resistencia de muestras de ensayos individuales

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

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

Donde:

$\bar{s}$ , Desviación estándar promedio en kg/cm<sup>2</sup>.

s<sub>1,2</sub>, Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2 respectivamente en kg/cm<sup>2</sup>.

n<sub>1,2</sub>, Número de ensayos en cada grupo, respectivamente.

## Método 2.

Si se tuviera registros de 15 a 29 ensayos consecutivos, se calcula la desviación estándar “s” perteneciente a los ensayos multiplicado por un factor de corrección que está señalado en la tabla 7, para obtener el nuevo valor de “s”. Para satisfacer que las muestras de ensayos cumplan con los requerimientos que dice en los enunciados a), b) del método 1 y representar un registro de ensayos consecutivos que muestre un periodo de no menos de 45 días calendario.



Tabla 7  
*Factores de reducción*

Muestra	Factor de reducción
Menos de 15	Usar tabla 8
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

Fuente: Enrique Pasquel, 1999

Una vez que la desviación estándar ha sido calculada, la resistencia compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ ) se obtiene como el valor mayor entre de las ecuaciones (1) y (2).

La ecuación (1) aporta una probabilidad de 1 en 100 que el promedio de tres ensayos consecutivos estará por debajo de la resistencia especificada  $f'_c$ .

La ecuación (2) presenta una probabilidad similar a que los ensayos individuales estén 35kg/cm<sup>2</sup> por debajo de la resistencia especificada  $f'_c$ .

Si la desviación estándar se ha operado de acuerdo a lo mencionado en el Método 1 o el Método 2, la resistencia promedio requerida será el mayor de los valores calculados por las formulas siguientes utilizando la desviación estándar “s” hallada.

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34s \quad (1)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 35 \quad (2)$$

Donde:

s= Desviación estándar, en kg/cm<sup>2</sup>

Si se desconoce el valor de la desviación estándar, se utilizará la Tabla 8.

Tabla 8  
*Para la determinación de la resistencia promedio requerida*

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

Fuente: Enrique Pasquel, 1999



#### 2.1.2.3.4. Elección del asentamiento (*Slump*).

El asentamiento que se requiera alcanzar se escogerá de acuerdo a las exposiciones de la obra. Dicho ensayo del asentamiento ha sido comprobado de ser de utilidad para evaluar la capacidad de las mezclas en la consolidación en diversos tipos de estructuras.

Si las especificaciones técnicas en una obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento podrá ser elegido de la siguiente Tabla 9.

Tabla 9  
*Consistencia y Asentamiento*

Consistencia	Asentamiento
Seca	0' (0mm) a 2'' (50mm)
Plástico	3' (75mm) a 4'' (100mm)
Fluida	$\geq 5''$ (125mm)

Fuente: ACI 211

Si las especificaciones de obra no señalan la consistencia, ni asentamiento requeridos para la mezcla a ser diseñada, usando la tabla 10 podemos seleccionar un valor apropiado para un determinado trabajo que se va a elaborar. Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser puestas eficazmente.

Tabla 10  
*Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción*

Tipo de construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzadas	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	8	2
Vigas y muros reforzadas	10	2
Columnas	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto ciclópeo y masivo	5	2

Fuente: ACI 211



#### 2.1.2.3.5. Selección de Tamaño Máximo Nominal del Agregado.

Las Normas de Diseño Estructural aconsejan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor, siempre y cuando sean compatible con las dimensiones y características de la estructura. La norma E. 060 recomienda que el agregado grueso no deberá ser mayor de:

- a)  $1/5$  de la menor dimensión entre las caras de encofrados.
- b) Del peralte de la losa,  $1/3$ .
- c) Del espacio libre mínimo,  $3/4$  entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones.

“En elementos de espesor reducido, o antes la presencia de gran cantidad de armadura, se podrá disminuir el tamaño del agregado grueso siempre que se mantenga una adecuada trabajabilidad, se cumpla con el asentamiento requerido y se obtenga la resistencia especificada” (Rivva, 2000, p.183).

#### 2.1.2.3.6. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.

Se refiere a la cantidad de agua que se incorpora en la mezcladora, por unidad cubica de concreto, para obtener una trabajabilidad determinada cuando el agregado está próximo al estado seco.

Mediante la tabla 11, donde se señala las recomendaciones del Comité 211 del ACI, nos va a permitir elegir un volumen unitario de agua adecuado conforme a las características que requiera dicho concreto, de acuerdo al TMN del agregado grueso, en concretos preparados con y sin aire incorporado y el asentamiento siendo éste un factor importante a ser considerado en el diseño de mezclas.



Tabla 11  
*Volumen Unitario de Agua*

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

Fuente: Diseño de mezclas – Enrique Rivva López

Como se aprecia en la Tabla 11 no considera para la estimación del agua de mezclado la forma, textura y granulometría de los agregados. Según la información descrita en la tabla, estos valores son aproximaciones muy cercanas a la realidad que para una primera evaluación y a las características que están sujetas (perfil, textura y granulometría de los agregados). Un aspecto importante será también el criterio que tome el contratista ante una eventual resistencia que requiera un elemento estructural sin que este sea perjudicial tanto estructuralmente ni económico. Al mismo tiempo, podemos usar la Tabla 12 que ha sido descrita, por el Departamento de Concreto del Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería que sirve para estimar la cantidad de agua de mezcla tomando que además toma en consideración la manejabilidad y el tamaño máximo nominal del agregado y el perfil de los mismos. Los valores de las Tablas corresponden a las mezclas sin aire incorporado y están sujetos al porcentaje de absorción y contenido de humedad de los agregados fino y grueso.



Tabla 12  
Contenido de agua de mezcla

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Contenido de agua en el concreto expresado en $lt/m^3$ , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
		25mm a 50mm (1" – 2")		75mm a 100mm (3" a 4")		150mm a 175mm (6" -7")	
mm	Pulg.	Agregado redondeado	Agregado Anguloso	Agregado Redondeado	Agregado Anguloso	Agregado Redondeado	Agregado Anguloso
9.5	3/8"	185	212	201	227	230	250
12.7	1/2"	182	201	197	216	219	238
19.1	3/4"	170	189	185	204	208	227
25.4	1"	163	182	178	197	197	216
38.1	1 1/2"	155	170	170	185	185	204
50.8	2"	148	163	163	178	178	197
76.2	3"	136	151	151	167	163	182

Fuente: ACI 211

Los valores de ambas tablas pueden ser empleadas con seguridad en la estimación preliminar de la cantidad de agua que se requiera en la mezcla. Si la mezcla no cumpliera con los estándares de diseño en laboratorio, sobre todo en el caso de que el agregado por ciertas características obligan a aumentar el volumen de agua, deberá también agregarse cemento mantener constante la relación agua-cemento, salvo si el producto de los ensayos de resistencia realizados con mezclas de pruebas preparadas en el laboratorio muestran que tal crecimiento no es necesario.

Luego de obtener los valores de la cantidad de agua y de aire atrapado para un metro cúbico de concreto se empezó a calcular el volumen que ocupan dentro de la unidad de volumen de concreto con la siguiente fórmula:

$$Volumen\ de\ agua(m^3) = \frac{Contenido\ de\ agua\ de\ mezclado\ (lts/m^3)}{Peso\ específico\ del\ agua\ (1000kg/m^3)}$$



### 2.1.2.3.7. Elección de la relación agua/cemento (*a/c*).

La relación viene a ser la cantidad de agua que participa en la mezcla cuando el agregado está en condición de saturado superficialmente seco, o sea que no consume ni aporta agua. Por otra parte la relación agua-cemento efectiva corresponde a la cantidad de agua de la mezcla cuando está en condiciones reales de humedad, esto es extraer tal cual lo encontramos en los depósitos de almacenamiento.

Existen criterios que permiten seleccionar la relación *a/c*, éstas son por resistencia, y por durabilidad. A continuación se presentan los criterios para la selección de la relación *a/c*.

#### **Por resistencia.**

La selección de la relación agua-cemento por resistencia se realiza partiendo del criterio conforme a las mediciones que son fáciles de realizar y que las limitaciones, son condiciones por la relación de la cantidad de agua y cemento en la unidad cubica de mezcla.

Tabla 13

*Tabla Relación agua / cemento y resistencia a la compresión del concreto*

Resistencia a la compresión a los 28 días ( $f'_{cr}$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )*	Relación agua/cemento de 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

\*Los valores corresponden a resistencias promedio estimadas para concretos que no contengan más del porcentaje de aire seleccionado. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme aumenta el contenido de aire.

Fuente: ACI 211



***Por durabilidad.***

El reglamento Nacional de Edificaciones en la norma E.060 (Concreto Armado) dispone que, si se quiere un concreto de baja permeabilidad, debe estar sometido a estudios o procesos de congelación y deshielo en condición húmeda. Se muestra la Tabla 14, la cual establece la relación agua-cemento máxima y las condiciones a las que va a estar sometida el concreto.

Tabla 14

*Máxima relación agua / cemento permisible para concretos sometida a condiciones especiales de exposición*

Condiciones de exposición	Relación agua/cemento máxima
Concreto de baja permeabilidad	
a) Expuesto a agua dulce	0.50
b) Expuesto a agua de mar o aguas salobres	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales (*)	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda.	
a) Sardineles cunetas, secciones delgadas	0.45
b) Otros elementos	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de esta agua.	0.40
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15mm	0.45

Fuente: ACI 211

*2.1.2.3.8. Cálculo del Contenido de Cemento.*

Luego de conocer el volumen unitario de agua por unidad de volumen del concreto y la relación agua-cemento seleccionada, la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es calculada dividiendo la cantidad de agua expresado en litros por metro cubico, entre la relación agua-cemento, obteniéndose la cantidad de kilos por m<sup>3</sup> de concreto.



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

$$\text{Volumen de cemento}(m^3) = \frac{\text{contenido de cemento}(kg)}{\text{Peso específico del cemento}(kg/cm^3)}$$

#### 2.1.2.3.9. Estimación del Contenido de Agregado Grueso y Agregado Fino.

Es un factor importante ya que de ello depende obtener concretos con una trabajabilidad adecuada conforme al concreto armado usual.

Se recomienda que la granulometría total de las partículas del agregado sea tal que el volumen de vacíos, sea mínimo indicado.

El contenido de agregado grueso se da en función al tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino según a la tabla 15. Por eso se puede establecer un coeficiente que en este caso se puede colocar como  $b/b_0$  el cual es la resultante de la división del peso seco del agregado grueso requerido por la unidad cúbica de concreto entre el peso unitario seco y compactado del agregado.

Tabla 15  
Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto

Tamaño máximo del agregado grueso		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
		(Módulo de fineza del agregado Fino)			
mm	Pulg	2.40	2.6	2.80	3.00
	3/8"	0.50	0.4	0.46	0.44
	1/2"	0.59	8	0.55	0.53
	3/4"	0.66	0.5	0.62	0.60
	1"	0.71	7	0.67	0.65

Fuente: Diseño de mezclas – Enrique Rivva López



$$\text{Peso seco del a. grueso}(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{b}{b_0} \times (\text{Peso unitario compactado del a. grueso})$$

Entonces los volúmenes de los agregados grueso y fino serán:

$$\text{Vol. agregado grueso}(\text{m}^3) = \frac{\text{Peso seco del a. grueso}}{\text{Peso específico a. grueso}}$$

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

$$\text{Vol. agregado fino}(\text{m}^3) = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. agregado grueso})$$

Por consiguiente, el peso seco del agregado fino será:

$$\text{Peso agregado fino}(\text{kg}/\text{m}^3) = (\text{Vol. agregado fino})(\text{Peso específico del agregado fino})$$

#### 2.1.2.3.10. Ajustes por Humedad y Absorción del Agregado.

Las cantidades de agregado son pesadas conforme a las condiciones de humedad a las que se encuentren en el medio, como los agregados en obra.

El contenido de agua que se agregó para formar la pasta será alterado por el contenido de humedad de los agregados. Si están secos al aire absorberán agua y reducirán la relación a/c y por ende la manejabilidad. Por otra parte, si ellos tienen humedad libre en su superficie (agregados mojados) aportarán algo de esta agua a la pasta incrementando la relación a/c, la trabajabilidad y reduciendo la resistencia a compresión. Por lo tanto, estos factores serán considerados y la mezcla será ajustada.

Como enfoque a la humedad de los agregados podemos considerar 4 condiciones que se



pueden presentar en obra:

- Seco, cuando su superficie como sus poros internos están completamente libres de agua.
- Semiseco cuando presenta una superficie seca pero sus poros internos están parcialmente llenos de agua. Se realiza mediante el secado al aire, pues es un valor que siempre es menor a la absorción del agregado.
- Saturado superficialmente seco, se muestra cuando la superficie del agregado está seca, pero sus poros internos están llenos de agua. Esto puede calificarse como una condición ideal ya que no reduce ni aporta el agua de la mezcla.
- Húmedo o mojado, es el agregado saturado superficialmente seco, presenta humedad superficial, lo que permite aumentar el agua de mezclado haciendo una corrección de humedad en el agregado para la mezcla.

La absorción de un agregado representa la cantidad de agua que él solicita para pasar del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa en porcentaje.

$$\% \text{ Absorción} = 100(SSS-S)/S$$

Dónde:

SSS = Peso del agregado al estado saturado superficialmente seco.

S = Peso del agregado al estado seco.

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

$$\text{Contenido de humedad} = 100 (H-S)/S$$

Donde:

H = Peso del agregado



La humedad superficial está dada por la diferencia entre el contenido de humedad y el porcentaje de absorción. Es positiva cuando el agregado aporta agua a la mezcla y dicha cantidad debe ser disminuida del agua de diseño para determinar el agua efectiva; o puede ser negativa, en este caso el agregado tomará agua de la mezcla para llegar al estado de saturado superficialmente seco, adicionándose agua a la mezcla para no modificar el agua de diseño, estos criterios se hará uso en las correcciones para las proporciones de la mezcla.

Los siguientes resultados fueron obtenidos mediante los ensayos ya mencionados para el diseño de mezcla mediante el método del Comité 211 del ACI.

#### ***Cálculo del agua efectiva:***

$$\text{Agua en agregado grueso} = (\text{Peso A. grueso seco}) \cdot \left( \frac{\%Wg - \%Ag}{100} \right)$$

$$\text{Agua en agregado fino} = (\text{Peso A. fino seco}) \cdot \left( \frac{\%Wf - \%Af}{100} \right)$$

$$\text{Agua efectiva (Lts)} = \text{Agua de diseño} - (\text{Agua en A. G} + \text{Agua en A. F})$$

### **2.1.3. Ceniza volante de carbón.**

#### ***2.1.3.1. Definición de la ceniza volante de carbón.***

Residuo finamente dividido resultante de la combustión del carbón, ya sea en trozos o en polvo, el cual es transportado desde su almacenamiento por los gases de combustión. Es utilizado como combustible en la generación eléctrica y eliminada por precipitadores electrostáticos, antes que el gas sea liberado a la atmosfera.

#### ***2.1.3.2. Clasificación y propiedades químicas de las cenizas volantes de carbón.***

Poseen en su contenido óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y dióxido de silicio reactivo ( $\text{SiO}_2$ ). Todo



lo demás es óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y otros óxidos. (Sanjuán & Chinchón, 2014).

Hay dos tipos de puzolanas existentes: las artificiales y naturales. Entre las primeras encontramos a las arcillas activadas, cenizas volantes, las cenizas de residuos agrícolas y las escorias de fundición. Para el otro caso se pueden hallar las rocas volcánicas y las rocas o suelos en las que el constituyente silicio contiene ópalo.

Actualmente en el sector construcción las cenizas volantes se forman en una de las puzolanas artificiales más utilizadas, compuestos por sílicoaluminosos, que proceden de un proceso a base de temperatura apto y que conforman un gran peso en la hoy en día a causa de las grandes ventajas técnicas y económicas.

García (2003), indica que, las cenizas se pueden diferenciar de acuerdo a su composición y origen en:

*a. Cenizas sílicoaluminosas:* Se obtienen por medio del carbón bituminoso y cuentan con características puzolánicas.

*b. Cenizas sulfa-cálcicas:* Se generan desde los lignitos, el cual es un carbón que posee yeso y calcáreos, por tal motivo da como desecho de combustión, óxido de calcio libre y sulfato de calcio.

Conforme a lo establecido en la ASTM C 618-05 las cenizas volantes se diferencian en tres tipos: N, F y C. Las cenizas de clase N, son puzolanas naturales que poseen su origen volcánico. Las clasificadas como clase F y clase C son un producto derivado de la combustión del carbón. La más relevante variación entre estas últimas es la adición de tres de los 4 más relevantes componentes de las cenizas ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) en el caso del tipo F la adición de los tres tiene que ser más del 70 % , y para la clase C tiene que estar en el intervalo de 50 % y 70 %.

### ***2.1.3.3. Características de las cenizas volantes.***

A continuación se presentan las siguientes características de las cenizas de carbón:

### **Color.**

Luce un color gris ya que es la obtención de la combustión del carbón bajo solicitaciones limitadas de oxígeno. El color de la ceniza puede tender al gris o al negro, dependiendo de la fuente, la tendencia clara usualmente indica altos contenidos de cal, y de gris a negro apunta altos contenidos de carbón.

### **Granulometría.**

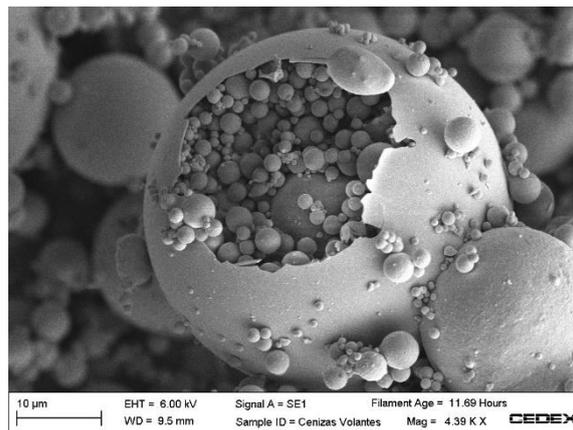
La disposición del volumen de las partículas es razonablemente constante, varía de una fuente a otra debido a los métodos de precipitación que pueden tener de 3 a 5 etapas y las variaciones son causadas por la secuencia de eliminación de la ceniza precipitada.

### **Fineza.**

En varios países en que se cuenta con especificaciones para la ceniza volante se puede tener un grado de fineza mediante prueba de material retenido en la malla de 45 micras para controlar el nivel de fineza.

### **Forma de la partícula.**

La ceniza volante es de forma esférica y es un polvo granulado de características singulares.



*Figura 2.* Partículas de la ceniza volante

### **Densidad.**

La densidad de las cenizas volantes de carbón es una de las propiedades que tienen un nivel alto de variación. En cuanto a la composición química y mineralógica de la ceniza volante



posee un mínimo de 70% de Oxido de Aluminio ( $Al_2O_3$ ), Oxido de fierro ( $Fe_2O_3$ ), Oxido de Sílice ( $SiO_2$ ), Oxido de fierro ( $Fe_2O_3$ ).

Las cenizas volantes normalmente están conformadas por una acumulación de micro esferas de hasta llegar a cientos de  $\mu m$  de diámetro. Además se encuentran conformadas por aluminio (Al), y silicio (Si) con tamaños menores de S, Fe, Ti, Na, Ca, K y P. Los aluminosilicatos amorfos (vítreos) son los principales compuestos minerales, asimismo se encuentran otros minerales como feldspatos, mullita, magnetita, cuarzo, anhidrita, hematita y cal.

#### ***2.1.3.4. Propiedades de las cenizas volantes.***

A continuación se explican las siguientes propiedades.

**1. Capacidad reactiva**, lo que las vuelve capaz de usarla de varias formas. Otra de sus propiedades es la hidráulica y puzolanicidad, pese a que se requiere de un tiempo más o menos largo para que se presente su reactividad puzolánica, pues éste es capaz de reaccionar con el hidróxido de calcio que es libreado por la hidratación del cemento.

**2. Las cenizas volantes incrementan la trabajabilidad del material en estado plástico**, a causa del incremento en la repartición de las partículas del método de trabajo.

**3. Las cenizas volantes en los morteros reducen las expansiones vinculadas a la reacción árido-álcalis**, disminuyendo la pérdida por durabilidad.

**4. El contenido de agua libre (que no reacciona con el cemento) es mayor en presencia de cenizas volantes a primeras edades**, por consiguiente la porosidad del compuesto será mayor también. A pesar de ello, debido a que las cenizas volantes incrementan la trabajabilidad, donde se puede bajar la relación agua / cemento, frenando más porosidad.

**5. Las resistencias mecánicas al emplear cenizas volantes serán menores a edades tempranas, relacionadas con las que se logra alcanzar en los cementos Portland.** Las



cenizas trabajan como un disolvente inerte, mientras se inicia la activación del comportamiento puzolánicas. A tiempos tardíos se genera un refinamiento del sistema poroso a causa del desarrollo de la trabajo puzolánicas.

**6. La cenizas volantes disminuyen el calor de hidratación en el cemento dado al menor contenido de alita: silicato tricálcico (C3S) originario del Clinker Pórtland.** Este conglomerado es el encargado en gran parte de la temperatura que se desprende en el tiempo de la hidratación del cemento. De igual manera el comportamiento puzolánico es exotérmica, pero su desapego aumenta con en el tiempo.

**7. Las cenizas volantes añadidas al cemento aumentan su durabilidad en determinados ambientes de sulfatados y de agua de mar.** Eso es porque hay una gran impermeabilidad y disminución en lo que conforma de portlandita (hidróxido de calcio). Este último, refrena la formación de etringita el cual se expande progresivamente. El incremento en la impermeabilidad es debido a que los elementos conformados durante la actividad puzolánica se colocan en el interior de los poros capilares enlazados, complicando la penetración de los iones sulfato y cloruros.

#### ***2.1.3.5. Proceso de obtención de las cenizas volantes de carbón.***

La planta termoeléctrica Ilo21 es solamente la única central de generación eléctrica a carbón en el Perú y se encuentra localizada en la Región Moquegua, ciudad de ILO A 1240.5 KM al sur de Lima. Su construcción se inició en julio de 1998 y demandó una inversión aproximada de **\$375 millones**, entrando en operación comercial en agosto de 2000. La planta fue proporcionada de grandes profesionales que trabajan para que su sistema se convierta en uno de los más relevantes y más recientes del país.

Tiene un generador estimulado por una turbina a vapor con una potencia nominal de 135.00



MW.

La fábrica posee un campo de carbón con tamaño de retención para 200,000 toneladas y un muelle de 1,250 metros de longitud proyectado para buques de 70,000 toneladas de cabida.

Cuenta con dos plantas desaladoras que suministran agua potable e industrial para la funcionabilidad de la central, así como una planta de tratamiento de aguas designada para tratar las aguas residuales. Con ellas se realiza el proceso de forestar de las áreas adyacentes a la central.

Una de las particularidades de esta planta es que en su fase de combustión de carbón, que después se transforma en energía, se usan las aguas del océano que son rescatadas para ser regresadas al mar. Las operaciones se inician con la llegada del carbón a la central por medio de buques de hasta 70,000 toneladas de desplazamiento, que atascan en la plataforma del muelle de más de 1 km, donde dos grúas tipo canguro sacan el carbón de las bodegas de la nave y lo echan en las tolvas que disponen el carbón sobre la faja transportadora. Una segunda faja transportadora lleva el carbón a través del muelle hasta la cancha de carbón donde es compartido por medio del apilador de carbón (stacker) para con esto crear las pilas de carbón. La cancha de carbón puede guardar hasta 200 000 ton. El carbón del campo, es recibido por dos equipos semiautomáticos, los recuperadores de carbón (reclaimers), los cuales a través de una banda de paleta, almacena el carbón de la pila y lo vierten encima de fajas transportadoras, las cuales transportan el carbón hasta el lugar de los silos del caldero. Este trabajo es cargado de silos hasta el alimentador y después al pulverizador de carbón en la cual será aplastado y molido hasta transformarse en polvo (70% malla 200), y luego por medio de un flujo de aire a ambiente, es llevado por de tubos hacia los quemadores del caldero, donde las partículas de carbón se prenden creando la llama del hogar. Los gases a elevadas temperaturas pasan por el exterior de los tubos del sobrecalentador, recalentador y economizador poco antes de abandonar el caldero. Luego transitan por el precipitador electrostático lugar donde es retenida

la ceniza volante, este precipitador tiene una eficacia del 99 % y forma la parte más relevante dentro del control del medio ambiente y finalmente los gases de combustión (libres de ceniza) son emanadas a la atmósfera por medio de la chimenea.

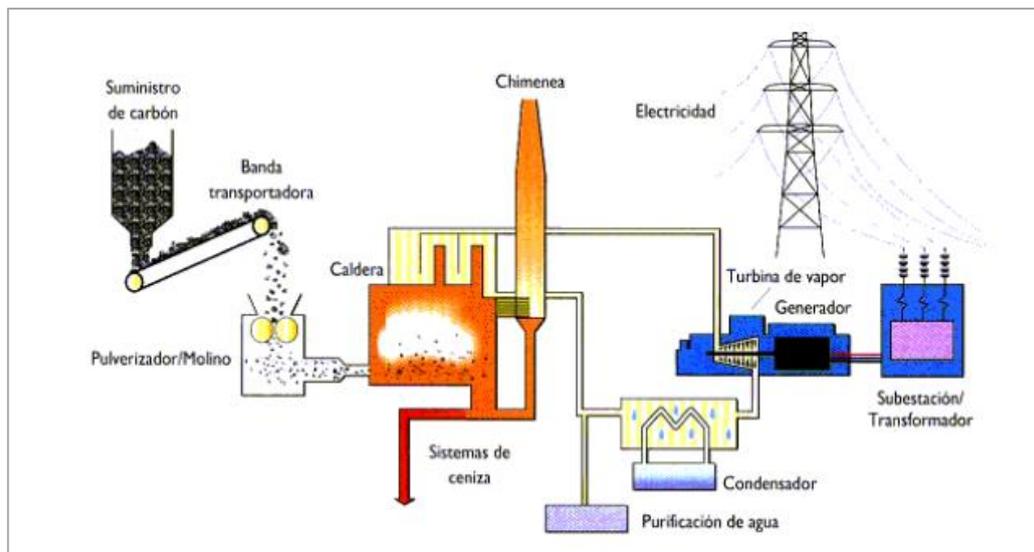


Figura 3. Esquema de combustión de carbón pulverizado



Figura 4. Vista General de la Central Termoeléctrica ILO21

### 2.1.3.5.1. El sistema del carbón

1. El carbón logra llegar a la central con la ayuda de barcos autodescargantes de hasta 70,000 toneladas de cabida.



Figura 5. Barco autodescargante

2. Los barcos se amarran unidos a la plataforma de desmante, lugar en el cual las grúas de los barcos separan el carbón de las bodegas de la nave y lo vocean en las tolvas que lo dispersan sobre una faja transportadora.



Figura 6 .Atraco del barco junto a la plataforma de descarga

3. Lleva el carbón por todo el muelle hasta la cancha, una faja transportadora.



*Figura 7.*Faja Transportadora

4. El que reparte el carbón dentro de las canchas, las cuales tienen un tamaño para guardar hasta 200,000 toneladas a la intemperie, es el Apilador.



*Figura 8.*El Apilador

5. El carbón es retirado por los Recuperadores, estos lo asientan en un compuesto de fajas que lo llevarán hacia los silos.



*Figura 9. Los Recuperadores*

6. Los Silos de Almacenamiento son colmados a diario con carbón para el trabajo de la Central. Los silos de carbón del tipo cilíndrico cónico, son 3 silos por grupo.



*Figura 10. Silos de Almacenamiento*

7. El carbón va desde los silos hasta el Alimentador el cual tiene la función de enviarlo al Pulverizador.



*Figura 11. Alimentador*

8. El Pulverizador es el sitio en el cual el carbón es demolido y pulverizado para permitir la combustión.



*Figura 12. Pulverizador*

### 2.1.3.5.2. Sistema de aire gases

01. Un Ventilador de Tiro Forzado abastece el aire que se necesita para el proceso de combustión.



Figura 13. Ventilador de Tiro Forzado

02. Un Ventilador de Aire Primario provisiona el aire que se necesita para el traslado del carbón hecho trizas hasta los quemadores.



Figura 14. Ventilador de Aire Primario

03. Como gas de emergencia y para el prendido del Caldero se tiene el Diésel 2. Se puede emplear el gas natural como otra alternativa al combustible.



*Figura 15. Diésel 2*

04. .En los quemadores, el carbón pulverizado se prender creando combustión en el hogar de la caldera.



*Figura 16. Los Quemadores*

05. Dentro del Caldero u Hogar, se genera la combustión del carbón y el traspaso de calor hasta el agua de alimentación.



*Figura 17.* Caldero

06. Los gases y partículas resultado de la combustión, van hacia el precipitador electrostático mediante de ductos.



*Figura 18.* Transporte de gases y partículas a través de ductos al precipitador electrostático

07. El Precipitador Electrostático retiene la ceniza volante de la combustión. Posee una eficacia del 99% y forma la etapa más relevante dentro del control del medio ambiente.



*Figura 19.* Precipitador Electrostático

08. La chimenea es el sitio donde son despedidos a la atmósfera los gases de combustión, exentos de ceniza. Tiene 130m de altura, 4,95 m. de diámetro interior y es de concreto con un liner de acero. El cual se localiza en los silos de cenizas y de escoria, que proporcionan un fácil acceso.



*Figura 20.* La chimenea



**ENGIE Energía Perú**, se fundó en 1996 bajo la designación social de Powerfin Perú S.A. Al año posterior, se renombró a Energía del Sur S.A. y, luego, el 2007, se convirtió en Ener Sur S.A. Por último, el 2016, toma el nombre de su grupo corporativo y se llamó ENGIE Energía Perú S.A.

Debido a que se necesitaba el empleo apropiadamente los recursos naturales, cuidarlos y conservarlos para las futuras habilitaciones, Ener Sur S.A. tiene como objetivo precaver y disminuir los daños al medio ambiente que causen la producción y transmisión de la energía eléctrica. Ener Sur S.A. Posee un plan de manejo de medio ambiente dirigido a un riguroso plan de solicitudes legales conectado a sus trabajos y a otros que las empresas de SUEZ Energy International en el Perú favorezcan, por tal motivo cuentan con el permiso de ISO 14000.

Ciertos trabajos que Ener Sur S.A. se desarrolla para el mantenimiento y cuidado del ambiente, estas son:

- Tratamiento y empleo de agua marina.
- Aguas servidas su tratamiento.
- Forestar.
- El precipitador electrostático, que tiene como característica apresar cerca del 100 % de los componentes de ceniza volante que conducen a las emanaciones de combustión del caldero; en otras palabras hace el proceso de limpiado de los gases tiempo antes de su expulsión a la atmósfera, librándose así que el aire se pueda contaminar de alguna manera.

El carbón que se toma de diseño asegurado es el carbón: “**PT Adaro de Indonesia**”, cuyas características físico químicas del carbón de seguridad bajo las condiciones referente a las solicitudes del Estudio de Impacto Ambiental que se encuentran relacionadas por Ener Sur S.A. para la Central Térmica de ILO21.

La combustión de carbón pulverizado (PF) es el procedimiento más empleado para calcinar



carbón para la producción eléctrica. El compuesto desarrollo del carbón proveniente al secar, triturar al tamaño definido y alimentado por gas a través de la movilización neumática a los quemadores, está constituido con la caldera. El carbón es triturado, pulverizado e introducido con aire a la caldera. El carbón pulverizado tiene una gran zona superficial, el cual permite su combustión en los quemadores. El calor producido es utilizado para crear vapor a elevadas temperaturas y presiones para accionar las turbinas y crear electricidad.

Hoy en día la totalidad de la electricidad producida alrededor de todo el planeta en térmicas a carbón es obtenida empleando compuestos de carbón pulverizado.

Las emanaciones de gas de carbón pulverizado podrán ser disminuidas por medio de tecnología capaz de limpiar. Los precipitadores electrostáticos y/o filtros de manga son capaces de mover cerca del 99% de la ceniza volante de los gases de combustión. Los procedimientos de desulfurización de gases de combustión son capaces de mover cerca del 90-97% de los óxidos de azufre de las emanaciones y también de convertir a estos en yeso para su empleo en las diferentes obras. (Pérez, 2012)

#### ***2.1.3.6. El carbón en el Perú.***

El carbón fue empleado como una base de energía por varios años; ha sido mercantilizado a nivel internacional a inicios del Imperio Romano. El carbón solamente no abasteció la energía que fomentó la Revolución Industrial del Siglo XIX, al mismo tiempo proyectó la era eléctrica en este siglo. El carbón hoy en día se abastece casi del 40% de la electricidad creada en el planeta, es por eso que muchos países son dependientes del carbón.

Históricamente durante los años 50 gran cantidad de apogeo acercándose a aprovechar en grandes cantidades para su exportación en Argentina y Francia. Sin embargo en los recientes 30 años, solamente se llevó a nivel internacional en 1986.

El empleo que se prohibió del carbón en el Perú es la causa de una larga época de costos bajos y comúnmente subvencionados de sus derivados del petróleo y el mismo petróleo, motivo



por el cual ya no existe la costumbre ya dispuesta a inicios del siglo XX de emplear dicho tipo de gas sólido. Los costos de carbón en este tiempo no han ido realmente a la par con el petróleo y sus derivados en las zonas más lejanas de sus lugares de explotación carboníferos.

Hoy en día la explotación de carbón en el Perú, es de pequeño grado y artesanal. Las antracitas son empleadas como base de energía para chicas industrias.

Si bien las materias primas de carbón de Perú existen en grandes cantidades y están bien propagadas en todo el país no existen estudios adecuados que motiven para su desarrollo en sí declarar la carencia de carbones coquizables (carbones bituminosos).

Los yacimientos de carbón se localizan en la cordillera y las mayores industrias del Perú, se localizan en la costa, donde el precio de la movilización muy elevado. El carbón antracítico del Perú no es de una baja calidad, pero no se le pasa por un correcto procedimiento de elección de tamaño y limpieza; lo interfiere en los problemas que se encuentra su proceso de quemado. El problema principal para el uso del carbón es nuestro país es el miedo de las personas que dependerán de ello, al que dicha entrega será de baja seguridad y al igual que su calidad y heterogénea. La realidad de hoy en día analizando la oferta del carbón en el país no es demasiado elástica para abarcar todo lo necesario de gas de una industria algo grande. Esto se puede confirmar en la Empresa Siderúrgica del Perú, o SIDERPERU en el momento que deseó realizar trabajos en los años 80 su planta experimental de disminución directa de un mineral de hierro en Chimbote con la antracita del país. Pese a que la planta disipaba únicamente 72,000 TM de antracita con cantidades menores del 15% de cenizas, los proveedores no estaban aptos para proveer esta calidad y cantidad, y fue por eso que SIDERPERU tuvo que efectuar con los finos del coque metalúrgico traídos del exterior. Por otra razón la ladrillera Huachipa con un gasto de 14,400 toneladas de carbón anualmente y con solicitudes de calidad menos exigentes no tuvo incidente alguno para suministrar de recursos. Como era de suponer parecidos a SIDERPERU los tenga otra industria cualquiera mediana o grande que modifique



sus instalaciones para emplear carbón y realice trabajos para ratificar el abastecimiento del carbón.

Para motivar la creación de carbón en Perú, se considerará:

Incentivar la adquisición y abarcar mayor escala de producción (ya que explotan las minas pequeñas y dispersas en el espacio).

Abastecer a los potenciales compradores.

Dar solución de la heterogeneidad de creación (en cuanto a tamaño de los trozos y calidad).

Reducir los gastos en movilización y desarrollar las obras viales.

No se considera aumento en la creación de los países, pero sí a gran aporte de carbón traído de otro país.

#### **2.1.4. Concreto.**

El concreto es uno de los materiales que se utiliza en obras más resistentes, el cual tiene mucha similitud a la piedra, y es el resultado de una correcta mezcla entre agregados (piedra y arena), cemento, agua y aire.

En comparación a las piedras, el concreto puede ser creado conforme a los tamaños que se requiera; para llegar a esos tamaños se emplean los encofrados.

El cemento y el agua reaccionan en una forma química combinando las partículas de los agregados y transformando todo la mezcla en una masa sólida. Conforme al de mezclas que se use se conseguirá distintas resistencias de concreto. Interviene también en estas propiedades del concreto, los procedimientos y eficacia del curado.

El concreto resiste mejor a los esfuerzos de compresión, pero muy poca en los de tracción y flexión, es por ello que se ingresa el acero para reforzarlo, en los casos en que el concreto no tiene demasiada resistencia a las solicitaciones. (Ortega, 2014)

Un concreto adecuado es aquel que llega resistir las solicitaciones requeridas en el diseño para el cual se hizo en su dosificación. Las propiedades de este, varían según las



consideraciones de diseño y de la forma de vaciado. La selección de los materiales que lo componen también interviene bastante según la calidad de estos.

#### ***2.1.4.1. Propiedades que debe cumplir el concreto fresco.***

El concreto fresco guarda características que le deja ser transportando, colocado, compactado y terminado sin algún fallo alguno. Para esto depende de un correcto empleo de los materiales dará uniformidad, mayor acomodación de las partículas y la pasta y disminución de su exudación, y es en este estado fresco facilita la movilización, colocación de la mezcla en formaletas y vibrado de la misma.

#### **Manejabilidad.**

El manejo o consistencia es la característica del concreto para ser mezclado, transportado, colocado y consolidado adecuadamente. Para determinar su consistencia se utiliza en ensayo de asentamiento (SLUMP) - NTP 339.184.

El asentamiento explica sobre el nivel de fluidez del conglomerado y muestra qué tan seco o fluido está el concreto. Este ensayo no es significativo para mezclas de concreto con agregado grueso de tamaño mayor a 37.5 mm (1 1/2”) o cuando el concreto no es plástico o cohesivo. Para mezclas de concretos con slump menores a 15 mm (1/2”) (consistencia seca) pueden no ser adecuadamente plásticos y aquellas mezclas de concreto con asentamientos mayores a 230 mm (9”) pueden no ser apropiadamente cohesivos para que este ensayo tenga validez.

#### **Segregación.**

Es la distribución no uniforme de sus partículas, debido a las diferentes densidades de los componentes y a la viscosidad de la pasta.



### **Exudación.**

Ascenso del agua hacia la superficie del concreto, causada por la cantidad de finos de los agregados y la finura del cemento.

### **Masa unitaria, rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.**

Con estas propiedades se determinará la densidad del concreto en estado aún no endurecido permitiendo calcular la capacidad volumétrica, el peso unitario, la cantidad de cemento y el contenido de aire presentable en el concreto.

#### ***2.1.4.2. Propiedades del concreto endurecido***

La fase de endurecido del concreto, se presenta cuando el conglomerado logra la resistencia para la cual fue proyectada. Las características mecánicas que frecuentemente se determinan al concreto en estado seco, son la flexión, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad dinámico y estático y demás puntos, siendo la más utilizada la prueba a compresión.

### **Elasticidad.**

Capacidad de deformarse bajo carga sin tener una deformación permanente.

La mejor forma de interpretar el comportamiento elástico del concreto es por medio de su módulo de elasticidad, que viene a ser la división del esfuerzo al que está inducido el material y su deformación, propiamente dicho no es un material elástico porque no posee una forma de comportarse en ningún tramo de su diagrama deformación en compresión vs carga (figura 21), pese a ello se acostumbra a elaborar una recta secante que parte del origen del diagrama hasta un punto definido que generalmente es un porcentaje de la tensión última.

En la figura 21, se representa la curva carga vs deformación típica del concreto y en la figura 22, se dan a conocer las curvas carga vs deformación para concretos con diferencias en su relación Agua/Cemento.

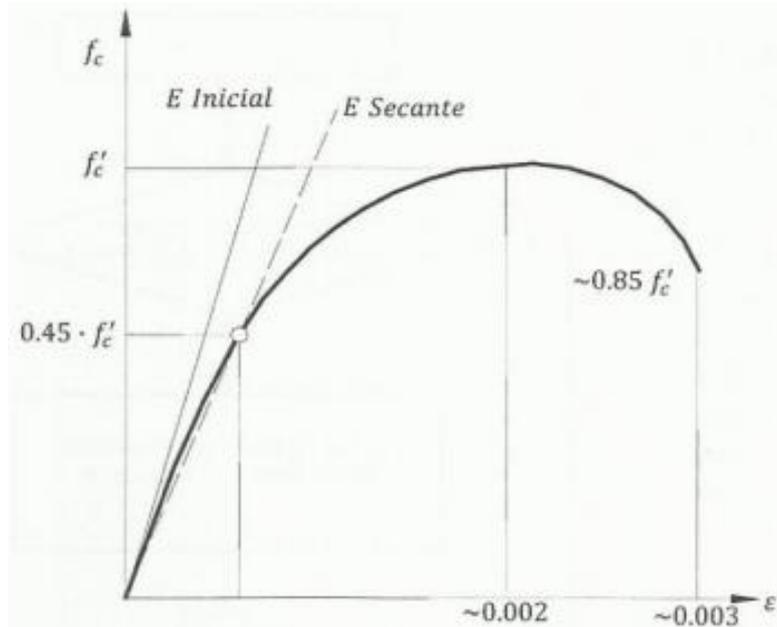


Figura 21. Curva esfuerzo - deformación para un cilindro

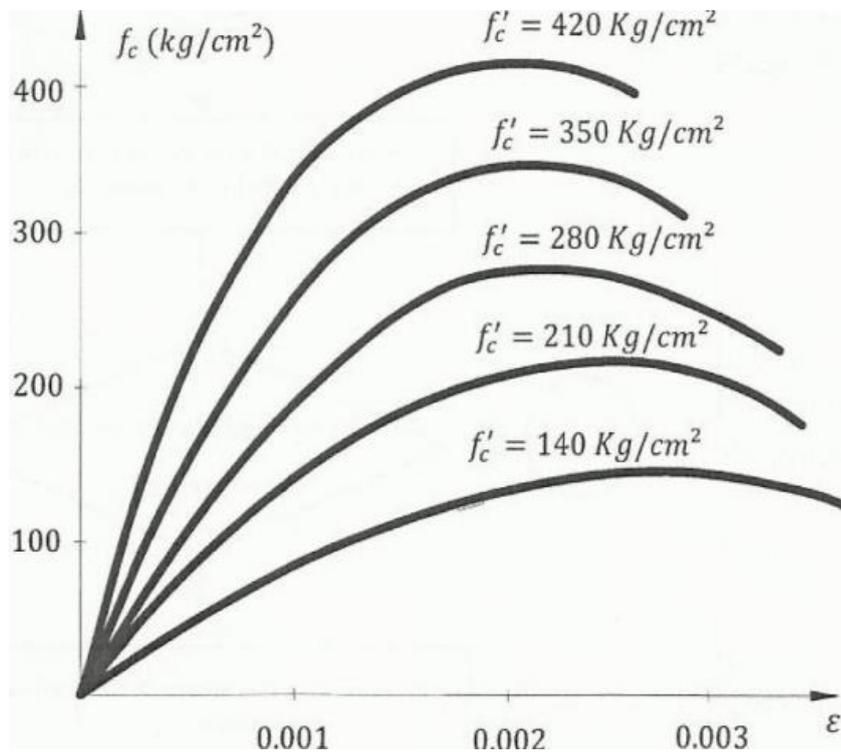


Figura 22. Curvas típicas esfuerzo- deformación del concreto



### **Resistencia.**

Es una de las medidas más empleadas por los ingenieros para determinar el desempeño del concreto y posteriormente realizar el diseño de edificios y otras estructuras. Tiene como objeto principal soportar cargas y esfuerzos, siendo este comportamiento mejor que los esfuerzos a tracción, puesto que la pasta de cemento posee propiedades adherentes.

Un factor importante que influye en la resistencia y durabilidad del concreto es la relación agua-cemento, denominada también razón agua/cemento,  $a/c$ , que representa indirectamente la concentración o espaciamiento de las partículas de cemento dentro de la pasta.

Otros factores predominantes son la temperatura y el tiempo, en concentración con otros elementos que se adicionan, que están establecidos por la clase y propiedades de resistencia del cemento y de la calidad de los agregados, que conforman la estructura del concreto.

Por otra parte el curado constituye uno de los factores indirectos de gran importancia en la resistencia del concreto, ya que es el complemento del proceso de mantener y controlar un contenido de humedad productivo (hidratación del cemento).

### ***Extensibilidad.***

Ocurre dentro del flujo plástico esencialmente cuando al concreto se le aplica una carga o esfuerzos constantes y este se deforma a causa de un reacomodo interno de sus partículas, disminuyendo así el incremento de la velocidad a medida que pasa el tiempo hasta alcanzar un valor asintótico sin agrietarse.

El flujo plástico posee la singularidad de ser recuperable en forma parcial, que se encuentra relacionado a la misma vez con la contracción, a pesar de que los dos procesos son independientes. La microfisuración aparece cerca de 60% en forma normal del esfuerzo último, y una deformación unitaria de 0.0012, y en solicitaciones comunes la figuración visible aparece para 0.003 de deformación unitaria. (Pasquel, 1998)



## **Durabilidad.**

Tiene la capacidad de resistir a acciones provenientes de agentes externos e internos.

Los factores que influyen en las estructuras del concreto son las características y la calidad de los materiales, el proceso constructivo, el control de calidad en obra y los cuidados que se tengan en la etapa de protección y curado del concreto. En estos casos nos dará si estos factores son positivos o negativos en cuanto a la permeabilidad del concreto frente a los agentes externos como la carbonatación.

### ***2.1.4.3. Requisitos que debe cumplir el concreto.***

Los requerimientos que generalmente se esperan del concreto son: Durabilidad, Resistencia y Economía.

Debe cumplir con la resistencia a la que se diseñó y fue especificada, es más que sea resistente al clima, al uso y otros agentes destructivos, impermeable y uniforme. Por otro lado se pide también que no se agriete demasiado al momento del secado, tiene que ser menos costoso que otros materiales igualmente resistentes y durables, en otros casos el uso del concreto debe tener propiedades especiales.

Para casos singulares al concreto se le exige tener una resistencia alta al fuego y a los agentes químicos, tener un peso ligero y poseer una superficie muy suave más que la suavidad normal, o una superficie porosa siempre y cuando sea solicitado por un acabo arquitectónico. Sea cual sea el caso se necesita un buen conocimiento de la naturaleza del concreto para poder especificar correctamente en el diseño.

### ***2.1.4.4. Proceso de Formación del Concreto***

En un concreto fresco unido de manera plástica, todos los sólidos granulares, incluyen el cemento se encuentran en forma de suspensión en agua, las partículas individuales se localizan por separado por capas finas de agua. Esta separación de partículas y la causa de lubricación



de estas capas de agua juntas y con algunas fuerzas entre partículas hacen el conglomerado trabajable y plástica.

Es adecuado creer que en concreto es un conglomerado de pasta (cemento-agua), y el agregado mineral (arena y piedra). Conociendo que es una pasta, en el lugar donde se ingresa el agregado: el cual irá alejado entre sí por capas delgadas o finas de pasta. Después el tamaño de todo el conglomerado es igual a tamaño de la pasta más el volumen de agregados, más el volumen de vacíos de aire que se ve en la tabla 16. (Ortega, 2014)

Se muestra en el siguiente grafico los porcentajes de volumen de una mezcla normal.

Tabla 16  
*Porcentajes de Volumen de una mezcla de concreto*

Aire	Agua	Cemento	Agregado (fino y grueso)
1 a 3%	7 a 15%	15 a 22%	60 a 75%

Fuente: Enrique Pasquel Carbajal, 1998-1999, pág. 14



**TESIS: “USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21–MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.**

---

## **CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**



## Capítulo III: Materiales y Métodos

### 3.1. Método de investigación

El método más apropiado para este tipo de investigación es el Experimental, principalmente se trata de analizar el comportamiento del concreto en estado fresco (manejabilidad y temperatura) y en estado endurecido (resistencia a la compresión y absorción) agregando diferentes porcentajes de cenizas volantes de carbón, para finalmente demostrar cuál será el porcentaje óptimo de ceniza volantes de carbón que será empleado en el concreto. Los trabajos fueron elaborados en el laboratorio para luego obtener respuestas con el uso de fórmulas y procesadores de datos, y formular así cuadros de resultados.

### 3.2. Universo o población.

Testigos de concreto, adicionando cenizas volantes de carbón en los porcentajes de 0%,5%,10% y 20%.

### 3.3. Alcance de estudio

El trabajo comprende la determinación del porcentaje óptimo de cenizas volantes de carbón mediante elaboración de concreto.

### 3.4. Procedimientos de recolección de datos

Para el procedimiento de recolección de datos, se rige en una ordenada serie de pasos los cuales se realizan con referencia a las Normas Peruanas e Internacionales.

#### 3.4.1. Ensayo de los agregados.

##### 3.4.1.1 Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo).

Principalmente la realización del cuarteo se hizo en la elaboración del diseño de mezclas, como en la aplicación de la toma de muestras de los agregados, pues cada ensayo forma parte de una operación fundamental en cuanto a la calidad para la elección de los



materiales y producción del concreto, pues esto representa que los resultados reflejen las propiedades físicas de los materiales que fueron estudiados en la cantera donde se seleccionó para los ensayos de laboratorio.

Se diferencian 2 métodos: A Y B

**Método A.**

Cuarteo Mecánico

**Método B.**

Cuarteo Manual

Para nuestra tesis se utilizó el Método B – Cuarteo Manual.

**Procedimiento.**

Se Colocó la muestra de campo sobre una mesilla de concreto siendo esta plana, dura y limpia, sin permitir que el material se pierda o se contamine con materias extrañas.

Luego se mezcló el material mediante una pala formando una pila cónica, depositando cada paleada sobre la anterior.

Luego de tener lista la pila, se presionó sobre el vértice, aplanándolo con cuidado hasta obtener un espesor y un diámetro uniforme. Lo que se alcanzó obtener fue de aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor del material.

Inmediatamente se dividió el cúmulo del material aplanado en cuatro partes iguales con la pala o la cuchara de albañil.

Se Eliminaron dos de las partes diagonalmente opuestas, incluyendo todo el material fino.

Consecutivamente se procedió a mezclar y homogeneizar el material restante repitiendo la operación hasta reducir la muestra al tamaño que ésta fue requerida. Figura N°23.

### Selección del método.

#### *Agregado fino.*

Las muestras que se extrajeron de campo (superficialmente secas), fueron reducidas en tamaño por el método A. Sin embargo si las muestras de campo se encontraran húmedas superficialmente serán reducidas por el método B de lo contrario deberán humedecerse y después deben ser remezcladas.

#### *Agregado grueso.*

Para las Gravas se sugiere utilizar cualquiera de los métodos A o B siendo el A el más eficiente. Como un método práctico se podría considerar que el agregado fino posee humedad superficial cuando ésta mantiene su forma al moldearlo con la mano. Además se puede apreciar la presencia del brillo del agua en la superficie de los gránulos.

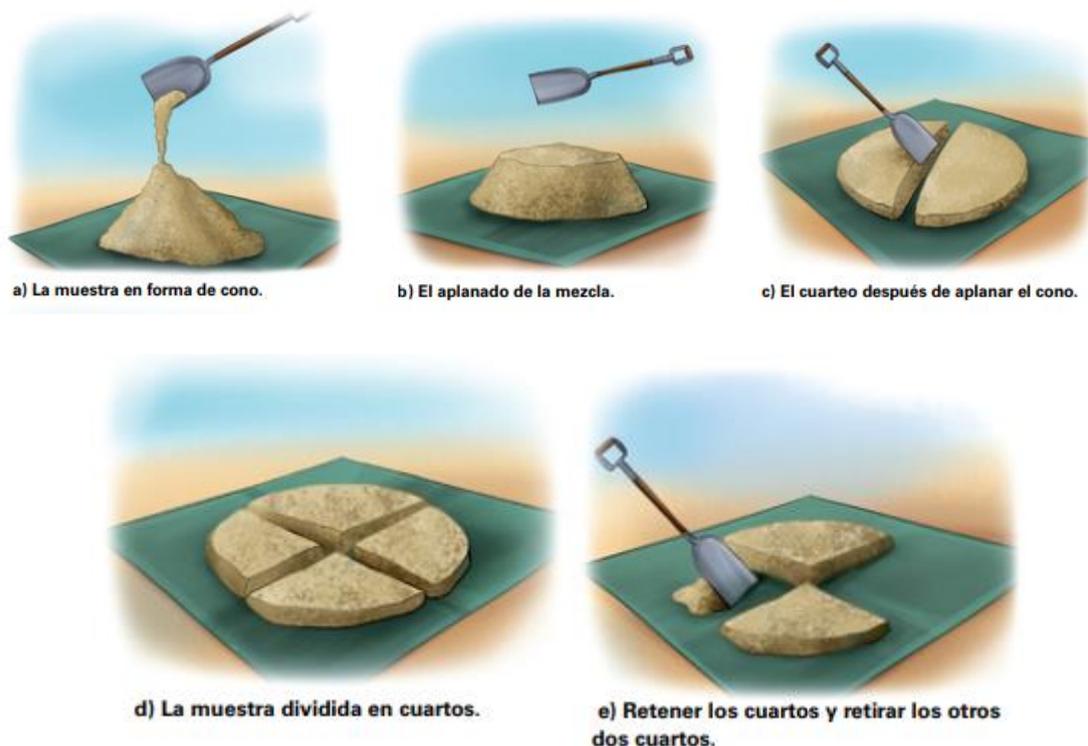


Figura 23. Cuarteo Manual

Como dato opcional al procedimiento descrito en el inciso anterior, antes de colocar la



muestra representativa en el piso se tiene que verificar si éste está contaminado en caso contrario se colocará sobre una lona.

#### ***3.4.1.2. Peso unitario de los agregados.***

El peso unitario de los agregados viene a ser la masa de un volumen unitario, pues en ella incluye el volumen de las partículas y el volumen de vacíos comprendidos en las partículas. Por otro lado su unidad de medida se expresa en kg/m<sup>3</sup>. El ensayo puede realizarse en agregados finos y gruesos.

##### *3.4.1.2.1 Peso Unitario Suelto.*

Se utilizará continuamente para la conversión de peso a volumen; en otras palabras, para cuantificar el consumo de agregados por metro cúbico de concreto.

#### **Determinación del Peso Unitario Suelto.**

En un recipiente o molde debidamente pesado, se descargó el agregado hasta una altura que no sobrepasara los 50 mm (2”) mediante una pala o cuchara hasta el rebose, una vez lleno se eliminó el agregado sobrante con una regla.

Se determinó el peso del molde más el contenido, y se tomó nota de los pesos con aproximación de 0.05 kg (0.1 lb).

##### *3.4.1.2.2. Peso Unitario Compactado o Varillado.*

Este valor será usado para la descripción de volúmenes de materiales apilados y que están sujetos al acomodo de sus granos o asentamientos provocados por el tránsito sobre ellos o por la acción del tiempo. También es aplicado para el cálculo de porcentajes de vacíos de los materiales.



### **Determinación del peso unitario compactado.**

El método para el apisonado es usado para agregados con tamaño máximo nominal que oscila entre 37.5 mm (1 ½”) o menos.

Se llenó la tercera parte del recipiente con el agregado hasta el rebose, luego se emparejó la superficie con los dedos. Cada capa de agregado se comprimió con 25 golpes mediante una varilla lisa, distribuidos uniformemente, utilizando el extremo semiesférico de la varilla. Se llenó las 2/3 partes del molde, volviendo a apisonar como se describió inicialmente. Finalmente se llenó el material hasta colmar el depósito y se apisonó nuevamente como en el proceso anteriormente descrito.

Según el “Manual de ensayo de materiales” descritos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) abarca que al apisonar la primera capa, siempre hay que tratar de que la varilla golpee el fondo del molde. Y al apisonar las últimas capas, se tiene que forzar lo suficiente para que la varilla traspase solamente la respectiva capa.

Una vez que colmado el depósito, se enrasó la parte superior del molde con la varilla, usándola como regla, para luego determinar el peso del molde lleno y el peso propio del molde, registrando pesos con aproximación de 0.05 kg (0.1 lb).

Luego de haber realizado los ensayos se obtuvieron los pesos unitarios compactados para cada agregado siendo estas:

#### ***3.4.1.3 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.***

Como sabemos las partículas de los agregados tienen forma geométrica irregular, es por eso que no es simple medir o demostrar un criterio numérico individual para precisar el tamaño de las partículas de todas sus dimensiones.

Es muy complejo estimar el volumen de los diferentes tamaños de las partículas, es por eso que se emplea un modo indirecto pero no definida para determinarlo, la cual es tamizarlas por



una sucesión de mallas de aberturas conocidas y pesar los materiales retenidos relacionándolos en % con respecto al peso total.

A esto es lo que se denomina análisis granulométrico o granulometría, que es la interpretación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños.

Los agregados oscilan entre el 59% y 76% del volumen total del concreto, formado por la parte fina (arena) y la parte gruesa (grava o piedra triturada).

Además, La granulometría y el tamaño máximo nominal de los agregados influyen en el efecto de la dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto.

Para la gradación de los agregados se usa una sucesión de tamices que están descritos en la Norma Técnica Peruana, de manera que se seleccionarán los tamaños y por medio de unos procedimientos conseguiremos su módulo de finura, el tamaño máximo nominal y absoluto para los agregados, de este modo se especificará si los agregados son óptimos para la producción del concreto.

Tamaño Máximo: Es el tamaño de la abertura del tamiz que deja pasar todo el agregado.

Tamaño Nominal Máximo: Es el menor tamaño de la malla el cual debe pasar la mayor parte del agregado (primer retenido).

En la Tabla 17 se consignan los tamices estándar ASTM (Ref.5.17).



Tabla 17  
*Tamices Standard ASTM*

Denominación del tamiz	Abertura en pulgadas	Abertura en milímetros
3”		
1 ½”	3.0000	75.0000
¾”	1.5000	37.5000
3/8”	0.7500	19.0000
No 4	0.3750	9.5000
No 8	0.1870	4.7500
No 16	0.0937	2.3600
No 30	0.0469	1.1800
No 50	0.0234	0.5900
No 100	0.0117	0.2950
No 200	0.0059	0.1475
	0.0029	0.0737

Fuente: [http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/laboratorio\\_n%BA\\_7\\_eq.pdf](http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/laboratorio_n%BA_7_eq.pdf)

La norma ASTM C136 solo se limita a determinar con precisión la finura del material hasta 75 micras (No 200). Si sobresaliera este tamiz entonces se tendrá que recurrir mediante la norma ASTM C136 y la técnica que adopta la ASTM 117, para el lavado.

### **Módulo de Finura.**

El conocimiento sobre la definición del módulo de fineza fue establecida por Duff Abrams en el año 1925, el cual lo conceptualiza como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de los tamices estándares hasta la No 100 y que la totalidad de este resultado es dividida entre 100.

El Modulo de Fineza se interpreta como un tamaño promedio ponderado del agregado, mas no representa la distribución de las partículas.

El uso de este método es general, pues es aplicable tanto en la piedra como en la arena y sirve para describir el agregado independientemente o la mezcla de agregados en conjunto.



La base empírica que asiste al concepto de Módulo de finura es que granulometrías que tengan el mismo M.F. independientemente de la gradación individual, podrá lograr producir mezclas de concreto de similar plasticidad y resistencia, requiriendo la misma cantidad de agua, el cual lo convertirá en un factor ideal para el diseño y control de mezclas.

$$\text{Modulo de Finura} = \frac{\sum \% \text{ Acumulados Retenidos (1 1/2", 3/4", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100)}{100}$$

### **Equipos y Materiales.**

- Equipos.
- Balanzas.
- Tamices. (2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200), fondo.
- Horno. De tamaño adecuado y que sea capaz de conservar una temperatura uniforme de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Recipientes de plástico.
- Cuchillos, espátulas, cucharas.

### **Muestreo.**

Las muestras para el ensayo se obtuvieron por medio del cuarteo, manual. Tomando en cuenta que el agregado debe quedar completamente mezclado antes de cuartearlo y tener la suficiente humedad para obviar la segregación y la pérdida de finos. La cantidad de muestra del ensayo fue la indicada cuando se secó y fue el resultado final de la reducción.

Agregado fino: Según el “Manual de Ensayos de Materiales” del MTC (2016), para una masa de muestra de ensayo, se requiere 300 g como mínimo después del secado.

Agregado grueso: Se seleccionó de acuerdo a la tabla 18, para una muestra de ensayo de agregado grueso seco.



Tabla 18  
*Masa mínima de la muestra de ensayo*

Máximo tamaño nominal con aberturas cuadradas		Masa mínima de la muestra de ensayo
mm	(Pulg.)	Kg
9.5	(3/8)	1
12.5	(1/2)	2
19.0	(3/4)	5
25.0	(1)	10
37.5	(1 1/2)	15
50.0	(2)	20
63.0	(2 1/2)	35
75.0	(3)	60
90.0	(3 1/2)	100
100.0	(4)	150
125.0	(5)	300

Fuente: [http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/laboratorio\\_n%BA\\_7\\_eq.pdf](http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/laboratorio_n%BA_7_eq.pdf)

### **Procedimiento.**

Para este ensayo no fue necesario secar el agregado grueso, ya que el resultado no afecta en gran medida por el contenido de humedad, pero debe cumplir los siguientes requerimientos:

- a) El tamaño máximo nominal sea menor de 12.5 mm (1/2").
- b) El agregado grueso tenga una cantidad apreciable de finos menores de 4.75 mm (No.4).
- c) El agregado grueso sea altamente absorbente (por ejemplo un agregado liviano).

Se seleccionó un grupo de tamices de tamaños adecuados para suministrar la información requerida por las especificaciones del material que se va a ensayar. El uso de tamices adicionales es recomendable si se desea otro tipo de información, tal como el módulo de finura, o para ajustar la cantidad de material sobre un determinado tamiz. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016).

Se ordenaron los tamices de forma decreciente, por tamaño de abertura colocándose la muestra sobre el tamiz superior y agitándolos manualmente, durante un período adecuado.



Después de terminar el tamizado se verificó la cantidad en peso de cada tamiz sin en que éste variara en 1% debido al desperdicio, en caso contrario se repite el ensayo. El procedimiento que se tuvo en cuenta para el tamizado durante 1 minuto fue: Poner los tamices sobre una material que sirva de asiento y pueda ser movido a libertad y verificando que el conjunto de tamices esté asegurado con su tapa y fondo bien ajustada. Sosteniendo fuertemente con las dos manos se realiza una serie de combinaciones en movimiento circular y de atrás para adelante contra la palma de la otra mano. Luego de este proceso se pesó la muestra retenida en cada tamiz, mediante una balanza.

Finalmente se elaboró el Diagrama de curvas granulométricas de los agregados.

Se dibujó las curvas mediante coordenadas rectangulares, en la cual los diámetros de las aberturas de las mallas fueron las abscisas y las ordenadas, los porcentajes en peso que pasan dicha malla.

Tabla 19  
*Abertura de Tamices para Agregado Grueso*

( # )	Abertura (mm)
1”	25
3/4”	19
½”	12.7
3/8”	9.5
N° 4	4.75
Fondo	

Fuente: [http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/laboratorio\\_n%BA\\_7\\_eq.pdf](http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/laboratorio_n%BA_7_eq.pdf)



Tabla 20  
*Límites de Granulometría para el Agregado Grueso*

Tamaño Máximo Nominal	Abertura (mm)	Limite Superior	Límite Inferior
1"	25	100%	100%
3/4"	19	100%	90%
1/2"	12.7	-	-
3/8"	9.5	55%	20%
N°4	4.75	10%	0%
N°8	2.36	5%	0%

Fuente: Diseño de Mezclas, Enrique, R. (1992).

Al retirar cada porción del tamiz que le corresponde, se debe tener el cuidado de dejar limpias las mallas, para esto se utiliza el cepillo y la brocha pequeña.

#### ***3.4.1.4. Peso específico y absorción de los agregados.***

El peso específico o gravedad específica es la característica que sirve para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados abarcando el concreto de cemento Portland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y estudiadas en base al volumen.

De preferencia, las muestras para los ensayos de calidad deberán ser obtenidas de productos acabados, deberá ser transportado en bolsas o contenedores para prevenir pérdidas o contaminación que pueda alterar la muestra.

##### ***3.4.1.4.1. Peso Específico y Absorción de Agregados Finos.***

#### **Procedimiento.**

Se muestreó el agregado fino de acuerdo a las especificaciones establecidas anteriormente, luego se mezcló uniformemente y se redujo por cuarteo hasta obtener un espécimen de ensayo alrededor de 1 kg.

Se cuarteó el agregado fino y se secó a peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, colocándose luego en un recipiente para cubrirlo con agua durante 24 horas. Se decantó el agua



evitando la pérdida de finos y se extendió el agregado sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire tibio para luego remover regularmente el secado uniforme, hasta que las partículas del agregado no se adhieran notablemente entre sí. Una parte de la muestra se colocó en el molde cónico, se golpeó la superficie suavemente 25 veces con un pisón para luego levantar el molde. Si la porción de muestra permanece en su forma inicial entonces quiere decir que aún persiste humedad, por consiguiente se continuará realizando el mismo procedimiento descrito anteriormente. Se dejará de secar hasta que éste se desmorone al quitar el molde lo que indicará que el agregado fino por fin alcanzó una condición de superficie seca.

Se Introdujo en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, llenándose parcialmente con agua a una temperatura de  $23 \pm 2$  °C hasta alcanzar la marca de 500 cm<sup>3</sup>. Luego se removió el frasco para eliminar las burbujas de aire de manera manual.

Para quitar las burbujas de aire se tuvo que rodar, invertir y agitar el frasco alrededor de 15 a 20 minutos que es lo más recomendable según por el método manual.

Después de eliminar las burbujas de aire, se ajusta la temperatura del frasco y su contenido aproximadamente a  $23 \pm 2$  °C, llenándose el frasco hasta la capacidad calibrada. Para luego determinar el peso total del frasco, muestra y agua en los cálculos correspondientes.

Se removió el agregado fino del frasco, se secó en el horno hasta obtener un peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, después se dejó reposar en la mesa de concreto para enfriarlo a una temperatura ambiente por  $\frac{1}{2}$  a  $1 \frac{1}{2}$  hora en donde luego se determinó su peso.

#### *3.4.1.4.2. Peso específico y absorción de los agregados gruesos.*

La norma peruana (NTP 400.021), define una forma para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado superficialmente seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado grueso, siendo aplicado después de las 24 horas. El peso específico saturado superficialmente seco y la absorción están relacionado en agregados remojados en agua



después de 24 horas.

Se encuentran estos valores con el fin de usarlos tanto en el cálculo y corrección de diseño de mezclas, como en el control de uniformidad de las características físicas.

### **Equipos y Materiales.**

Los equipos y materiales empleados para el laboratorio fueron seleccionadas de acuerdo a la lista mencionadas en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) extraídas del “Manual Ensayos de Materiales”, donde se describe lo siguiente:

- Balanza: Sensible a 0,5 g y con cabida de 5000 g o más. La balanza deberá estar equipada con un dispositivo apto para suspender la muestra en la cesta con malla de alambre en el recipiente y con agua desde el centro de la plataforma de pesado.
- Cesta con malla de alambre: Con abertura perteneciente al tamiz N° 6 o abertura menor, incluso se puede usar un recipiente casi igual al ancho y altura, con una capacidad de 4 a 7 L para tamaños máximos nominales de 37,5 mm (1 ½ pulg) o menores, y un cesto más grande elemental para ensayar agregados con tamaños máximos mayores. El cesto deberá ser construido de tal forma que prevenga el aire atrapado cuando esté sumergido.
- Depósito de agua: Un depósito estanco apropiado para introducir la cesta de alambre en el agua y un dispositivo para colgarla al centro de la balanza.
- Tamices: Un tamiz normalizado de 4,75 mm (N° 4) o de otros tamaños que sean usados, de acuerdo a la N.T.P. 350.001.
- Estufa: Una estufa resistente capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

### **Muestra.**

Se mezcló la muestra y se redujo aproximadamente a la cantidad necesaria utilizando el proceso descrito en la ASTM C 702. Excluyéndose todo el material que pasó el tamiz 4,75 mm



(N° 4) por tamizado seco y seguidamente se lavó el material para remover polvo u otras impurezas superficiales.

El peso mínimo de la muestra de ensayo se seleccionó de la Tabla 21.

Tabla 21

*Peso mínimo de la muestra de ensayo*

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) 0 menos	2 (4,4)
19,0	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Fuente: Manual de ensayos de materiales, MTC

### **Procedimiento.**

Se secó la muestra hasta tener un peso constante, a una temperatura de  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ , después se dejó ventilar en un ambiente entre 1 a 3 horas, este proceso se realizó hasta que el agregado sea enfriado a una temperatura cómoda al tacto (de aproximadamente  $50\text{ °C}$ ). Inmediatamente se sumergió el agregado en agua a una temperatura ambiente por un período de  $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$ .

La muestra se colocó y se rodó sobre un paño grande y absorbente después de haberla retirado del agua, hasta hacerla desaparecer toda la película de agua visible, aunque la superficie de las partículas aún parezca húmeda. Separadamente se secó los fragmentos más grandes. Se tuvo cuidado evitando la evaporación durante la operación del secado de la superficie. En seguida se pesó la muestra bajo la condición de saturación superficialmente seca.



Después de pesar, se colocó de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determinó su peso en agua a una temperatura entre  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , densidad  $997 \pm 2\text{ kg/m}^3$ . Se tuvo cuidado de remover todo el aire atrapado antes del pesado, por eso se fue sacudiendo el recipiente mientras se sumergía. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016).

Finalmente se secó la muestra hasta obtener un peso constante, siendo la temperatura empleada a  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  y se dejó enfriar hasta la temperatura ambiente, durante 1 a 3h y finalmente se pesó.

#### ***3.4.1.5 Determinación del Contenido de Humedad.***

Siempre en los agregados vamos a encontrar poros, éstas pueden ser visibles a simple vista o de forma microscópica en forma de capilaridades, los cuales al estar en la intemperie pueden hallarse parcial o llenas con agua. Es un dato fundamental ya que me permitirá estimar la cantidad de agua que podríamos aportar a la mezcla de concreto.

Se describen a continuación los estados que las partículas de los agregados pueden alcanzar:

**Totalmente seco.** Se obtiene mediante un secado al horno a  $110^{\circ}\text{C}$  hasta que los agregados logren un peso constante. (Normalmente de 24 horas).

**Parcialmente seco.** Se consigue calcando la muestra al aire libre.

**Saturado y Superficialmente seco.** (SSS). Es una etapa en el que los agregados poseen todos sus poros están saturados de agua pero superficialmente están secos. Este estado La relación de masa y volumen sólo se logra en el laboratorio.

**Totalmente Húmedo.** En este estado los agregados están saturados de agua, aparte de eso hay agua libre superficial.

El contenido de humedad en los agregados se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$P = [(W - D) / D] * 100$$



En donde,

P, es el contenido de humedad (%)

W, es la masa inicial de la muestra (g)

D, es la masa de la muestra seca (g)

### **Procedimiento.**

Se determinó y tomo datos de la masa de un contenedor limpio y seco.

Luego precedimos a colocar sobre la mesa de trabajo el material que se va a emplear para dicho ensayo, utilizando el método del cuarteo hasta obtener la muestra que se quiso analizar.

Se colocó el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor. Para determinar el peso del contenedor y material húmedo se usó una balanza y se registró este valor.

Posteriormente, luego de habernos colocado los guantes respectivos, se colocó el contenedor con material húmedo en el horno hasta una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Por un periodo de 24 horas.

Luego que el material se haya secado a peso constante, se removió el contenedor del horno.

Permitiéndose el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con nuestras manos. Se determinó el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza que se utilizó al comienzo del ensayo. Y se registró el valor.

### **3.4.2. Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.**

Una vez obtenido las cantidades requeridas del diseño de mezcla, según los datos obtenidos de los ensayos de los Agregados se procede a elaborar y curar las muestras de concreto bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, para obtener una información útil que ayude a relacionar y evaluar datos con los valores obtenidos en laboratorio, utilizando un concreto compactado por apisonado.



El curado es una técnica por el cual se busca preservar saturado el concreto hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua sean sustituidos por los productos de la hidratación del cemento.

El agua que se utilizará en la preparación y curado del concreto debe cumplir con los requerimientos de la Norma NTP 334.088 siendo de preferencia agua potable.

#### ***3.4.2.1. Equipos y materiales.***

##### *Moldes.*

Los moldes que se utilizaron para el ensayo de concreto y los sujetadores de dichos moldes que están en contacto con el concreto fueron de acero, hierro forjado (material no absorbente) excluyendo aquellos que reaccionen con el concreto empleado en los ensayos.

Se verificó las dimensiones y las tolerancias especificadas en el método para el cual van a ser usados. Los moldes deben ser herméticos de modo que no filtre el agua de la mezcla contenida, elaborados de un metal de alta resistencia o de otro material rígido no absorbente.

Dimensiones de molde: El plano transversal del cilindro fue perpendicular respecto al eje del cilindro. Cumplió con la tolerancia exigida de  $\pm 2,0$  mm de diámetro y de  $\pm 6,0$  mm en la altura. Se usaron moldes de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, satisfaciendo las especificación ASTM C-470 "Molds For Forming Concrete Test Cylinders Vertically".

##### *Varilla compactadora.*

Se empleó una varilla de acero, cilíndrica y en su extremo compactador de forma hemisférica con radio igual al radio de la varilla.

La varilla que se usó en laboratorio para la compactación, fue de diámetro de 5/8” y 60 cm de longitud.

##### *Martillo.*

Fue de caucho y que pesó  $0,57 \pm 0,23$  kg



#### *Recipientes para muestreo y mezcla.*

La mezcla se hizo de manera manual, recibiendo toda la bachada de la descarga del mezclador para luego mezclar en el recipiente mediante una pala o palustre, que en este caso el contenedor fue un buggy.

#### *Balanzas.*

Se utilizó una balanza con una precisión de 0,30% para la medida de los pesos.

#### *Mezcladora de concreto.*

La mezcladora que se usó en laboratorio fue mecánica. Si el asentamiento del concreto fuera inferior a 25 mm (1"), sería más apropiado utilizar un recipiente mezclador (mezcla manual) que una mezcladora de tambor reclinable. Es recomendable, que si este último caso se da se tiene que reducir la rata de rotación y el ángulo de inclinación del tambor y trabajarla a una capacidad inferior a la especificada por el fabricante.

#### *Equipo Misceláneo.*

Tamices, palas, palustres, reglas, guantes de caucho, calibrador de espesores, etc.

#### *Termómetro.*

Debe cumplir los requerimientos de la norma ASTM C 1064.

#### **3.4.2.2. Muestras.**

Se laboraron tres especímenes para cada edad y condición del ensayo. En todas las cantidades medidas de concreto se elaboró un número igual de especímenes.

Los ensayos que se realizaron en laboratorio, fueron preparados a edades de 7, 14 y 28 días para compresión y absorción del concreto. Por otra parte, los especímenes que contengan cemento tipo III son ensayados frecuentemente a 1, 3, 7 y 28 días.



### *3.4.2.3. Mezclado del concreto.*

Para pesar los materiales se tuvo que aumentar un 10% del peso de la muestra para compensar el desperdicio producido por el espécimen en cada ensayo.

Mezcla con máquina: Previo a la rotación de la mezcladora se introdujo el agregado grueso con algo del agua que se usó en la mezcla. El aditivo que se utilizó para el mezclado fue de cenizas volantes de carbón adicionando del 5%, 10% y 20% del peso del cemento, considerado como un material puzolánico, se manipuló con cuidado para no perder desperdiciar el material y después se agregó a la mezcladora de la misma forma que se realizó con el cemento. Siempre que sea posible, el aditivo se debe dispersar en el agua antes de su adicción a la mezcla.

Se puso en funcionamiento la mezcladora, al estimar unas cuantas revoluciones se adicionó el agregado fino, el cemento y el agua, con la mezcladora en funcionamiento, siempre asistiendo con cuidado el ingreso de los depósitos a la boca de la mezcladora.

Debido a que no resulto práctico incorporar al agregado fino, el cemento y el agua con la mezcladora funcionando, se tuvo que incluir los materiales con la máquina detenida, luego de haberse permitido algunas revoluciones.

Inmediatamente se mezcló el concreto durante 3 minutos a partir del momento en que todos los ingredientes estuvieron en la mezcladora. Se apagó la mezcladora en un tiempo de 3 minutos aproximadamente y se volvió a prender durante 2 minutos de agitación final.

Es complicado recuperar todo el mortero impregnado en las partes de las mezcladoras. Para compensar este inconveniente, se tuvo que “embadurnar la mezcladora”, es decir justo antes de mezclar, se proporcionó una bachada que simule cercanamente a la del ensayo. El mortero que se adhirió a la mezcladora después de descargar la bachada, procura compensar la pérdida de mortero de la bachada del ensayo.

El concreto se descargó en un recipiente limpio y seco y se re mezcló con un palustre o pala, hasta hacerlo uniforme y para evitar la segregación.



#### **3.4.2.4. Vaciado del concreto.**

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016), señala en su Manual de ensayos y materiales que el moldeado de los especímenes se tiene que efectuar lo más cerca posible al lugar donde se van a guardar para que fragüe durante un plazo de aproximadamente 24 horas. Los moldes se llevan al depósito después de su elaboración y se colocan sobre una superficie plana y rígida, libre de vibraciones, evitando los movimientos bruscos.

El concreto se colocó en el molde utilizando un palustre.

Además de retirar una muestra representativa de la bachada usando una pala o cucharón; continuamente se tiene que mezclar mientras se lleva a cabo el vaciado de los especímenes, con el fin de evitar la segregación. El palustre se movió alrededor del borde superior del molde cuando este descargaba el concreto, con objeto de asegurar una distribución simétrica y reducir la segregación del agregado grueso en el interior del molde.

En la colocación de la capa final se colocó una capa de concreto para completar exactamente el relleno del molde.

El número de capas con el cual se elaboró los especímenes fue el especificado en la Tabla 22, tanto para los ensayos de compresión como en los de absorción.

Los dos métodos de compactación son: apisonado (por varillado) y vibración (externa o interna). En la elaboración de probetas de concreto sólo se empleó el método de compactación por varillado.

Se recomienda que si el concreto tiene un asentamiento mayor de 75 mm (3") debe usarse el método por apisonado. Si el asentamiento es de 25 a 75 mm (1 a 3") debe usarse el método de apisonado o el de vibración, inclinándose más por el método usado en la ejecución de la obra. Y Si el asentamiento es menor a 25 mm (1") debe emplearse el método de vibración.

No se debe utilizar vibración interna para cilindros con diámetro inferior a 100 mm y para prismas de 100 mm de profundidad o menos.



Tabla 22

*Número de capas requeridas en la elaboración de las mezclas*

Tipo de tamaño de la muestra en mm (pulgadas)	Método de compactación	Numero de capas	Altura aproximada de la capa en mm (pulgadas)
<b>Cilindros</b>			
Hasta 300 (12)	Apisonado (varillado)	3 iguales	100 (4)
Mayor que 300(12)	Apisonado (varillado)	las requeridas	
Hasta 460(18)	Vibración	2 iguales	200 (4)
Mayor que 460(18)	Vibración	3 o más	
<b>Prismas</b>			
Hasta 200 (8)	Apisonado (varillado)	2 iguales	100 (4)
Mayor que 200 (8)	Apisonado (varillado)	3 o más	
Hasta 200 (8)	Vibración	1	200 (8) C172
Mayor que 200 (8)	Vibración	2 o más	

Fuente: Manual de ensayo de materiales – MTC

Se apisonó cada capa con la parte redonda de la varilla, utilizando el número de golpes y el tamaño de la varilla especificado en la Tabla 23. La capa inicial se apisonó introduciendo la varilla hasta el fondo del molde. La repartición de golpes para cada capa fue uniforme sobre toda la sección transversal del molde.

Para cada capa superior a la inicial se debe atravesar aproximadamente en 12 mm (½") la capa anterior en caso de que la profundidad de la capa sea menor de 100 mm (4"); alrededor de 25 mm (1") cuando el espesor de la capa sea mayor de 100 mm (4"). En caso de dejar algunos huecos por la varilla se deben golpear ligeramente los lados del molde para cerrar dichos huecos.



Tabla 23  
*Diámetro de varilla y número de golpes por capa*

Cilindros		
Diámetro del cilindro en mm (pulgadas)	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Número de golpes por cada
50 (2) a 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75

Vigas y prismas		
Área de la superficie superior De la muestra en cm <sup>2</sup> (pulg <sup>2</sup> )	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Numero de golpes por cada
160 (25)	10 (3/8)	25
165 (26) a 310 (49)	10 (3/8)	1 por cada 7 cm <sup>2</sup> (1 pulg <sup>2</sup> ) de área
320 (50) o más	16 (5/8)	1 por cada 7 cm <sup>2</sup> (1 pulg <sup>2</sup> ) de área

Fuente: Manual de ensayo de materiales – MTC

El ensayo de compactación se realizó mediante una varilla de 5/8” en un cilindro de diámetro de 150 mm, en 3 capas, 25 goles cada una.

La compactación, se efectuó el acabado con las manipulaciones mínimas, de tal manera que la superficie quede plana y pareja a nivel del borde del cilindro o lado del molde, y no debió tener depresiones o protuberancias mayores de 3,2 mm (1/8”).

Después de la compactación, se efectuó el acabado de la superficie por medio de golpes con la varilla apisonadora cuando la consistencia del concreto lo permita o con un badilejo o llana de madera. Si se desea, puede colocarse una capa de pasta de cemento sobre el espécimen a manera de refrentado (capping). (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

#### ***3.4.2.5. Curado de Especímenes del Concreto.***

1. Protección después del acabado: Para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer, los testigos fueron cubiertos inmediatamente después del acabado, con una lámina de plástico dura e impermeable.



2. Separación de la muestra: Las muestras deben ser removidas de sus moldes entre 20 y 48 horas después de su elaboración cuando no se empleen aditivos; en caso contrario, se podrán emplear tiempos diferentes. Al usar cenizas volantes de carbón se respetó el tiempo de extracción.
3. Entorno de curado: A menos que se especifique otra cosa, las muestras se deben mantener en condiciones de humedad con temperatura de  $23,0^{\circ} \pm 2,0^{\circ}\text{C}$  desde la preparación del moldeo hasta el momento de ensayo.

Para lograr la condición de humedad por almacenamiento se aconseja elaborarlo en un cuarto húmedo.

### **3.4.3. Manejabilidad del concreto (NTP 339.035).**

La consistencia es la capacidad que tiene el concreto para mantener su estado plástico sin desmoronarse, así mismo tiene la capacidad para adaptarse al encofrado o molde con facilidad, conservándola homogénea con un mínimo de vacíos.

Es importante la elaboración de ensayos de concreto en estado fresco por que se busca garantizar el cumplimiento de las especificaciones en estado endurecido.

Esta prueba, desarrollada por Duft Abrams, fue adoptada en 1921 por el ASTM y analizada finalmente en 1978.

Las mezclas de concreto se clasifica en:

- Mezclas secas, cuyo asentamiento se encuentra entre 0 y 2 pulgadas (0 a 50 mm)
- Mezclas plásticas, cuyo asentamiento oscila entre 3 y 4 pulgadas (75 mm y 100 mm)
- Mezclas fluidas, cuyo asentamiento esta entre 5 o más pulgadas (mayor que 125 mm.)

Si las especificaciones de obra no indican el asentamiento solicitado para la mezcla a ser diseñada, podemos seleccionar un valor apropiado a través de la tabla 24 para una determinada actividad que se va a efectuar.



Tabla 24

*Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción*

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

Fuente: Diseño de mezclas - Enrique Rivva López

El método se aplica a concretos con áridos de tamaño máximo igual o inferior a 5cm.

Es aplicable a flexibilidades entre 2 y 18 cm.

Se desempeña entre el 10 y 90% de la descarga.

Si el concreto moldeado se inclina decididamente hacia un lado, o sufre segregaciones o corte, entonces será obligado a repetir el ensayo.

El procedimiento no es aplicable a los concretos no plásticos que tienen un asentamiento inferior a ½ pulg. (15mm) y no cohesivos con un asentamiento superior a 9 pulg. (230mm). Asimismo hay que tener en cuenta la interpretación de estos resultados.

#### ***3.4.3.1. Equipos y materiales.***

*Cono de Abrams y plancha metálica rígida.*

Se usó un cono metálico, invulnerable por el concreto, con un espesor de lámina no inferior a 1.14 mm. La forma interior es de una superficie lateral de un tronco de cono de  $203 \pm 2$  mm de diámetro en la base mayor,  $102 \pm 2$  mm de diámetro en la base menor y  $305 \pm 2$  mm de altura. Las bases abiertas son paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. Se asegura que el molde presente agarraderas y dispositivos para sujetar con los pies, como se indica en la Figura 24. Antes de vaciar se limpia el interior del molde.

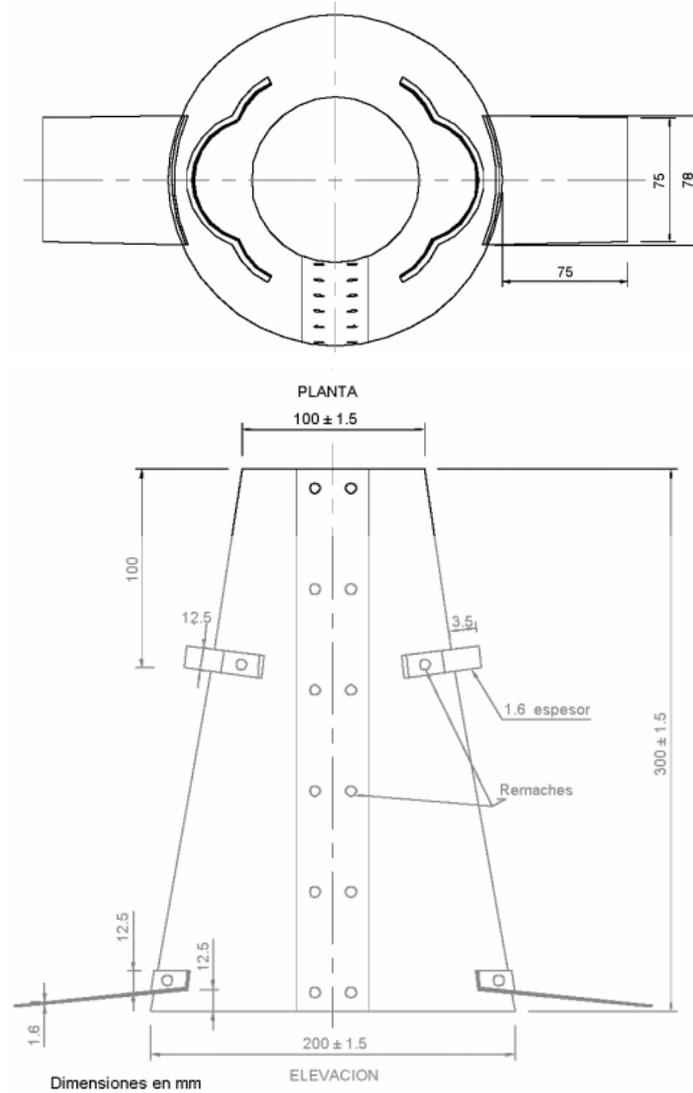


Figura 24. Molde para determinar el Asentamiento

### Varilla compactadora.

Lisa, de 600 mm (24") de largo por 16 mm (5/8") de diámetro, el extremo compactador debe ser hemisférico con radio de 8mm (5/16").

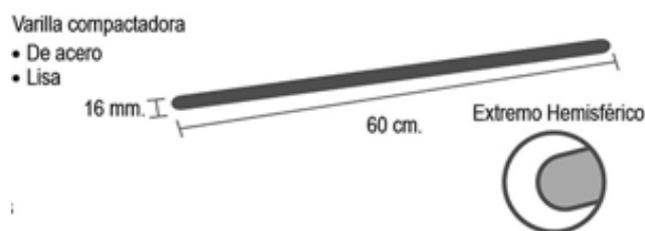


Figura 25. Varilla Compactadora



*Cucharón.*

Tamaño apropiado y forma adecuada, de material no absorbente, metálico comúnmente utilizado.

*Dispositivo de medida.*

*Wincha o regla metálica.*

#### **3.4.3.2. Procedimiento preliminar.**

Se mezcló la muestra de concreto para homogenizarla.

Se humedeció los elementos que van a estar en contacto con el concreto.

Y por último se colocó el cono sobre una superficie plana, rígida, húmeda, no absorbente, libre de vibraciones y perturbaciones.

#### **3.4.3.3. Ensayo.**

Se fijó el molde en el lugar de llenado pisando las aletas y asegurando las abrazaderas a la placa de la base.

Luego se llenó el molde en tres capas de igual volumen, cada una de ellas fue un tercio del volumen del molde, aproximadamente.

La tercera parte de la altura del molde mide alrededor de 6.7 cm; dos tercios del volumen tiene una altura de 15.5 cm. Cada capa se compactó con un total de 25 golpes por medio de la varilla distribuidos uniformemente. Se dieron prácticamente la mitad de los golpes cerca del perímetro inclinando la varilla casi paralelo a la generatriz del molde y el resto se chuzó de forma helicoidal, hacia el centro.

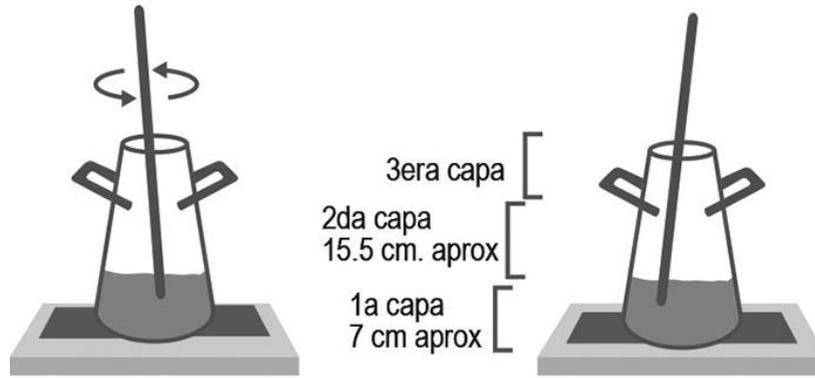


Figura 26. Compactación del concreto en el molde cónico

Al compactar la segunda y tercera capa, la varilla debe atravesar ligeramente la capa inferior, esta vez ingresaremos hasta 1" de la capa anterior.

Al compactar la última capa, siempre debe colmar el molde. Asimismo si terminan de darles los 25 varillados y el concreto se asienta por debajo del borde superior se deberá repetir la prueba ya que después que chuzan ya no será posible agregar concreto al molde. Por el contrario si durante la consolidación de la última capa el técnico considera que existe una deficiencia en la cantidad del concreto, el proceso de varillado deberá suspenderse y una muestra representativa del concreto deberá ser colocada y el número de golpes deberá ser completado hasta alcanzar los 25 especificados por la norma.

Se enrasó la superficie, retirando el concreto sobrante del cono y plancha para prevenir interferencia con el proceso de asentamiento, y levante verticalmente el molde en 5 a 10 segundos, sin girarlo o moverlo lateralmente.

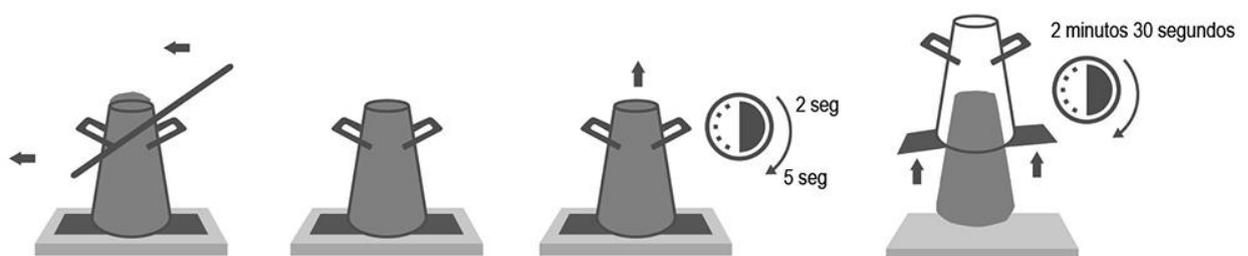


Figura 27. Retiro del cono después del enrasado del concreto

Todo el proceso desde el llenado hasta que se retira el molde debe duró como máximo 2 minutos y 30 segundos.

Se midió el asentamiento desde el centro de la masa asentada, es decir desde un punto medio de la altura del concreto hasta la parte inferior de la varilla.



Figura 28. Medición del Asentamiento

Si la muestra cede o se desprende pronunciadamente, entonces volverá a repetirse el ensayo; si al repetir el ensayo ocurre algo similar, entonces es posible que dicho concreto no tenga cohesión o plasticidad por lo cual este ensayo no es aplicable para estos casos.

Se debe anotar el asentamiento del espécimen con aproximación al medio centímetro.

El ensayo de asentamiento debe iniciarse a lo mucho 5 minutos después de tomada la muestra.

La forma que adopta el cono de la mezcla de concreto puede ser:

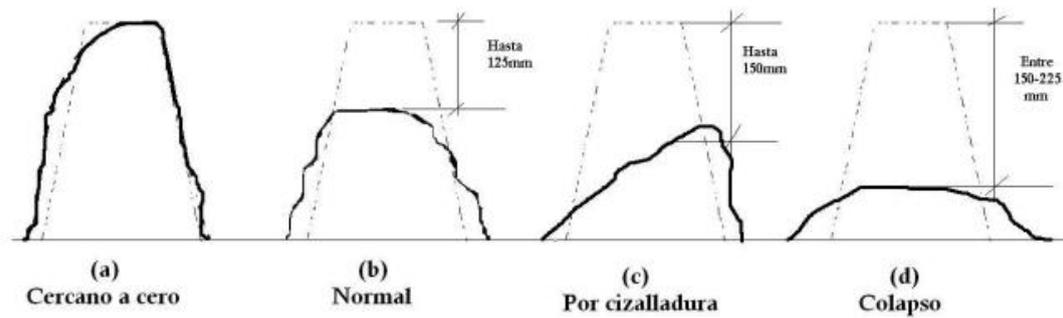


Figura 29. Formas que adopta la mezcla de concreto después de retirado el cono

*Forma que adopta la mezcla en la prueba de revenimiento.*

- a) Asentamiento cercano a cero: Posiblemente es el resultado del poco contenido de agua agregada en el concreto pese a tener todos los requisitos de trabajabilidad, o se trata de un concreto hecho con agregados gruesos que permiten que el agua drene fuera de la mezcla de concreto sin que se genere cambios de volumen.
- b) Asentamiento normal: Se refiere al concreto con buena o excelente trabajabilidad. El asentamiento usado para concreto estructural se ubica entre 2 y 7 pulgadas.
- c) Asentamiento por cizalladura o cortante: Significa que el concreto carece de plasticidad y cohesión. Un resultado conveniente de esta prueba es discutible.
- d) Colapso en el asentamiento: Enuncia un concreto obtenido con concretos pobres, hechos con agregados gruesos en exceso o mezclas extremadamente húmedas. En este tipo de concretos, el mortero tiende a salir del concreto, quedando el material grueso en medio del cono, presentando segregación.

Debido a múltiples causas que alteran la trabajabilidad (contenido de agua de la mezcla, tamaño máximo de los agregados, granulometría, forma y textura, etc.) la prueba de asentamiento, si bien aporta una indicación de la consistencia y en ciertas mezclas también de la trabajabilidad, no es apto para distinguir mezclas con características distintas, aunque es muy útil para detectar las variaciones de uniformidad y humedad de la mezcla.



Nota: Si el asentamiento es menor de  $\frac{1}{4}$ ”; es decir, que tiene un asentamiento casi 0, puede ser ensayado por varios medios que son descritos en ACI 211.3 “Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete” (Guía para la selección de proporciones para concreto sin revenimiento).

Advertencia: No debe utilizarse el concreto que fue empelado en el ensayo de Revenimiento para elaborar probetas en el ensayo de resistencia, pues sus propiedades ya son alteradas.

#### **3.4.3.4. Factores Externos.**

La Trabajabilidad del concreto se ve alterado a medida que avanza con el tiempo. El valor del asentamiento medido al pie de la mezcladora será mayor que el conseguido luego de 15 minutos, pues los agregados absorben agua que, de esta forma, no aporta a la plasticidad. Definitivamente, en el tiempo que los materiales continúan en la mezcladora, los agregados debilitan su capacidad de absorción

El resultado del asentamiento del concreto varía con la temperatura de la mezcla e, indirectamente, por la temperatura del ambiente. El aumento de la temperatura hace reducir el asentamiento. Por ello, para conservar el asentamiento cuando el clima es más caluroso, deberá requerirse de un incremento de la dosificación del agua (Figura 30).

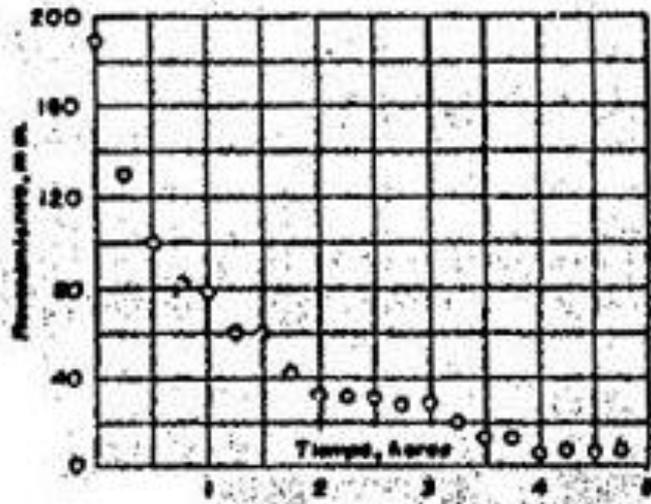


Figura 30. Temperatura vs Asentamiento

### 3.4.4. Temperatura de la mezcla de concreto (NTP 339.114).

Se empleó para verificar la conformidad de acuerdo al requerimiento especificado para la temperatura del concreto fresco en obra.

#### 3.4.4.1. Equipos y materiales.

##### *Recipiente.*

El recipiente empleado fue de un material no absorbente y tuvo dimensiones que permitió un recubrimiento de al menos 3 pulgadas (75 mm) de concreto en todas las direcciones en torno al sensor medidor de temperatura. La cantidad de concreto que cubrió todo, logró alcanzar más de tres veces el tamaño máximo del agregado grueso.

##### *Medidor de temperatura.*

Estuvo calibrado para medir la temperatura del concreto que recién fue mezclado con una variación de  $\pm 0,5$  °C, comprendido en un rango de 0°C a 50°C. El mecanismo que mide la temperatura (sensor) requerirá sumersión de 3 pulgadas (75 mm) o más en el concreto, durante la operación.



#### *Calibración del medidor de temperatura.*

El aparato medidor de temperatura debe graduarse anualmente o cuando se esté inseguro sobre su grado de exactitud.

Preservar la temperatura de la sumersión constante en (0,2 °C) durante el período de prueba.

Preservar la temperatura y el medidor de temperatura inmersos por un mínimo de dos minutos o hasta que la temperatura se estabilice.

#### **3.4.4.2. Muestra.**

La temperatura de la mezcla de concreto se midió en el equipo de transporte, ya que el aparato medidor estuvo cubierto más de 3 pulgadas de concreto (75 mm) en todas las direcciones.

La temperatura de la mezcla de concreto pudo obtenerse después del vaciado de concreto.

#### **3.4.4.3. Procedimiento.**

Se obtuvo una muestra de concreto dentro de un contenedor no absorbente, de tamaño suficiente para proveer un mínimo de 3 pulg (75 mm) de concreto alrededor del sensor de temperatura en todas sus direcciones.

Se utilizó un termómetro con una exactitud de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , e intervalo de temperatura de  $0^{\circ}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ .

Se colocó el termómetro dentro de la muestra cubriendo el sensor con un mínimo de 3 pulg (75 mm) en todas las direcciones. Cerrando desde la izquierda presionando con delicadeza el concreto alrededor del medidor de temperatura en la superficie del concreto para así prevenir que la temperatura ambiente modifique la lectura en el instrumento.

Se tomó lectura de la temperatura después de un tiempo mínimo de 2 minutos hasta que la lectura se estabilizó, luego se leyó y se registró.



Finalmente se completó la medición de la temperatura dentro de los 5 minutos siguientes a la obtención de la muestra compuesta.

### **3.4.5. Resistencia a la Compresión Testigos Cilíndricos.**

La resistencia a la compresión del concreto tiene la capacidad de soportar cargas y esfuerzos en compresión. Es por eso que dicha capacidad dependió de la concentración de la pasta de cemento.

Esta propiedad, además de ser afectada por los factores que influyen en la resistencia de la pasta, como lo son la temperatura y el tiempo, también es afectada por la calidad de los agregados que constituyen la estructura del concreto. Adicional a esto, el curado es otro factor que puede llegar afectar la resistencia del concreto, ya que en el curado se complementa el proceso de hidratación.

Para determinar la resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas patrón y las reforzadas con Cenizas Volantes de Carbón, se realizarán los ensayos de laboratorio convenientes según lo denotado en la NTP 339.034.

Este procedimiento se basó en aplicar una fuerza de compresión axial a los cilindros moldeados a una velocidad reglamentada en un rango prescrito mientras se produce la falla. Seguidamente la resistencia a la compresión de las probetas reforzadas con CV de carbón fue determinada por medio de la división de la carga máxima que se alcanza en el ensayo por el área de la sección recta de la probeta.

Se registró así la curva del  $f^c$  (carga máxima) soportada por las probetas adicionadas con cenizas volantes de carbón obtenidas del ensayo.

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



Los resultados que se obtengan servirán para proyectar bases para el control de calidad y mejoras del concreto en las operaciones de dosificación, mezclado y colocación, siempre tratar en lo posible cumplir con las mínimas recomendaciones y especificaciones para tener una buena efectividad en el uso de aditivos.

#### ***3.4.5.1. Equipos y materiales.***

##### *Máquina.*

La máquina de ensayo fue de uso conveniente y eficiente, capaz de proveer una velocidad de carga programada. Para validar la calibración de la máquina de ensayo ésta debe tener conformidad con la ASTM E 4 y esta debe ser operada por energía (no manual) y aplicar la carga continua sin detenerse y sin interrupciones.

#### ***3.4.5.2. Muestras.***

El diámetro del cilindro utilizado cumplió con el requisito de medir como mínimo tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso que se empleó en el concreto.

El diámetro del cilindro se midió en dos sitios en ángulos rectos entre sí, a media altura de la probeta y se promedió para calcular el área de la sección. Asimismo los dos diámetros medidos no difirieron en más del 2 %, por lo que los cilindros si sometieron a prueba.

Se sometieron a prueba 2 cilindros de la misma edad y se reportó la resistencia promedio en un intervalo próximo de 10 psi (0.1MPa).

#### ***3.4.5.3. Procedimiento.***

El ensayo de compresión se realizó una vez removidas del lugar de curado.

Todos los especímenes de una determinada edad, se ensayaron en condición húmeda y se rompió de acuerdo a las tolerancias indicadas a continuación:

Tabla 25  
*Tolerancias*

Edad del ensayo	Edad del ensayo
12 horas	0.25 ó 2.1%
24 horas	+/- 0.5 horas ó 2.1%
3 días	2 horas ó 2.28%
7 días	6 horas ó 3.6%
28 días	20 horas 3.0%
56 días	40 horas ó 3.0%
90 días	2 días ó 2.2%

Fuente: Manual de ensayo de materiales – MTC

### *Colocación de la Muestra.*

Algunas bases de las probetas elaboradas no fueron del todo planas, ya que difirieron en más de 0,050 mm, es por eso que fueron capeadas de conformidad con la NTP 339.037 o cuando se tolere, la NTP 339.216. Una vez colocada el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, se limpia con un paño las superficies de los bloques superior e inferior y se asienta el espécimen sobre el bloque inferior.

Cuidadosamente se alinea el eje del espécimen con el centro de presión del bloque superior. Siempre se debe verificar que el indicador de carga esté ajustada en cero.

LA GARGA HASTA COMPLETAR LA ROTURA DEBE SER AXIAL

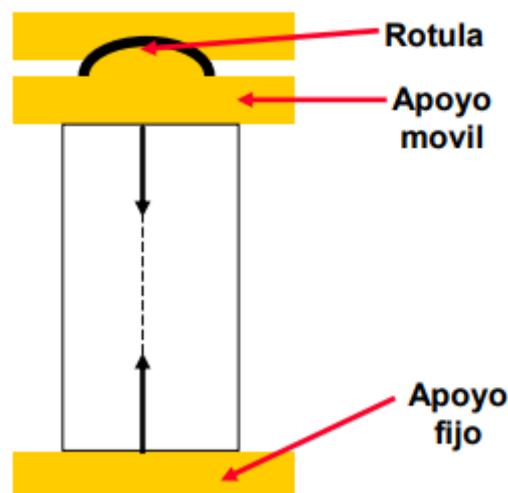


Figura 31. Partes de una máquina de compresión

### *Velocidad de Carga.*

Se aplicó la carga continuamente sin golpes bruscos.

Según informe técnico la carga es aplicada a una velocidad promedio de carga en un rango de  $0,25 \pm 0,05$  MPa/s. La velocidad elegida se mantiene, durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para el periodo de carga prevista. Hay que tomar en cuenta que para lograr alcanzar la carga última no debe ajustarse la velocidad de movimiento y por supuesto se debe levantar la placa superior una vez que la tasa de aplicación de carga decrece debido a que el cilindro de concreto falla, presentado grietas en su generatriz.

Entre tanto la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, la velocidad de carga fue mayor, pero se tuvo control para evitar las cargas por impacto.

Cuando se ensayan cilindros sin capping, puede ocurrir una fractura de esquina antes de alcanzar la carga última; pero la carga continua seguirá realizándose hasta tener la certeza de haber alcanzado la carga última.

El ensayo culminó cuando la velocidad del esfuerzo decreció debido a la fractura del espécimen.

Para computar el  $f'_c$  del concreto se divide la carga máxima entre el área de aplicación de la fuerza. Además de registrar las cargas máximas se observó también el tipo de falla más común que estos presentaron durante el proceso de compresión, gracias a la Figura 32.

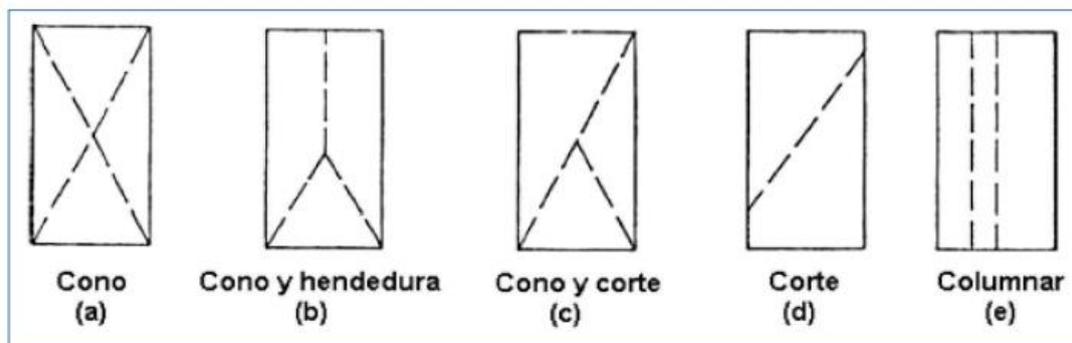


Figura 32. Esquemas de tipos de falla



### 3.4.6. Absorción

EL ensayo de absorción por succión capilar conforma una herramienta útil para calificar a un concreto desde el punto de vista durable; mostrando la facilidad con la que los agentes agresivos externos pueden penetrar por acción de las fuerzas capilares en la estructura porosa del concreto.

Mediante este ensayo se obtiene 2 indicadores de caracterización del fenómeno, la **velocidad de succión capilar**; que constituye la rapidez con la cual el líquido penetra en la superficie capilar del concreto y la **capacidad de succión capilar**; que establece la cantidad de agua requerida para producir la saturación del concreto.

#### 3.4.6.1. Equipos y materiales

- ✓ Recipiente de base plana con tapa hermética y base de apoyo para las probetas, de material resistente a la corrosión que asegure una superficie mínima de contacto con el agua.
- ✓ Bolsas de polietileno.
- ✓ Películas de polietileno.
- ✓ Balanza y una estufa.

#### 3.4.6.2. Muestras

Las muestras para este ensayo fueron cortados hasta obtener testigos cilíndricos de 50 +- 2mm de altura y 100 mm de diámetro nominal cuando la totalidad del agregado grueso empleado pase por el tamiz IRAM 26.5 mm, o de 150 mm de diámetro nominal cuando la totalidad del agregado empleado ingrese por el tamiz IRAM 37,5 mm.

#### 3.4.6.3. Procedimiento

Se confeccionaron 3 probetas cilíndricas de 100mm de diámetro por 200 mm de altura y que fueron curadas durante 28 días, Luego se realizó el aserrado para que se obtuvieran las

probetas de ensayo de  $50 \pm 2$  mm de espesor, realizado a 30 mm del extremo correspondiente a la base, con el propósito de eliminar el efecto de obturación de poros que puede provocar el engrasado del molde. Como indica la figura 33.

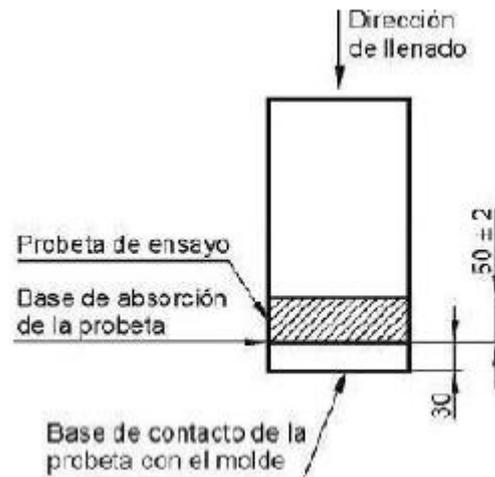


Figura 33. Probeta para el ensayo de absorción por succión

Luego se determinó el diámetro y el área de la sección transversal de cada una de las probetas.

Se procedió a sellar con pintura impermeabilizante (2 manos) toda la superficie lateral de las probetas, para evitar la absorción en ese lugar ya que no está contemplado en los cálculos; y una vez secada la pintura, se sumergió las probetas en agua durante 72 horas (3 días); para luego ser sometidas al secado en estufa a una temperatura de  $50 \pm 2$  °C; hasta que la variación de 2 pesadas sucesivas efectuadas cada  $24 \pm 1$  h sea menor que 0.1% de la última medición.

Antes de cada pesada, las probetas se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente, guardándolas previamente en doble bolsa de polietileno.

Una vez secadas las probetas, se anota la masa seca y se recubren con doble pliego de una película de polietileno durante 24 horas, en un ambiente de preferencia en laboratorio.

Después se extrae la envoltura de polietileno, para ser introducidas en un recipiente, con una altura de agua respecto de la base de absorción de  $3 \pm 1$  mm y a una temperatura de  $20$  °C  $\pm 2$  °C. En ese instante se registra el tiempo inicial del ensayo ( $t=0$ )



El recipiente se cubrió para procurar alcanzar una humedad de equilibrio del aire mayor al 95 % y para disminuir la evaporación por las bases de las probetas en contacto con el aire.

Luego se procedió a medir la masa húmeda en los tiempos  $t=30$  min,  $t=1$ h,  $t=2$ h,  $t=3$ h; $t=4$ h,  $t=5$ h,  $t=6$ h,  $t=24$ h; $t=48$ h y después cada 24 h +/- 1h hasta que el peso de 2 secciones de probeta será menor de que 0.1% entre dos resultados sucesivos .

$$C_{it} \text{ (gr/m}^2\text{)} = \frac{M_{hit} - M_{si}}{A_i}$$

$C_{it}$ = El incremento de masa por unidad de área de la sección transversal (i) en el instante de lectura (t) en gr/m<sup>2</sup>.

$M_{hit}$ , La masa húmeda de la probeta (i) en el instante de lectura (t) en gramos

$M_{si}$ , La masa seca de la probeta (i) en gramos

$A_i$ , El área de la sección transversal de la probeta (i) en m<sup>2</sup>

La capacidad de succión capilar del hormigón (C) en gr /m<sup>2</sup>, se halla a través del promedio de la capacidad de succión capilar de cada probeta de la serie de ensayo  $C_i$ .

La velocidad de succión capilar del hormigón (S) correspondiente a la serie de ensayo, en gr/m<sup>2</sup>. S<sup>1/2</sup>; es la pendiente de la recta que se logra por un ajuste de cuadrados mínimos de la serie de puntos.



**TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".**

---

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES**



## Capítulo IV: Resultados y discusiones

### 4.1. Ensayo de agregados

#### Agregado Grueso.

Tabla 26

*Propiedades Físicas del Agregado Grueso*

Descripción	A.G
Peso específico	2820 Kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	1625 Kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto	1482 Kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Humedad	0.31%
Absorción	0.45%
TMN	3/4"

Fuente: Elaboración Propia

#### Agregado Fino.

Tabla 27

*Propiedades Físicas del Agregado Fino*

Descripción	A.F
Peso específico	2680 Kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	1696 Kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto	1485 Kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Humedad	0.65%
Absorción	1.14%
Módulo de Finura	2.88

Fuente: Elaboración Propia

### 4.2. Diseño de mezcla

#### 4.2.1. Diseño de mezcla Patrón.

Se elaboró un concreto de acuerdo al método de diseño de mezclas del comité ACI 211, obteniéndose la siguiente dosificación para un Concreto Patrón (sin ceniza volante).



Tabla 28

*Dosificación del concreto patrón*

Descripción	Pesos secos del agregado (kg/m <sup>3</sup> )	Corrección por Humedad (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (9 probetas) kg
Cemento Portland Compuesto Típico ICO	367.38	367.38	17.53
A. Fino	799.18	804.37	38.38
A. Grueso	994.61	997.70	47.60
Agua	205.00	210.31	10.03
Total	2366.17	2379.76	113.55

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.2. Diseño de mezcla Patrón + Ceniza Volante de Carbón (5%).

Se elaboró un concreto de acuerdo al método de diseño de mezclas del comité ACI 211, obteniéndose la siguiente dosificación para un Concreto Patrón, con un porcentaje de Ceniza Volante de Carbón del 5% del peso del Cemento.

Tabla 29

*Dosificación del concreto con 5% de ceniza volante de carbón*

Descripción	Pesos secos del agregado (kg/m <sup>3</sup> )	Corrección por Humedad (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (9 probetas) kg
Cemento Portland Compuesto Típico ICO	367.38	367.38	17.53
A. Fino	799.18	804.37	38.38
A. Grueso	994.61	997.70	47.60
Agua	205.00	210.31	10.03
Cenizas Volantes (5% Cement. Port. ICO)		18.37	0.88
Total	2366.17	2398.13	114.42

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3. Diseño de mezcla Patrón + Ceniza Volante de Carbón (10%).

Se elaboró un concreto de acuerdo al procedimiento del método de diseño de mezclas del comité ACI 211, obteniéndose la siguiente dosificación para un Concreto Patrón, con un



porcentaje de Ceniza Volante de Carbón del 10% del peso del Cemento.

Tabla 30

*Dosificación del concreto con 10% de ceniza volante de carbón*

Descripción	Pesos secos del agregado (kg/m <sup>3</sup> )	Corrección por Humedad (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (9 probetas) kg
Cemento Portland Compuesto Típico ICO	367.38	367.38	17.53
A. Fino	799.18	804.37	38.38
A. Grueso	994.61	997.70	47.60
Agua	205.00	210.31	10.03
Cenizas Volantes (5% Cement. Port. ICO)		36.74	1.75
Total	2366.17	2416.50	115.30

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.4. Diseño de mezcla Patrón + Ceniza Volante de Carbón (20%).

Se elaboró un concreto de acuerdo al método de diseño de mezclas del comité ACI 211, obteniéndose la siguiente dosificación para un Concreto Patrón, con un porcentaje de Ceniza Volante de Carbón del 20 % del peso del Cemento.

Tabla 31

*Dosificación del concreto con 20% de ceniza volante de carbón*

Descripción	Pesos secos del agregado (kg/m <sup>3</sup> )	Corrección por Humedad (kg/m <sup>3</sup> )	Tanda (9 probetas) kg
Cemento Portland Compuesto Típico ICO	367.38	367.38	17.53
A. Fino	799.18	804.37	38.38
A. Grueso	994.61	997.70	47.60
Agua	205.00	210.31	10.03
Cenizas Volantes (5% Cement. Port. ICO)		73.48	3.51
Total	2366.17	2453.24	117.05

Fuente: Elaboración Propia



### **4.3. Ensayo de consistencia.**

Se realizaron 2 veces el ensayo de consistencia para medir el slump del concreto, cada muestra con diferentes porcentajes de adición de cenizas volantes de carbón.

Se colocó la tanda de concreto directamente en un buggy, respetando los tiempos establecidos según la norma peruana, para después llenar la muestra en el molde cónico y una vez retirada el molde cuidadosamente en forma vertical se midió el asentamiento del concreto. El resultado para cada caso de adición de CVC, conservando la cantidad de agua según el diseño de mezcla, se promedió dando lugar a los siguientes resultados:

Al adicionarle 5% de CV el slump aumenta de 2.0 a 2.4 pulg, al añadirle 10% de CV el slump promedio se reduce a 1.40 pulg, mientras que al adicionarle 20% de CV este disminuye considerablemente a 0.76 pulg. Por lo tanto, la adición del 5% de CV aumenta la manejabilidad, mientras que las adiciones del 10 y 20 % de CVC requerirá mayor aumento de agua si se quiere conservar el mismo revenimiento de la probeta patrón. Los resultados obtenidos se pueden observar en el Anexo 19.

### **4.4. Ensayo de temperatura**

La temperatura del concreto se midió mediante un termómetro de lectura instantánea en un buggy, preparado con anticipación y respetando los tiempos para su medición según las normas peruanas. El Recipiente donde se colocó el concreto, tuvo un recubrimiento mayor a 3 pulgadas (75 mm) en todas direcciones.

Se realizaron 2 mediciones para cada porcentaje de adición de CVC, obteniendo los siguientes resultados:

En la muestra patrón se obtuvo una temperatura promedio de 21.2 °C, agregando 5% de CV de carbón se obtuvo un promedio de 20.9°C, añadiendo 10% de CV de carbón se obtuvo 21.75 °C, mientras que al adicionarle 20% de CV de carbón se logró una temperatura de 22.6 °C en



promedio.

Según los resultados, el uso de las cenizas volantes de carbón, produce la reducción de la temperatura hasta un determinado límite. Según la medición realizada en laboratorio se produjo un descenso,  $-0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  agregando 5% de CV de carbón con respecto a la muestra patrón, en la adición del 10% de CV de carbón la temperatura aumenta a  $+0.55\text{ }^{\circ}\text{C}$  con respecto a la muestra patrón, y al adicionarle 20% de CV de carbón este aumenta a  $+1.4^{\circ}\text{C}$  con respecto a la muestra patrón.

Mayor a 10% de adición de CVC, aumenta el calor de hidratación del cemento, esto debido a que las cenizas volantes de carbón contienen sílice y aluminio según su composición química (actividad puzolana) y que al combinarse con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento este aumenta su calor pero en pequeñas cantidades, como se demuestra en los resultados obtenidos. La buena actividad puzolánica de las CVC también se ve influenciada tanto en la forma esférica y la finura de las partículas, puesto que estas pasan en su mayoría la malla de 45 micras (75.5%). Los resultados obtenidos se pueden observar en el Anexo 20.

#### **4.5. Ensayo de compresión**

En el presente capítulo, se muestran los cuadros comparativos de los análisis de los resultados de la resistencia a la compresión con diferentes niveles de porcentajes de cenizas volantes de carbón, en edades de 7, 14 y 28 días, el método usado para el diseño de mezcla fue el ACI.



**Dosificación de A/C: 0.558, con una resistencia de 210 Kg/cm<sup>2</sup>:**

Tabla 32

*Resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días, con 0%, 5%, 10 % y 20% de ceniza volante de carbón*

N° de Probetas	7 Días			
	0% CV	5% CV	10% CV	20% CV
1	167.00	188.00	195.00	179.00
2	163.00	190.00	205.00	182.00
3	165.00	179.00	200.00	185.00
Promedio	165.00	186.00	200.00	182.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 33

*Resultados de la resistencia a la compresión a los 14 días, con 0%, 5%, 10 % y 20 % de ceniza volante de carbón*

N° de Probetas	14 Días			
	0% CV	5% CV	10% CV	20% CV
1	196.00	217.00	220.00	199.00
2	189.00	187.00	215.00	201.00
3	190.00	200.00	217.00	198.00
Promedio	192.00	201.00	217.00	199.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34

*Resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días, con 0%, 5% ,10 % y 20% de ceniza volante de carbón*

N° de Probetas	28 Días			
	0% CV	5% CV	10% CV	20% CV
1	215.00	210.00	230.00	218.00
2	219.00	225.00	225.00	215.00
3	211.00	230.00	233.00	225.00
Promedio	215.00	222.00	229.00	220.00

Fuente: Elaboración Propia

Se muestra a continuación la tabla y gráfico comparativo de la resistencia promedio.

Tabla 35

*Resistencia Promedio con diferentes porcentajes de ceniza volantes de carbón.  
Edad: 7 días.*

Cantidad de Cenizas Volantes	Resistencia Promedio
0% CV	165
5% CV	186
10% CV	200
20% CV	182

Fuente: Elaboración Propia



Figura 34. Porcentajes de ceniza volante vs Resistencia Promedio a los 7 días

Se puede apreciar en la figura 34 que a los 7 días se obtuvo un aumento del 12.7% con respecto de la probeta patrón añadiendo 5 % de ceniza volante de carbón.

Así mismo se obtuvo un aumento del 21.2 % de la resistencia patrón añadiendo 10 % de ceniza volante y 10.3 % adicionando 20 % de ceniza volante de carbón.

Tabla 36

Resistencia promedio con diferentes porcentajes de cenizas volantes de carbón.

Edad: 14 días.

Cantidad de Cenizas Volantes	Resistencia Promedio
0% CV	192
5% CV	201
10% CV	217
20% CV	199

Fuente: Elaboración Propia



Figura 35. Porcentajes de ceniza volante vs Resistencia Promedio a los 14 días

Se puede apreciar que en la figura 35 a los 14 días se obtuvo un aumento del 4.688 % con respecto de la probeta patrón añadiendo 5 % de ceniza volante de carbón.

Así mismo se obtuvo un aumento del 13.021% de la resistencia patrón añadiendo 10 % de ceniza volante y 3.646 % adicionando 20 % de ceniza volante de carbón.

Tabla 37

*Resistencia promedio con diferentes porcentajes de cenizas volantes de carbón.*

*Edad: 28 días*

Cantidad de Cenizas Volantes	Resistencia Promedio
0% CV	215
5% CV	222
10% CV	229
20% CV	220

Fuente: Elaboración Propia

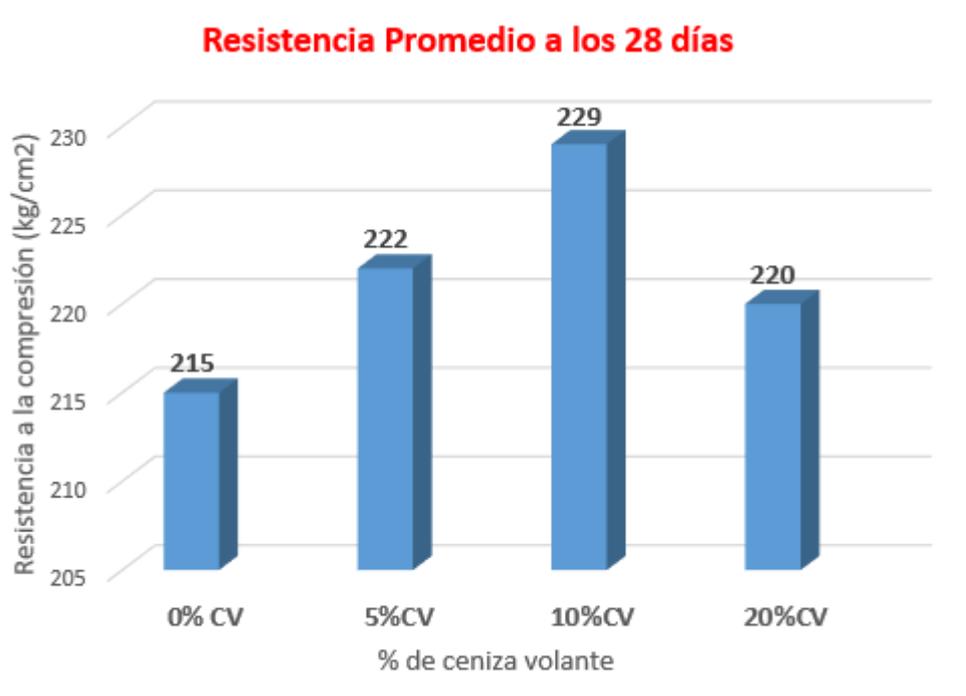


Figura 36. Porcentaje de ceniza volante vs Resistencia Promedio a los 28 días

Se puede apreciar que en la figura 36 a los 28 días se obtuvo un aumento del 3.256 % con respecto de la probeta patrón añadiendo 5 % de ceniza volante de carbón.

Así mismo se obtuvo un aumento del 6.512 % de la resistencia patrón añadiendo 10 % de ceniza volante y 2.326 % adicionando 20 % de ceniza volante de carbón.

Como podemos observar en los resultados a los 7, 14 y 28 días las probetas de concreto con



5%,10% y 20% de ceniza volante de carbón alcanzan mayores resistencias, por lo tanto, se puede decir que las cenizas volantes de carbón pueden contribuir a mejorar la resistencia a la compresión del concreto a edades tan tempranas como los 28 días, siendo el más favorable el 10 % de ceniza volante.

#### 4.6. Ensayo de absorción

A continuación, se muestran los cuadros comparativos y gráficos de los análisis de absorción por succión capilar con diferentes porcentajes de cenizas volantes de carbón a la edad de 28 días.

##### **Dosificación de A/C 0.558: con una resistencia de 210 Kg/cm2:**

Tabla 38  
*Capacidad promedio de Absorción (gr/m2)*

Tiempo (horas)	Tiempo Seg <sup>(1/2)</sup>	CV 0%	CV 5%	CV 10%	CV 20%
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	42.43	2.12	1.91	1.91	1.70
1	60.00	2.97	2.97	2.55	2.12
2	84.85	3.61	3.40	3.18	2.33
3	103.92	4.24	4.03	3.61	2.76
4	120.00	4.67	4.03	3.82	2.97
5	134.16	5.09	4.46	4.03	3.18
6	146.97	5.31	4.67	4.24	3.40
24	293.94	6.79	5.73	5.31	4.03
48	415.69	7.22	6.58	6.15	5.09
72	509.12	7.22	6.79	6.15	5.52
96	587.88	7.22	6.79	6.15	5.52

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 39

Capacidad de succión capilar con diferentes porcentajes de cenizas volantes de carbón.

Edad: 28 días

Cantidad de Cenizas Volantes	Capacidad de succión en gr/m <sup>2</sup>
0% CV	7.215
5% CV	6.791
10% CV	6.154
20% CV	5.517

Fuente: Elaboración Propia

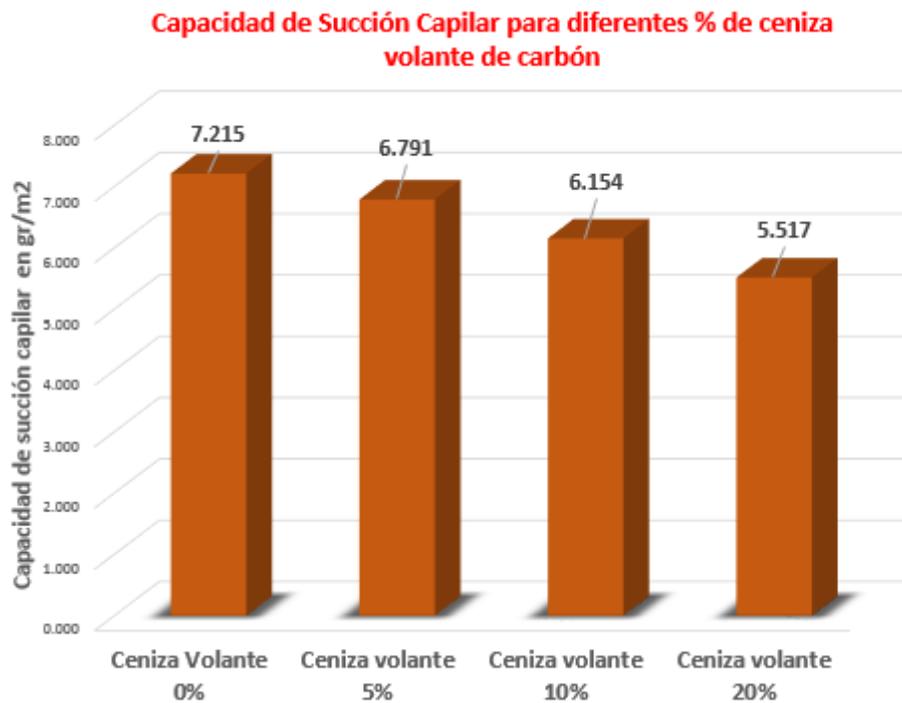


Figura 37. Porcentajes de ceniza volante vs Capacidad de succión capilar

En la figura 37 se puede apreciar que la capacidad de succión disminuye en un 5.877% añadiendo 5% de ceniza volante, así mismo se reduce en un 14.705% añadiendo 10% de ceniza volante y 23.534% con 20% de ceniza volante de carbón.

Tabla 40

Velocidad de succión capilar con diferentes porcentajes de cenizas volantes de carbón.  
Edad: 28 días

Cantidad de Cenizas Volantes	Velocidad de succión capilar del Concreto (S) en $\text{gr/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$
0% CV	0.01
5% CV	0.0093
10% CV	0.0085
20% CV	0.0078

Fuente: Elaboración Propia

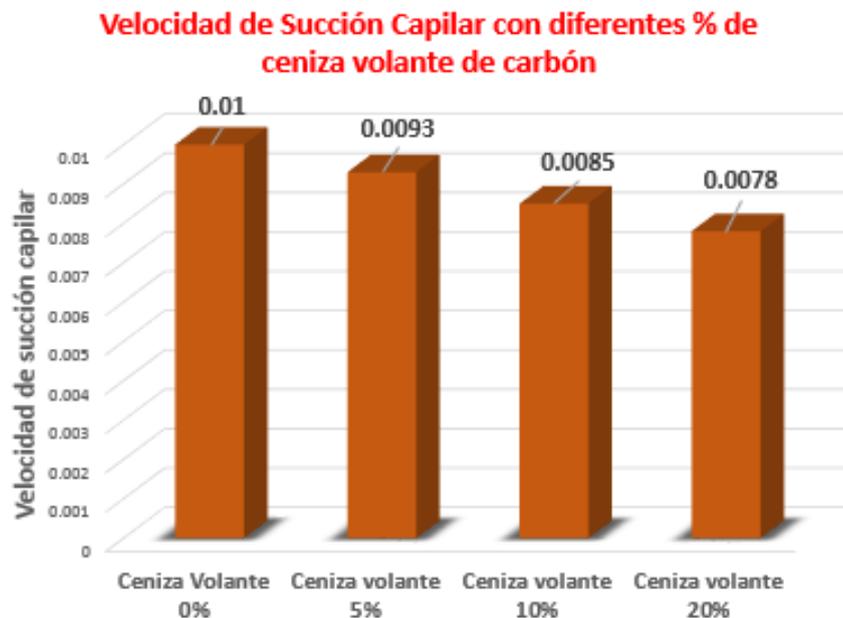


Figura 38. Porcentajes de ceniza volante vs Velocidad de Succión Capilar

En la figura 38 se puede apreciar que la velocidad de succión disminuye en un 7% añadiendo 5% de ceniza volante a la mezcla, así mismo se reduce en un 15% añadiendo 10% de ceniza volante y 22% con 20% de ceniza volante de carbón.

. Podemos decir que los concretos que incorporan este tipo de residuo como son las cenizas volantes de carbón logran excelente propiedades mecánicas y mayor durabilidad por su resistencia a los agresivos ácidos y a la reacción árido-álcali; sin embargo, es necesario tener



en cuenta que la reacción de hidratación de la ceniza volante es más lenta que la del cemento Portland, por ello, se obtiene mejores resultados en periodos de tiempo más largo.

#### 4.7. Evaluación estadística de los resultados de ensayos de resistencia a la compresión.

De los resultados obtenidos, se procederá a determinar estadísticamente la desviación estándar y la probabilidad de ocurrencia de las diferentes variaciones de la resistencia del concreto. El análisis se centró básicamente en la elaboración de probetas de concreto con adición del 10% de CV de carbón, siendo ésta resultado de la mayor resistencia obtenida en el laboratorio.

##### *Promedio General.*

Es la suma aritmética de los resultados de resistencias de todas las pruebas individuales.

Tabla 41  
*Resultado de ensayos de resistencia a la compresión*

Nº de Ensayo	VALOR PROMEDIO DE 2 PROBETAS (KG/CM2)	PROMEDIO DE 3 ENSAYOS	Xi-X	(Xi-X) <sup>2</sup>
1	230		2.2	4.84
2	225		-2.8	7.84
3	233	229.333	5.2	27.04
4	229	229.000	1.2	1.44
5	223	228.333	-4.8	23.04
6	231	227.667	3.2	10.24
7	228	227.333	0.2	0.04
8	235	231.333	7.2	51.84
9	225.5	229.500	-2.3	5.29
10	224	228.167	-3.8	14.44
11	232	227.167	4.2	17.64
12	220	225.333	-7.8	60.84
13	221.5	224.500	-6.3	39.69
14	232	224.500	4.2	17.64
15	228	227.167	0.2	0.04
<b>Suma</b>	3417			281.9

Fuente: Elaboración Propia



Calculando la resistencia promedio:

$$X_{prom} = \frac{\sum \text{Resistencias}}{n}$$

$$X_{prom} = 227.8 \text{ kg/cm}^2$$

### ***Desviación estándar.***

Es una medida de la dispersión de los datos alrededor del valor medio. El concreto debe asegurar una resistencia promedio a la compresión y debe ser lo suficientemente alta para minimizar la frecuencia de los resultados en la prueba de resistencia.

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

$$s = 4.49$$

### ***Coefficiente de variación.***

Nos indica que tan dispersos están los resultados. Valores altos de V o Ds se interpretan como resultados muy alejados del promedio, lo cual representa una baja calidad de la mezcla, pero si fuera un valor pequeño entonces tiende a ser uniforme la mezcla.

$$V = \frac{Ds}{X_{prom}} \times 100$$

$$V = 1.97\%$$

### ***Cálculo de f'cR***

1. El promedio de todos los grupos de tres ensayos de resistencia en compresión consecutivos (grupo de 6 testigos) es  $\geq$  que f'c

$$f'cR = f'c + 1.34 * \alpha * Ds$$

$\alpha = 1.16$  según la tabla 42.



$$f'cR = 216.975$$

Tabla 42  
*Incremento de valores de desviación estándar cuando se tienen menos de 30 ensayos*

Nº de ensayos	factor de incremento
Menos de 15	Usar Tabla 53
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o mas	1

Fuente: Típicos de Tecnología del Concreto. Pasquel E. (1999).

Tabla 43  
*Aplicable cuando no se dispone de resultados para definir la desviación estándar*

f'cr especificado	f'cr (Kg/cm2)
Menos de 210	f'c+70
210 a 350	f'c+84
Mayor de 350	f'c+98

Fuente: Típicos de Tecnología del Concreto. Pasquel E. (1999).

2. Ningún ensayo de resistencia (Promedio de dos testigos) debe ser menor de f'c en más de 35 kg/cm2.

$$f'cR = f'c - 2.33 * \alpha * Ds$$

$$f'cR = 187.128$$

Escogemos el mayor del punto 1 y 2.

$$f'cR = 216.975$$

Calculamos el valor de "t"

$$t = \frac{X_{prom}-210}{Ds}$$

$$t = 3.96$$

**Distribución normal (campana de gauss).**



Es una distribución de probabilidad de variable continua que detalla los datos que se agrupan en torno a un valor central.

$$Y = \frac{1}{D_s \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{X - X_{prom}}{D_s} \right)^2}$$

Donde  $A = \frac{1}{D_s \sqrt{2\pi}}$

$$B = e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{X - X_{prom}}{D_s} \right)^2}$$

Tabla 44  
*Distribución normal*

Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	A	B	Y	(Y) Escalado por 600
230	0.089	0.887	0.079	39.419
225	0.089	0.823	0.073	36.589
233	0.089	0.511	0.045	22.714
229	0.089	0.965	0.086	42.891
223	0.089	0.564	0.050	25.086
231	0.089	0.775	0.069	34.472
228	0.089	0.999	0.089	44.408
235	0.089	0.276	0.025	12.270
225.5	0.089	0.877	0.078	38.981
224	0.089	0.699	0.062	31.058
232	0.089	0.645	0.057	28.686
220	0.089	0.221	0.020	9.813
221.5	0.089	0.373	0.033	16.591
232	0.089	0.645	0.057	28.686
228	0.089	0.999	0.089	44.408

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45  
*Valores de dispersión en el control del cemento*



Clase de operación	Desviación estándar para diferentes grados de control (Kg/cm <sup>2</sup> )				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	>49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	>24.6
Dispersión entre testigos					
Clase de operación	Coeficiente de variación V para diferentes grados de control (%)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	>6.0
Concreto en Laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	>5.0

Fuente: Típicos de Tecnología del Concreto. Pasquel E. (1999).

Tabla 46  
Valores de t

% de pruebas dentro de los límites $\mu \pm tDs$	Probabilidad de ocurrencia por debajo del límite inferior	t
40.00	3 en 10	0.52
50.00	2.5 en 10	0.67
60.00	2 en 10	0.84
68.27	2 en 10	1.00
70.00	1 en 6.3	1.04
80.00	1.5 en 10	1.28
90.00	1 en 20	1.65
95.00	1 en 40	1.98
95.45	1 en 44	2.00
98.00	1 en 100	2.33
99.00	1 en 200	2.58
99.73	1 en 741	3.00

Fuente: Típicos de Tecnología del Concreto. Pasquel E. (1999).

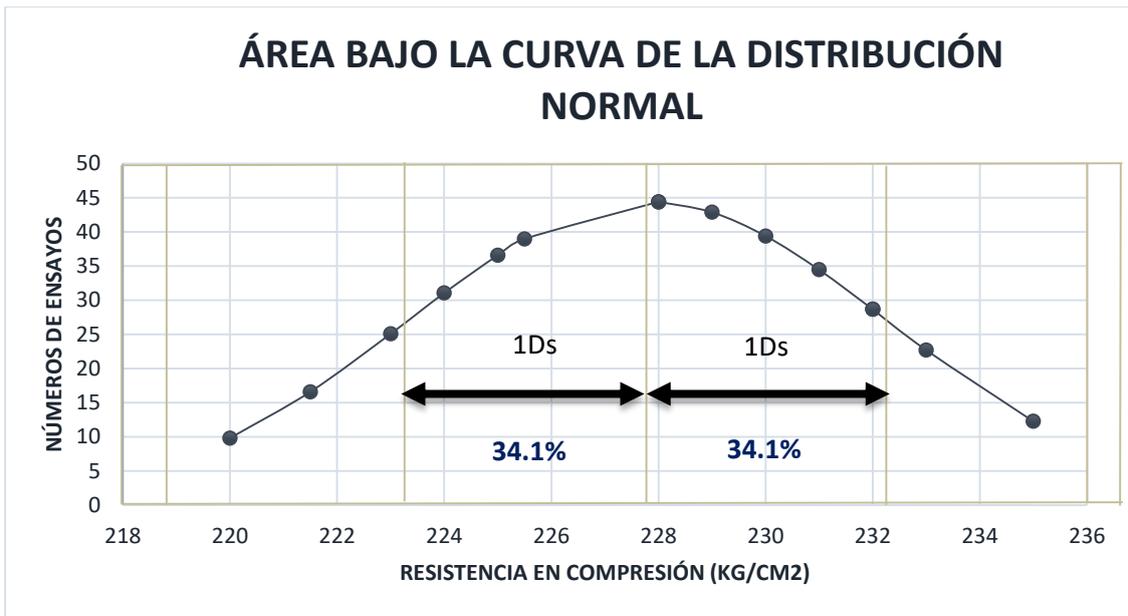


Figura 39. Valores para la distribución normal

Los valores obtenidos dan una curva de puntos que representa mejor uniformidad (calidad).



**TESIS: “USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21–MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.**

---

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

En esta tesis se han estudiado los efectos de la adición de las cenizas volantes de carbón en las propiedades mecánicas y físicas del concreto, con el fin de aportar resultados que ayuden a comprender la influencia de las cenizas de la central termoeléctrica ILO 21 en el concreto. Se emplearon diferentes porcentajes de ceniza volantes de carbón (5%,10% y 20%) añadidos al concreto la cual fueron estudiados bajo una gama de ensayos entre ellos manejabilidad, temperatura, resistencia a la compresión y absorción.

A continuación, se exponen las diferentes conclusiones y recomendaciones extraídas de los resultados de esta tesis.

### 5.1. Conclusiones

- A partir de los datos obtenidos se concluye que las cenizas volantes de carbón en porcentajes del 5%,10% y 20 % como adición, mejora las propiedades de resistencia y durabilidad del concreto.
- Según la composición química las cenizas volantes de carbón de la central termoeléctrica ILO 21- Moquegua presentan propiedades puzolánicas así mismo al tener un PH altamente alcalino no contribuye a la carbonatación.
- Los resultados obtenidos demuestran que la adición de las cenizas volantes de carbón al concreto en porcentajes de 5, 10 y 20 %, mejoran el desarrollo de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado, siendo el más favorable el 10 % de adición.
- Los resultados obtenidos demuestran que en los diferentes concretos, la velocidad y capacidad de succión capilar disminuyen con el aumento de la adición en 5, 10 y 20 % de ceniza volante de carbón, haciendo al concreto más impermeable y por lo tanto durable.



- La variación de temperatura del concreto con adición del 5%, 10% y 20% de CVC con respecto a la patrón, no fue relevante ,siendo éstas aceptables dentro del rango de la norma ASTM C1064 , asegurando así la calidad del concreto.
- Al analizar la manejabilidad del concreto patrón agregándole diferentes porcentajes de cenizas volantes de carbón, pero conservando la misma cantidad de agua según el diseño de mezcla se concluye que la adición del 5 % CV es la óptima para aumentar su trabajabilidad.
- Al agregar el 10% de cenizas volantes de carbón, existe una probabilidad del 100% que las resistencias obtenidas sean mayores a la de diseño comprendidas entre 215 kg/cm<sup>2</sup> y 241 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

## 5.2. Recomendaciones

- Además, como complemento de los estudios de durabilidad, se propone abordar el estudio de corrosión de las armaduras del concreto fabricado con cenizas volantes de carbón como adición.
- Extender los estudios expuestos en esta tesis al estudio de nuevas propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido, tales como resistencia a la flexión, permeabilidad, contenido de aire, peso unitario.
- Con la adición de la ceniza volante de carbón en el concreto, se recomienda su aplicación en obras de canales, reservorios, cisternas, cimentaciones y uso en general donde se requiera baja permeabilidad.
- Para futuras investigaciones se recomienda evaluar las propiedades mecánicas del



concreto manteniendo una consistencia plástica de diseño con porcentajes de cvc mayores al 5%.

- Realizar otros ensayos como la porosidad, resistencia a sulfatos y ataque-s de cloruro con el fin de complementar con los resultados obtenidos en la absorción por capilaridad.



**TESIS: “USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21–MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.**

---

## **CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



## Capítulo VI: Referencias Bibliográficas

- ACI 211. (1905). *American Concrete Institute*. Estado Unidos .
- Camacho, M. (2017). *Análisis de las características mecánicas del concreto convencional usando agregado global del río Bado Huamachuco-La Libertad y aditivo Chema 3* (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Carbajal, E. P. (1999). *TÓPICOS DE TENOLOGÍA DEL CONCRETO EN EL PERÚ* (Segunda ed.). Lima, Perú.
- Castro, A. R. (2013). *La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Cemento Portland*. (4 de Octubre de 2018). Obtenido de Wikipedia, La enciclopedia libre: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cemento\\_Portland&oldid=111055649](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cemento_Portland&oldid=111055649)
- Chambilla, J. C. (s.f.). *Edoc*. Obtenido de <https://edoc.site/tesis-agregados-pdf-free.html>
- Charo, E. C. (2013). Obtenido de [http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/laboratorio\\_n%BA\\_7\\_eq.pdf](http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/laboratorio_n%BA_7_eq.pdf)
- Collantes, R. d. (2012). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Contreras K., y Peña V. (2017). *Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla* (tesis de pregrado). Universidad privada del Norte, Trujillo, Perú.
- Días, O. (s.f). Prueba colorimetría para determinar contenido de materia orgánica en arena de río. Obtenido de <https://www.academia.edu/29798316/PRUEBA>
- Hernández, H., y Hernández C. (1999). *Estudio de las características físico – mecánicas en adoquines de concreto fabricados con arena caliza y arena de rio* (tesis de pregrado).



Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

INACAL. (14 de Enero de 2015). Norma Técnica Peruana 339.088.CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland. Requisitos . Lima, Perú.

Isaia G.C., y Gastaldini A.L.G. (2009). *Concrete sustainability with very high amount of fly ash and slag*. Ibracon de Estruturas e Materiais, 2(3), 244-253. Recuperado de [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1983-1952009000300003&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1983-1952009000300003&script=sci_abstract).

Lopez, E. R. (1992). *Diseño de mezclas*. Lima.

López, E. R. (2012). *Diseño de mezclas*. Lima, Perú.

Marcelo F. (2009). *Absorción por succión capilar del hormigón*. Recuperado de [https://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/10/Tesis2009\\_Cristian-Sakurai.pdf](https://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/10/Tesis2009_Cristian-Sakurai.pdf).

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*, Perú.

Normas de la Asociación American para el Ensayo de Materiales. (s.f.). 04.03, 10.

Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales. (s.f.). 04.03, 11.

Omar Molina Bas (2008). *La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento portland en la durabilidad del hormigón* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España.

Pacasmayo. (20 de Setiembre de 2017). Cemento Portland Compuesto Tipo ICo. Pacasmayo , Perú.

Pasquel, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto*. Lima: CIP Consejo Nacional.

Pérez, R. (2012). *Estabilizacion de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.



Quilla R. (2013). *Plantas de Generación Térmica, Central térmica Ilo II*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.

Quiroz R. (2005). *Evaluación energética y económica de la central térmica a carbón ilo21* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Rivva, E. (1992). *Diseño de mezclas*. Lima: Editorial Hozlo S.C.R.L.

Rivva, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto*. Lima: Aci Perú.

Sanjuán, M., & Chinchón, S. (2014). *Intrudcción a la fabricación y normalización del cemento portland*. Alicante, España: Universidad de Alicante.

SENSICO. (2009). Norma Técnica de Edificación E.060, Concreto Armado. *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú.

Wikipedia. (s.f.). *Cenizas volantes de carbón*. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Cenizas\\_volantes](https://es.wikipedia.org/wiki/Cenizas_volantes).

Zuñiga, O. (23 de junio de 2013). Obtenido de <http://omard10.blogspot.com/2013/06/compuestos-principales-del-cemento.html>



**TESIS: “USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21–MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.**

---

## **ANEXOS**



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".

## ANEXOS

### ANEXO N° 01: CERTIFICADO DE CALIDAD DEL CEMENTO

#### PORTLAND 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. 866 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000



#### CEMENTO EXTRAFORTE

##### Cemento Portland Compuesto Tipo ICo

Conforme a la NTP 334.090

Pacasmayo, 20 de Setiembre del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.090
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO3	%	2.4	Máximo 4.0

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.090
Contenido de Aire	%	5	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.06	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	5440	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	3.6	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	2.96	NO ESPECIFICA

##### Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	20.2 (206)	Mínimo 13.0 (Mínimo 133)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	25.9 (264)	Mínimo 20.0 (Mínimo 204)
Resistencia Compresión a 28días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	32.9 (335)	Mínimo 25.0 (Mínimo 255)

##### Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	124	Mínimo 45
Fraguado Final	min	254	Máximo 420

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.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANEXO N° 02: MÓDULO DE FINURA DE LAS CENIZAS VOLANTES DEL  
CARBÓN - ASTM C 430**

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

**CALIBRACION DEL TAMIZ DE 45 um (N. 325)**

1.- Residuo sobre el tamiz de 45 um utilizando como muestra patrón ( cemento tipo 1)	3.60%	
2.-residuo para 1g de muestra	0.036	
3.-Residuo sobre el tamiz que se calibra	0.043082	
Diferencia	-0.007082	
Factor de corrección	-16.438	-16.4

Para 1 kg de cemento se obtuvo un retenido de 43.082 gramos.

**CÁLCULO DE LA FINURA DE LA CENIZA , COMO SIGUE:**

$$Rc = Rs * ( 100 + C)$$

$$F= 100 - Rc$$

**Dónde:**

**F=** Finura del cemento expresado como el porcentaje corregido que pasa por el tamiz de 45 um (N.325)

**Rc=** Residuo corregido, %

**Rs=**Residuo de la muestra retenida sobre el tamiz de 45 um en gramos

**C=**Factor de corrección del tamiz, el cual puede ser positivo o negativo.

Factor de corrección del tamiz, C	-16.4 %
Residuo de la muestra de ensayo	0.293 gramos
Residuo de corrección, Rc	24.5 %

Cantidad corregida que pasa , F 100% - Rc = 75.5 %

% retenido en el tamiz de 45 micras 24.5 %

Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 03: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - NTP 400.012

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**MUESTRA:** ARENA GRUESA

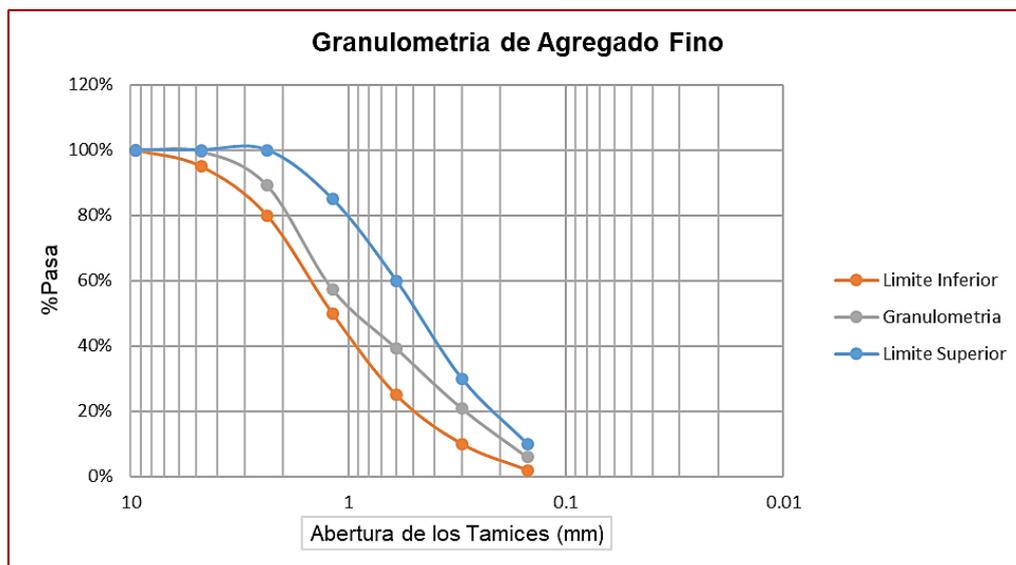
**CANTERA:** SAMANCO

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

GRANULOMETRIA DE AGREGADOS FINOS					
MASA INICIAL					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa Retenida Corregida (gr)	%Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasa
3/8"	9.5	0.0000	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	4.75	5.2500	0.41%	0.41%	99.59%
N°8	2.36	132.2500	10.32%	10.73%	89.27%
N°16	1.18	408.2500	31.84%	42.57%	57.43%
N°30	0.6	232.2500	18.12%	60.69%	39.31%
N°50	0.3	236.2500	18.43%	79.11%	20.89%
N°100	0.15	191.2500	14.92%	94.03%	5.97%
N°200	0.075	62.2500	4.86%	98.89%	1.11%
Fondo		14.2500	1.11%	100.00%	0.00%
Sumatoria		1282			



Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 04: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - NTP 400.012

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**MUESTRA:** PIEDRA SARANDEADA

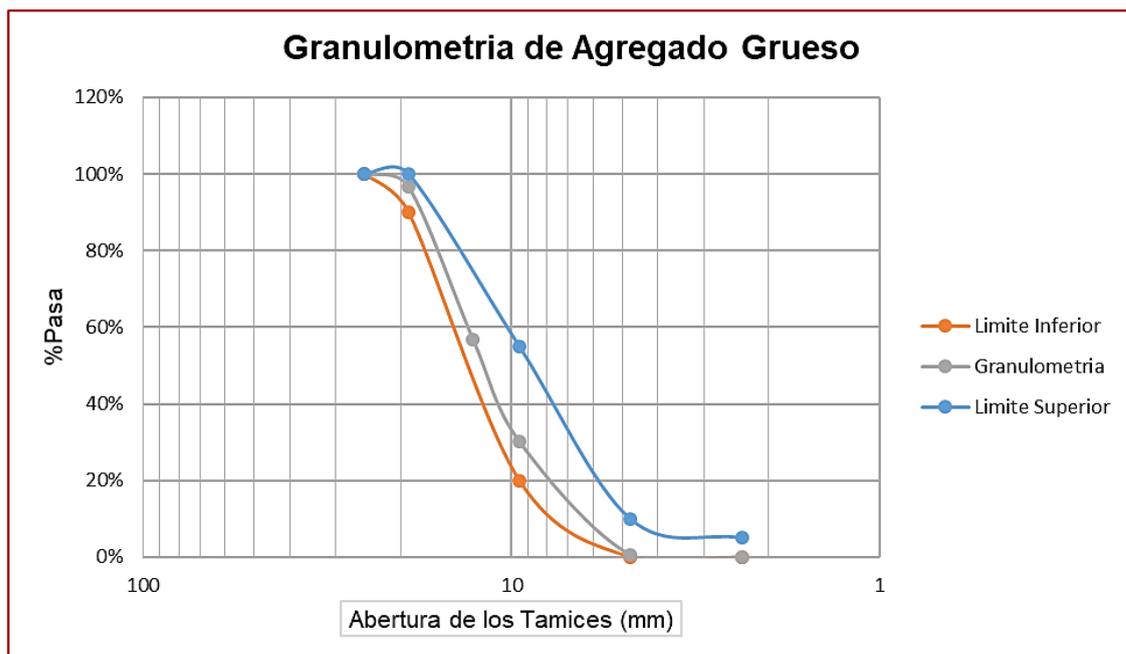
**CANTERA:** SAMANCO

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO					
MASA INICIAL					
Tamiz	Abertura (mm)	Masa Retenida Corregida (gr)	%Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasa
2"	50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19	92.60	3.42%	3.42%	96.58%
1/2"	12.7	1075.60	39.70%	43.12%	56.88%
3/8"	9.5	723.60	26.71%	69.83%	30.17%
N°4	4.75	798.60	29.48%	99.31%	0.69%
Fondo		18.60	0.69%	100.00%	0.00%
	Sumatoria	2709			



Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 05: CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

N.T.P 339.185

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

$$\%W = \frac{Wh - Ws}{Ws} * 100$$

TARA	PIEDRA DE TMN 3/4"		
	1	2	3
PESO DE LA TARA (KG)	26.61	27.67	27.89
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + TARA (g)	81.51	82.07	64.16
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA (g)	81.35	81.87	64.07
PESO DEL AGUA (g)	0.17	0.20	0.10
PESO DE LA MUESTRA SECA (g)	54.73	54.20	36.17
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.31	0.36	0.26
PROMEDIO (%)	<b>0.31</b>		

Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 06: CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO N.T.P

339.185

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

$$\%W = \frac{Wh - Ws}{Ws} * 100$$

TARA	PIEDRA DE TMN 3/4"		
	4	5	6
PESO DE LA TARA (KG)	28.21	28.11	27.87
PESO DE LA MUESTRA HÚMEDA + TARA (g)	117.34	90.28	108.47
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA (g)	116.77	89.88	107.94
PESO DEL AGUA (g)	0.57	0.40	0.53
PESO DE LA MUESTRA SECA (g)	88.56	61.77	80.07
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.64	0.65	0.66
PROMEDIO (%)	<b>0.65</b>		

Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 07: PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO NTP 400.017

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**MUESTRA:** ARENA GRUESA

**CANTERA:** SAMANCO

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

DATOS TECNICOS		
VOLUMEN DEL MOLDE	L=0.14m A=0.139m H=0.139m	V = 0.0027m <sup>3</sup>
PESO DEL MOLDE	2.11 Kg	

Cantidad Muestras	Peso del Molde (Kg)	Volumen del Molde Interno (m <sup>3</sup> )	Peso Seco de la Muestra (Kg)	Peso Unitario Suelto Seco de la Muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	PROMEDIO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2.11	0.00270494	4.021	1.486	1.485
2	2.11	0.00270494	4.016	1.485	
3	2.11	0.00270494	4.013	1.484	

Cantidad Muestras	Peso del Molde (Kg)	Volumen del Molde Interno (m <sup>3</sup> )	Peso Seco de la Muestra (Kg)	Peso Unitario Compactado Seco de la Muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	PROMEDIO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2.11	0.00270494	4.565	1.688	1.696
2	2.11	0.00270494	4.605	1.702	
3	2.11	0.00270494	4.591	1.697	

Fuente: Elaboración propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 08: PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO NTP 400.017

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**MUESTRA:** ARENA GRUESA

**CANTERA:** SAMANCO

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

DATOS TECNICOS		
VOLUMEN DEL MOLDE	L=0.181m A=0.159m H=0.282m	V = 0.0081m <sup>3</sup>
PESO DEL MOLDE	2.958Kg	

Cantidad Muestras	Peso del Molde (Kg)	Volumen del Molde Interno (m <sup>3</sup> )	Peso Seco de la Muestra (Kg)	Peso Unitario Suelto Seco de la Muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	PROMEDIO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2.958	0.008115678	11.959	1.474	1.482
2	2.958	0.008115678	12.178	1.501	
3	2.958	0.008115678	11.953	1.473	

Cantidad Muestras	Peso del Molde (Kg)	Volumen del Molde Interno (m <sup>3</sup> )	Peso Seco de la Muestra (Kg)	Peso Unitario Compactado Seco de la Muestra (gr/cm <sup>3</sup> )	PROMEDIO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2.958	0.008115678	13.062	1.609	1.625
2	2.958	0.008115678	13.351	1.645	
3	2.958	0.008115678	13.151	1.620	

Fuente: Elaboración propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 09: PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO NTP 400.022

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**MUESTRA:** ARENA GRUESA

**CANTERA:** SAMANCO

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

ENSAYO	
S = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	500.00
A = Peso de la muestra seca (gr)	494.35
B = Peso del picnómetro + agua (gr)	671.11
C = Peso del picnómetro + muestra saturada superficialmente seca + agua (gr)	986.94
a) Densidad relativa(Gravedad específica) (OD)= $A/(B+S-C)$	2.68
b) Densidad relativa (Gravedad específica) (SSD) = $S/(B+S-C)$	2.71
c) Densidad relativa aparente = $A/(B+A-C)$	2.77
Absorción (%) = $((S-A)/A)*100$	1.14

Fuente: Elaboración propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 10: PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO NTP 400.021

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**MUESTRA:** PIEDRA TMN 3/4"

**CANTERA:** SAMANCO

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

ENSAYO	
A= PESO DE LA MUESTRA SECA EN EL AIRE (g)	2209.000
B=PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN EL AIRE (g)	2219.000
C=PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA SATURADA(g)	1437.000
<b>PESO ESPECÍFICO DE LA MASA (PeM)= A/(B-C)</b>	<b>2.82</b>
<b>PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (PeMSS) = B/(B-C)</b>	<b>2.84</b>
<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE (Pea)= A/(A-C)</b>	<b>2.86</b>
<b>ABSORCIÓN (Ab%) = ((B-A)/A)*100</b>	<b>0.45</b>

Fuente: Elaboración propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 11: DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRÓN

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

#### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Descripción	A. Fino	A. Grueso	Desc.	Obtención de resultados Técnicos ACI
P. Unitario suelto seco	1485.00 Kg/m <sup>3</sup>	1482.00 Kg/m <sup>3</sup>	Peso específico	
P. Unitario Compactado seco	1696.00 Kg/m <sup>3</sup>	1625.00 Kg/m <sup>3</sup>	Cemento Portland Compuesto Tipo ICO (gr/cm <sup>3</sup> )	2.96
P. Específico Masa seca	2.68 gr/cm <sup>3</sup>	2.82 gr/cm <sup>3</sup>	Relación a/c	0.558
Contenido de Humedad	0.65 %	0.31 %	Factor Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	367.384
% de Absorción	1.14 %	0.45 %	Asentamiento (pulg)	3"-4"
Módulo de fineza	2.88		Cantidad de Agr. Grueso	0.612
Tamaño Máximo nominal		3/4 "		

DESC.	Vol.Abs.Materiales (m <sup>3</sup> )	Pesos secos del agregado (kg/m <sup>3</sup> )	Corrección por Humedad (kg/m <sup>3</sup> )	Proporción en peso
Cemento Portland Compuesto Tipo ICO	0.1241	367.384	367.38	1
A. Fino	0.2982	799.176	804.37	2.19
A. Grueso	0.3527	994.614	997.70	2.72
Agua	0.205	205	210.31	24.33
Aire	0.02			
Ceniza Volante (0% Cement. Port. ICO)	0.00		0.00	-----
TOTAL	1.00	2366.17	2379.76	

Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 12: DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRÓN + 5% CENIZA VOLANTE DE CARBÓN

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

#### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Descripción	A. Fino	A. Grueso	Desc.	Obtención de resultados Técnicos ACI
P. Unitario suelto seco	1485.00 Kg/m <sup>3</sup>	1482.00 Kg/m <sup>3</sup>	Peso específico Cemento Portland Compuesto Tipo ICO (gr/cm <sup>3</sup> ) Relación a/c Factor Cemento (Kg/m <sup>3</sup> ) Asentamiento (pulg) Cantidad de Agr. Grueso	2.96 0.558 367.384 3"-4" 0.612
P. Unitario Compactado seco	1696.00 Kg/m <sup>3</sup>	1625.00 Kg/m <sup>3</sup>		
P. Específico Masa seca	2.68 gr/cm <sup>3</sup>	2.82 gr/cm <sup>3</sup>		
Contenido de Humedad	0.65 %	0.31 %		
% de Absorción	1.14 %	0.45 %		
Módulo de fineza	2.88			
Tamaño Máximo nominal		3/4 "		

DESC.	Vol.Abs.Materiales (m <sup>3</sup> )	Pesos secos del agregado (kg/m <sup>3</sup> )	Corrección por Humedad (kg/m <sup>3</sup> )	Proporción en peso
Cemento Portland Compuesto Tipo ICO	0.1241	367.384	367.384	1
A. Fino	0.2982	799.176	804.371	2.19
A. Grueso	0.3527	994.614	997.697	2.72
Agua	0.205	205	210.308	24.33
Aire	0.02			-----
Ceniza Volante (5% Cement. Port. ICO)	0.01		18.37	
TOTAL	1.006	2366.17	2398.13	

Fuente: Elaboración Propia



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 13: DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRÓN + 10 % CENIZA VOLANTE DE CARBÓN

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

#### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Descripción	A. Fino	A. Grueso	Desc.	Obtención de resultados Técnicos ACI
P. Unitario suelto seco	1485.00 Kg/m <sup>3</sup>	1482.00 Kg/m <sup>3</sup>		
P. Unitario Compactado seco	1696.00 Kg/m <sup>3</sup>	1625.00 Kg/m <sup>3</sup>	Peso específico Cemento Portland Compuesto Tipo ICO (gr/cm <sup>3</sup> )	2.96
P. Específico Masa seca	2.68 gr/cm <sup>3</sup>	2.82 gr/cm <sup>3</sup>	Relación a/c	0.558
Contenido de Humedad	0.65 %	0.31 %	Factor Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	367.384
% de Absorción	1.14 %	0.45 %	Asentamiento (pulg)	3"-4"
Módulo de fineza	2.88		Cantidad de Agr. Grueso	0.612
Tamaño Máximo nominal		3/4 "		

DESC.	Vol.Abs.Materiales (m <sup>3</sup> )	Pesos secos del agregado (kg/m <sup>3</sup> )	Corrección por Humedad (kg/m <sup>3</sup> )	Proporción en peso
Cemento Portland Compuesto Tipo ICO	0.1241	367.384	367.384	1
A. Fino	0.2982	799.176	804.371	2.19
A. Grueso	0.3527	994.614	997.697	2.72
Agua	0.205	205	210.308	24.33
Aire	0.02			
Ceniza Volante (10% Cement. Port. ICO)	0.01		36.74	-----
TOTAL	1.012	2366.17	2416.50	

Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 14: DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRÓN +20% CENIZA VOLANTE DE CARBÓN

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

#### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

Descripción	A. Fino	A. Grueso	Desc.	Obtención de resultados Técnicos ACI
P. Unitario suelto seco	1485.00 Kg/m <sup>3</sup>	1482.00 Kg/m <sup>3</sup>		
P. Unitario Compactado seco	1696.00 Kg/m <sup>3</sup>	1625.00 Kg/m <sup>3</sup>	Peso específico Cemento Portland Compuesto Tipo ICO (gr/cm <sup>3</sup> )	2.96
P. Específico Masa seca	2.68 gr/cm <sup>3</sup>	2.82 gr/cm <sup>3</sup>	Relación a/c	0.558
Contenido de Humedad	0.65 %	0.31 %	Factor Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	367.384
% de Absorción	1.14 %	0.45 %	Asentamiento (pulg)	3"-4"
Módulo de fineza	2.88		Cantidad de Agr. Grueso	0.612
Tamaño Máximo nominal		3/4 "		

DESC.	Vol.Abs.Materiales (m <sup>3</sup> )	Pesos secos del agregado (kg/m <sup>3</sup> )	Corrección por Humedad (kg/m <sup>3</sup> )	Proporción en peso
Cemento Portland Compuesto Tipo ICO	0.1241	367.384	367.384	1
A. Fino	0.2982	799.176	804.371	2.19
A. Grueso	0.3527	994.614	997.697	2.72
Agua	0.205	205	210.308	24.33
Aire	0.02			
Ceniza Volante (20% Cement. Port. ICO)	0.02		73.48	-----
TOTAL	1.025	2366.17	2453.24	

Fuente: Elaboración Propia



TESIS: “USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21–MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXOS N° 15: FECHAS DE ELABORACIÓN, DESENCOFRADO Y ENSAYOS DE LAS PROBETAS PATRÓN - MTC E 702

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

Fechas de Elaboración, Desencofrado y Ensayos de la probeta patrón (15cm*30 cm)									
Fecha De Curado	7 días			14 días			28 días		
Denominación	PP7	PP8	PP9	PP4	PP5	PP6	PP1	PP2	PP3
Elaboración	26/07/2018	26/07/2018	26/07/2018	18/07/2018	18/07/2018	18/07/2018	17/07/2018	17/07/2018	17/07/2018
Temperatura y Manejabilidad	17/07/2018								
Desencofrado	27/07/2018	27/07/2018	27/07/2018	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018	18/07/2018	18/07/2018	18/07/2018
Ensayo a la compresión	02/08/2018	02/08/2018	02/08/2018	01/08/2018	01/08/2018	01/08/2018	14/08/2018	14/08/2018	14/08/2018

Probeta Patrón (10 cm*20 cm)			
Fecha De Curado	28 días		
Denominación	PP1	PP2	PP3
Elaboración	17/07/2018	17/07/2018	17/07/2018
Desencofrado	18/07/2018	18/07/2018	18/07/2018
Absorción	14/08/2018	14/08/2018	14/08/2018

Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXOS N° 16: FECHAS DE ELABORACIÓN, DESENCOFRADO Y ENSAYOS DE LAS PROBETAS PATRÓN + 5 % CENIZA VOLANTE DE CARBON - MTC E 702

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

Fechas de Elaboración, Desencofrado y Ensayos de la probeta patrón + 5 % de Ceniza Volante (15 cm*30 cm)									
Fecha De Curado	7 días			14 días			28 días		
Denominación	PP7+5%	PP8+5%	PP9+5%	PP4+5%	PP5+5%	PP6+5%	PP1+5%	PP2+5%	PP3+5%
Elaboración	30/07/2018	30/07/2018	30/07/2018	26/07/2018	26/07/2018	26/07/2018	23/07/2018	23/07/2018	23/07/2018
Temperatura y Manejabilidad	23/07/2018								
Desencofrado	31/07/2018	31/07/2018	31/07/2018	27/07/2018	27/07/2018	27/07/2018	24/07/2018	24/07/2018	24/07/2018
Ensayo a la compresión	06/08/2018	06/08/2018	06/08/2018	09/08/2018	09/08/2018	09/08/2018	20/08/2018	20/08/2018	20/08/2018

Probeta Patrón + 5 % de ceniza volante (10cm*20 cm)			
Fecha De Curado	28 días		
Denominación	PP1+5%	PP2+5%	PP3+5%
Elaboración	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018
Desencofrado	20/07/2018	20/07/2018	20/07/2018
Absorción	16/08/2018	16/08/2018	16/08/2018

Fuente: Elaboración Propia



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXOS N° 17: FECHAS DE ELABORACIÓN, DESENCOFRADO Y ENSAYOS DE LAS PROBETAS PATRÓN + 10 % CENIZA VOLANTE DE CARBON MTC E 702

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

Fechas de Elaboración, Desencofrado y Ensayos de la probeta patrón + 10 % de ceniza volante (15cm*30cm)									
Fecha De Curado	7 días			14 días			28 días		
Denominación	PP7+10%	PP8+10%	PP9+10%	PP4+10%	PP5+10%	PP6+10%	PP1+10%	PP2+10%	PP3+10%
Elaboración	25/07/2018	25/07/2018	25/07/2018	25/07/2018	25/07/2018	25/07/2018	23/07/2018	23/07/2018	23/07/2018
Temperatura y Manejabilidad	23/07/2018								
Desencofrado	26/07/2018	26/07/2018	26/07/2018	26/07/2018	26/07/2018	26/07/2018	24/07/2018	24/07/2018	24/07/2018
Ensayo a la compresión	01/08/2018	01/08/2018	01/08/2018	08/08/2018	08/08/2018	08/08/2018	20/08/2018	20/08/2018	20/08/2018

Probeta Patrón + 10 % de ceniza volante (10 cm*20 cm)			
Fecha De Curado	28 días		
Denominación	PP1+10%	PP2+10%	PP3+10%
Elaboración	18/07/2018	18/07/2018	18/07/2018
Desencofrado	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018
Absorción	15/08/2018	15/08/2018	15/08/2018

Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXOS N° 18: FECHAS DE ELABORACIÓN, DESENCOFRADO Y ENSAYOS DE LAS PROBETAS PATRÓN + 20 % CENIZA VOLANTE DE CARBON MTC E 702

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

Fechas de Elaboración, Desencofrado y Ensayos de la probeta patrón + 20 % de ceniza volante (15 cm*30 cm)									
Fecha De Curado	7 días			14 días			28 días		
Denominación	PP7+20%	PP8+20%	PP9+20%	PP4+20%	PP5+20%	PP6+20%	PP1+20%	PP2+20%	PP3+20%
Elaboración	30/07/2018	30/07/2018	30/07/2018	24/07/2018	24/07/2018	24/07/2018	24/07/2018	24/07/2018	24/07/2018
Temperatura y Manejabilidad	24/07/2018								
Desencofrado	31/07/2018	31/07/2018	31/07/2018	25/07/2018	25/07/2018	25/07/2018	25/07/2018	25/07/2018	25/07/2018
Ensayo a la compresión	06/08/2018	06/08/2018	06/08/2018	07/08/2018	07/08/2018	07/08/2018	21/08/2018	21/08/2018	21/08/2018

Probeta Patrón + 20 % de ceniza volante (10cm*20cm)			
Fecha De Curado	28 días		
Denominación	PP1+20%	PP2+20%	PP3+20%
Elaboración	19/07/2018	19/07/2018	19/07/2018
Desencofrado	20/07/2018	20/07/2018	20/07/2018
Absorción	16/08/2018	16/08/2018	16/08/2018

Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 19: RESULTADOS REALIZADOS AL CONCRETO MANEJABILIDAD NTP 339.035

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

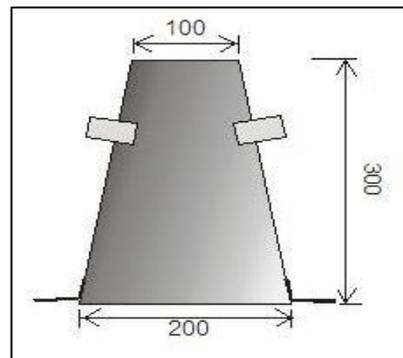
**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

DATOS TÉCNICOS	
f'c	210 kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento esperado	3"-4"
Volumen del Cono de Abrahams	0.00563 m <sup>3</sup>



MUESTRAS	CONCRETO PATRON		CONCRETO CON ADICION DE CENIZAS VOLANTES AL 5%		CONCRETO CON ADICION DE CENIZAS VOLANTES AL 10%		CONCRETO CON ADICION DE CENIZAS VOLANTES AL 20%	
	cm	pulg	cm	pulg	cm	pulg	cm	pulg
1	4.50	1.80	5.50	2.20	3.80	1.52	1.50	0.60
2	5.50	2.20	6.50	2.60	3.20	1.28	2.30	0.92
<b>Promedio</b>	5.00	2.00	6.00	2.40	3.50	1.40	1.90	0.76

Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 20: RESULTADOS REALIZADOS AL CONCRETO TEMPERATURA NTP 339.114

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

DATOS TÉCNICOS	
f'c	210 kg/cm <sup>2</sup>
Volumen de la tanda (9 probetas) m <sup>3</sup>	0.0053 m <sup>3</sup>



MUESTRAS	CONCRETO PATRÓN	CONCRETO CON ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES AL 5%	CONCRETO CON ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES AL 10%	CONCRETO CON ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES AL 20%
Temperatura	°C	°C	°C	°C
1	21.1	20.8	21.5	22.5
2	21.3	21.0	22.0	22.7
<b>Promedio</b>	<b>21.2</b>	<b>20.9</b>	<b>21.75</b>	<b>22.6</b>

Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 21: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - N.T.P. 339.034

#### 21.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE CURADO

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

MUESTRA N°	DENOMINACIÓN	fecha de vaciado	fecha de rotura	EDAD (días)	CARGA (kg)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP7	26/07/2018	02/08/2018	7	29564	150	176.715	167
2	PP8	26/07/2018	02/08/2018	7	28726	150	176.715	163
3	PP9	26/07/2018	02/08/2018	7	29168	150	176.715	165
							<b>PROMEDIO</b>	<b>165</b>
1	PP7+5%CV	30/07/2018	06/08/2018	7	33200	150	176.715	188
2	PP8+5%CV	30/07/2018	06/08/2018	7	33632	150	176.715	190
3	PP9+5%CV	30/07/2018	06/08/2018	7	31628	150	176.715	179
							<b>PROMEDIO</b>	<b>186</b>
1	PP7+10%CV	25/07/2018	01/08/2018	7	34523	150	176.715	195
2	PP8+10%CV	25/07/2018	01/08/2018	7	36311	150	176.715	205
3	PP9+10%CV	25/07/2018	01/08/2018	7	35295	150	176.715	200
							<b>PROMEDIO</b>	<b>200</b>
1	PP7+20%CV	30/07/2018	06/08/2018	7	31717	150	176.715	179
2	PP8+20%CV	30/07/2018	06/08/2018	7	32105	150	176.715	182
3	PP9+20%CV	30/07/2018	06/08/2018	7	32631	150	176.715	185
							<b>PROMEDIO</b>	<b>182</b>

Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 21.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS DE CURADO (N.T.P. 339.034)

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

MUESTRA N°	DENOMINACIÓN	fecha de vaciado	fecha de rotura	EDAD (días)	CARGA (kg)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP4	18/07/2018	01/08/2018	14	34702	150	176.715	196
2	PP5	18/07/2018	01/08/2018	14	33470	150	176.715	189
3	PP6	18/07/2018	01/08/2018	14	33645	150	176.715	190
							<b>PROMEDIO</b>	<b>192</b>
1	PP4+5%CV	26/07/2018	09/08/2018	14	38268	150	176.715	217
2	PP5+5%CV	26/07/2018	09/08/2018	14	33031	150	176.715	187
3	PP6+5%CV	26/07/2018	09/08/2018	14	35292	150	176.715	200
							<b>PROMEDIO</b>	<b>201</b>
1	PP4+10%CV	25/07/2018	08/08/2018	14	38857	150	176.715	220
2	PP5+10%CV	25/07/2018	08/08/2018	14	37981	150	176.715	215
3	PP6+10%CV	25/07/2018	08/08/2018	14	38374	150	176.715	217
							<b>PROMEDIO</b>	<b>217</b>
1	PP4+20%CV	24/07/2018	07/08/2018	14	35223	150	176.715	199
2	PP5+20%CV	24/07/2018	07/08/2018	14	35530	150	176.715	201
3	PP6+20%CV	24/07/2018	07/08/2018	14	34993	150	176.715	198
							<b>PROMEDIO</b>	<b>199</b>

Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 21.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE CURADO (N.T.P. 339.034)

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

MUESTRA N°	DENOMINACIÓN	fecha de vaciado	fecha de rotura	EDAD (días)	CARGA (kg)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP1	17/07/2018	14/08/2018	28	37954	150	176.715	215
2	PP2	17/07/2018	14/08/2018	28	38629	150	176.715	219
3	PP3	17/07/2018	14/08/2018	28	37327	150	176.715	211
							<b>PROMEDIO</b>	<b>215</b>
1	PP1+5%CV	23/07/2018	20/08/2018	28	37098	150	176.715	210
2	PP2+5%CV	23/07/2018	20/08/2018	28	39827	150	176.715	225
3	PP3+5%CV	23/07/2018	20/08/2018	28	40654	150	176.715	230
							<b>PROMEDIO</b>	<b>222</b>
1	PP1+10%CV	23/07/2018	20/08/2018	28	40673	150	176.715	230
2	PP2+10%CV	23/07/2018	20/08/2018	28	39797	150	176.715	225
3	PP3+10%CV	23/07/2018	20/08/2018	28	41165	150	176.715	233
							<b>PROMEDIO</b>	<b>229</b>
1	PP1+20%CV	24/07/2018	21/08/2018	28	38604	150	176.715	218
2	PP2+20%CV	24/07/2018	21/08/2018	28	38067	150	176.715	215
3	PP3+20%CV	24/07/2018	21/08/2018	28	39805	150	176.715	225
							<b>PROMEDIO</b>	<b>220</b>

Fuente: Elaboración Propia



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 21.4. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA RESISTENCIA LA COMPRESIÓN DE LA PROBETA PATRÓN (N.T.P. 339.034)

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

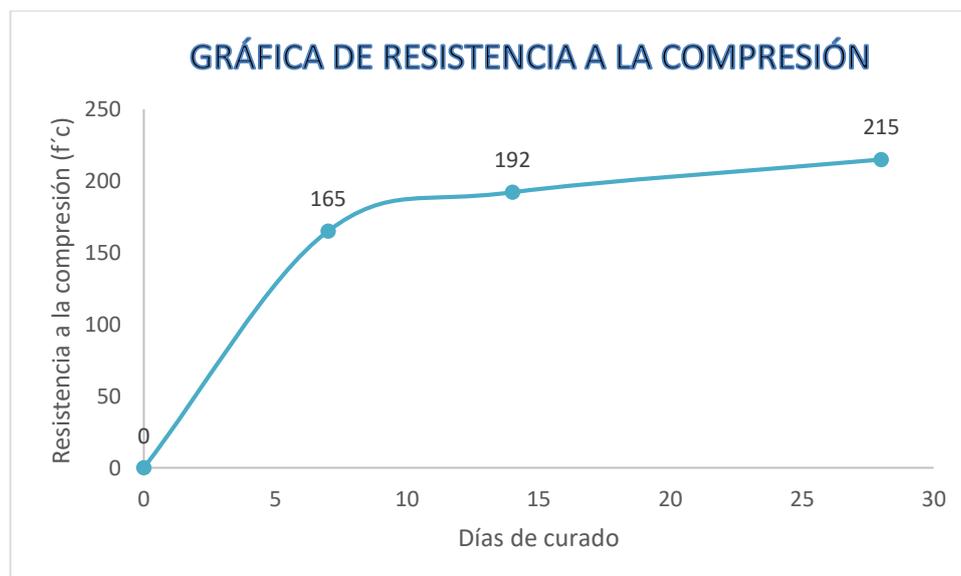
**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

% CENIZA VOLANTE DE CARBÓN	DIAS DE CURADO	f'c
0%	0	0
	7	165
	14	192
	28	215



Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 21.5. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA RESISTENCIA LA COMPRESIÓN DE LA PROBETA PATRÓN + 5% CV (N.T.P. 339.034)

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

% CENIZA VOLANTE DE CARBÓN	DIAS DE CURADO	f'c
5%	0	0
	7	186
	14	201
	28	222



Fuente: Elaboración Propia



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 21.6. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA RESISTENCIA LA COMPRESIÓN DE LA PROBETA PATRÓN + 10% CV (N.T.P. 339.034)

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

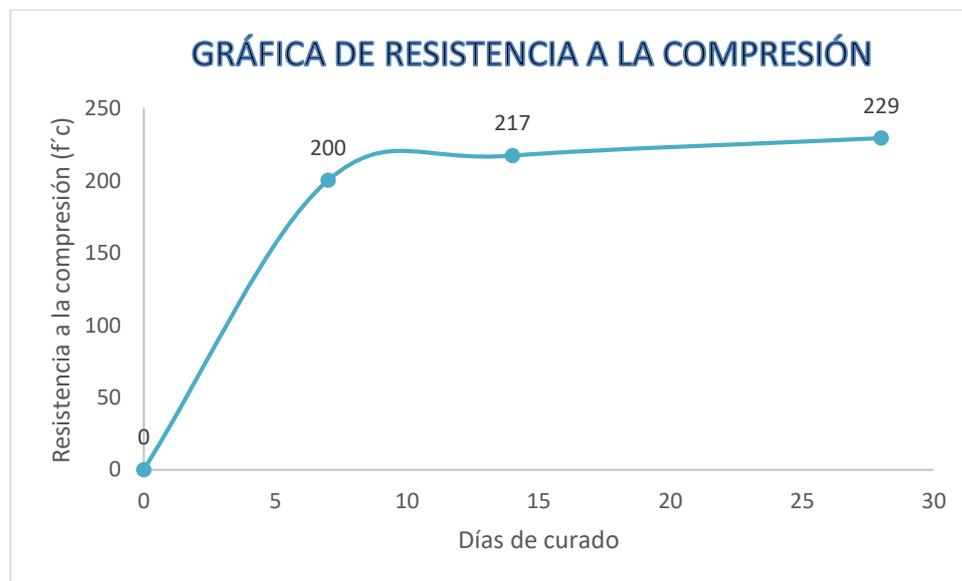
**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

% CENIZA VOLANTE DE CARBÓN	DIAS DE CURADO	f'c
10%	0	0
	7	200
	14	217
	28	229



Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 21.7. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA RESISTENCIA LA COMPRESIÓN DE LA PROBETA PATRÓN + 20% CV (N.T.P. 339.034)

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

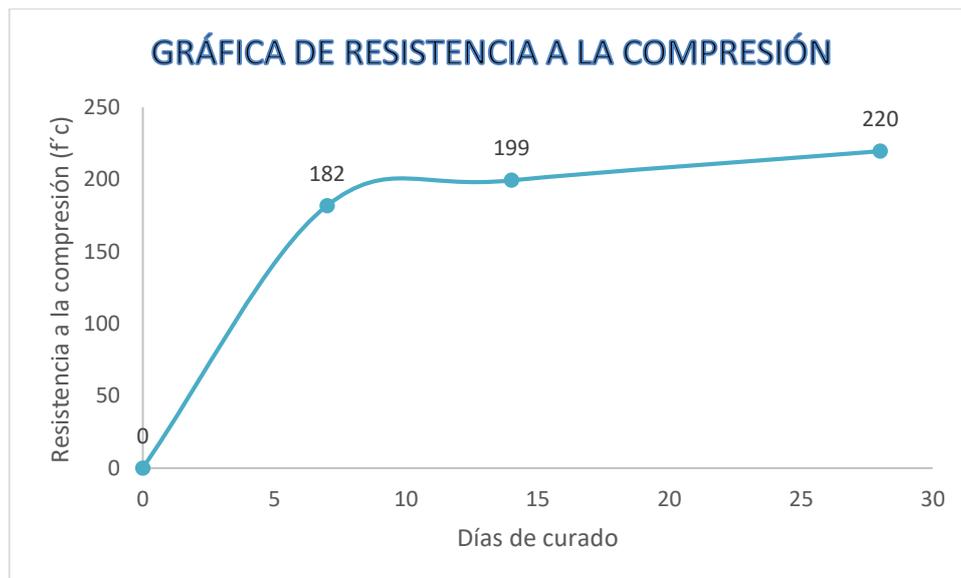
**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

% CENIZA VOLANTE DE CARBÓN	DIAS DE CURADO	f'c
20%	0	0
	7	182
	14	199
	28	220



Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 21.8. RESULTADOS PROMEDIOS DE LA RESISTENCIA LA COMPRESIÓN CON DIFERENTES PORCENTAJES DE CENIZAS VOLANTES (N.T.P. 339.034)

LUGAR: LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

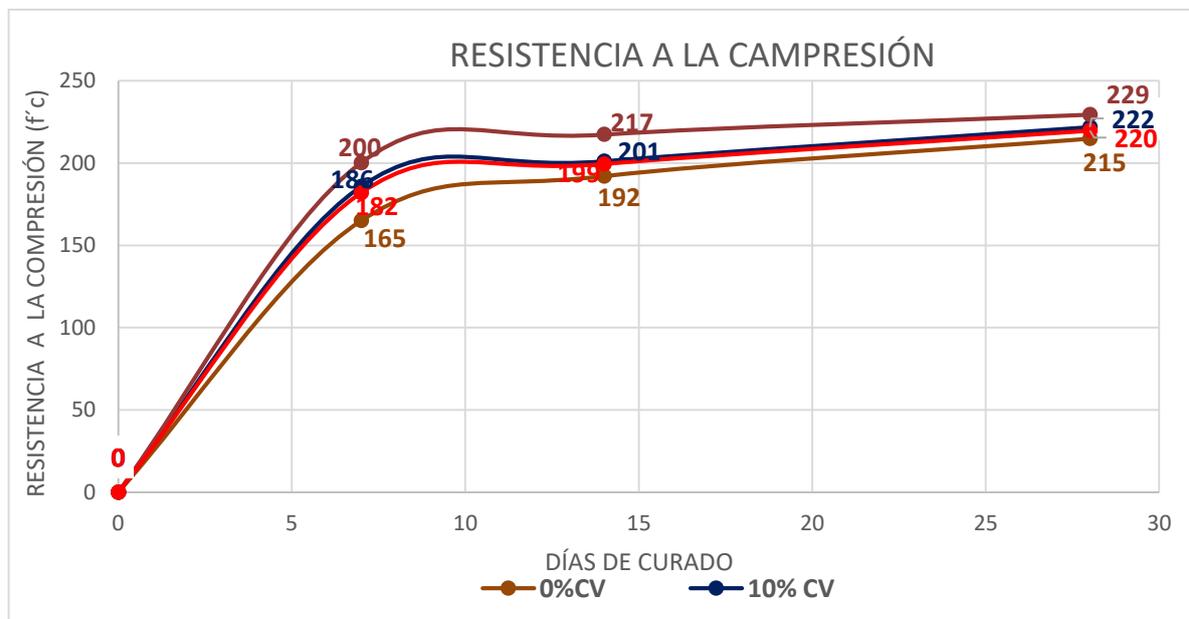
ASESOR: Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

FECHA: 10 DE AGOSTO DEL 2018

TESISTAS: MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

RESISTENCIA LA COMPRESIÓN CON DIFERENTES PORCENTAJES DE CENIZAS VOLANTES				
DÍAS DE CURADO	0%	5%	10%	20%
0	0	0	0	0
7	165	186	200	182
14	192	201	217	199
28	215	222	229	220



Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### ANEXO N° 22: ENSAYO DE ABSORCIÓN POR SUCCIÓN CAPILAR (NORMA IRAM 1781)

#### 22.1. RESULTADOS DE LAS MUESTRAS SOMETIDAS AL SECADO

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

TABLA DE PESOS DE LAS MUESTRAS SOMETIDAS AL SECADO (gr)												
PESO	0% CV			5% CV			10% CV			20% CV		
	PP1	PP2	PP3	PP1	PP2	PP3	PP1	PP2	PP3	PP1	PP2	PP3
01	0.924	0.911	0.917	0.881	0.892	0.921	0.866	0.807	0.925	0.898	0.946	0.910
02	0.901	0.893	0.882	0.856	0.859	0.908	0.857	0.792	0.912	0.878	0.936	0.896
03	0.880	0.871	0.869	0.851	0.838	0.884	0.839	0.772	0.889	0.858	0.916	0.880
04	0.875	0.865	0.864	0.850	0.836	0.879	0.834	0.766	0.884	0.853	0.911	0.875
05	0.867	0.849	0.859	0.840	0.833	0.872	0.828	0.761	0.872	0.851	0.900	0.862
06	0.867	0.849	0.859	0.840	0.833	0.872	0.827	0.761	0.872	0.850	0.899	0.861
%ERROR <=0.1%	0	0	0	0	0	0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1

Fuente: Elaboración Propia



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 22.2. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE LAS MUESTRAS SIN CENIZA VOLANTE EN AGUA (NORMA IRAM 1781)

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

TABLA DE LAS MEDICIONES EN PESO (gr) DE LAS MUESTRAS EN AGUA					
TIEMPO (horas)	TIEMPO (Seg)	TIEMPO Seg <sup>(1/2)</sup>	0% de ceniza volante		
			PP1	PP2	PP3
0	0	0	0.867	0.849	0.859
0.5	1800	42.43	0.885	0.865	0.875
1	3600	60.00	0.890	0.875	0.880
2	7200	84.85	0.895	0.880	0.885
3	10800	103.92	0.900	0.885	0.890
4	14400	120.00	0.900	0.890	0.895
5	18000	134.16	0.905	0.895	0.895
6	21600	146.97	0.905	0.895	0.900
24	86400	293.94	0.920	0.905	0.910
48	172800	415.69	0.920	0.910	0.915
72	259200	509.12	0.920	0.910	0.915
96	345600	587.88	0.920	0.910	0.915
%Error <= 0.1%			0	0	0

Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**22.3. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE LAS MUESTRAS CON 5% DE CENIZA VOLANTE EN AGUA (NORMA IRAM 1781)**

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

TABLA DE LAS MEDICIONES EN PESO (gr) DE LAS MUESTRAS EN AGUA					
TIEMPO (horas)	TIEMPO (Seg)	TIEMPO Seg <sup>(1/2)</sup>	5% de ceniza volante		
			PP1	PP2	PP3
0	0	0	0.840	0.833	0.872
0.5	1800	42.43	0.855	0.850	0.885
1	3600	60.00	0.860	0.860	0.895
2	7200	84.85	0.865	0.865	0.895
3	10800	103.92	0.870	0.870	0.900
4	14400	120.00	0.870	0.870	0.900
5	18000	134.16	0.875	0.875	0.900
6	21600	146.97	0.875	0.875	0.905
24	86400	293.94	0.885	0.885	0.910
48	172800	415.69	0.890	0.890	0.920
72	259200	509.12	0.895	0.890	0.920
96	345600	587.88	0.895	0.890	0.920
%Error < =0.1%			0	0	0

Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**22.4. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE LAS MUESTRAS CON 10% DE CENIZA VOLANTE EN AGUA (NORMA IRAM 1781)**

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

TABLA DE LAS MEDICIONES EN PESO (gr) DE LAS MUESTRAS EN AGUA					
TIEMPO (horas)	TIEMPO (Seg)	TIEMPO Seg <sup>^(1/2)</sup>	10% de ceniza volante		
			PP1	PP2	PP3
0	0	0	0.827	0.761	0.872
0.5	1800	42.43	0.845	0.775	0.885
1	3600	60.00	0.850	0.780	0.890
2	7200	84.85	0.855	0.785	0.895
3	10800	103.92	0.860	0.785	0.900
4	14400	120.00	0.860	0.790	0.900
5	18000	134.16	0.865	0.790	0.900
6	21600	146.97	0.865	0.790	0.905
24	86400	293.94	0.870	0.800	0.915
48	172800	415.69	0.880	0.805	0.920
72	259200	509.12	0.880	0.805	0.920
96	345600	587.88	0.880	0.805	0.920
%Error < 0.1%			0	0	0

Fuente: Elaboración Propia



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 22.5. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE LAS MUESTRAS CON 20% DE CENIZA VOLANTE EN AGUA (NORMA IRAM 1781)

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

TABLA DE LAS MEDICIONES EN PESO (gr) DE LAS MUESTRAS EN AGUA					
TIEMPO (horas)	TIEMPO (Seg)	TIEMPO Seg <sup>^(1/2)</sup>	20% de ceniza volante		
			PP1	PP2	PP3
0	0	0	0.850	0.899	0.861
0.5	1800	42.43	0.865	0.91	0.875
1	3600	60.00	0.865	0.915	0.880
2	7200	84.85	0.87	0.915	0.880
3	10800	103.92	0.87	0.92	0.885
4	14400	120.00	0.875	0.92	0.885
5	18000	134.16	0.875	0.92	0.890
6	21600	146.97	0.875	0.925	0.890
24	86400	293.94	0.880	0.93	0.895
48	172800	415.69	0.890	0.935	0.905
72	259200	509.12	0.890	0.94	0.910
96	345600	587.88	0.890	0.94	0.910
%Error < 0.1%			0	0	0

Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**22.6. RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE SUCCIÓN CAPILAR DE CADA MUESTRA EN EL INSTANTE DE LECTURA (t) SIN CENIZA VOLANTE (NORMA IRAM 1781)**

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

**CAPACIDAD DE SUCCIÓN CAPILAR DE CADA MUESTRA EN EL INSTANTE DE LECTURA (t) en gr/m<sup>2</sup>**

$$Cit = \frac{M_{hit} - M_{si}}{A_I}$$

		0% de ceniza volante		
		PP1	PP2	PP3
<b>Cit</b>	Diámetro (m)	0.100	0.100	0.100
	Área (m <sup>2</sup> )	0.008	0.008	0.008
	Masa seca (i) en gr	0.867	0.849	0.859
	t=0	0.000	0.000	0.000
	t=30 min	2.292	2.037	2.037
	t=1 hora	2.928	3.310	2.674
	t=2 horas	3.565	3.947	3.310
	t=3 horas	4.202	4.584	3.947
	t=4 horas	4.202	5.220	4.584
	t=5 horas	4.838	5.857	4.584
	t=6 horas	4.838	5.857	5.220
	t= 24 horas	6.748	7.130	6.494
	t=48 horas	6.748	7.767	7.130
	t=72 horas	6.748	7.767	7.130
	t=96 horas	6.748	7.767	7.130

Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**22.7. RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE SUCCIÓN CAPILAR DE CADA MUESTRA EN EL INSTANTE DE LECTURA (t) CON 5 % DE CENIZA VOLANTE (NORMA IRAM 1781)**

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

**CAPACIDAD DE SUCCIÓN CAPILAR DE CADA MUESTRA EN EL INSTANTE DE LECTURA (t) en gr/m<sup>2</sup>**

$$Cit = \frac{M_{hit} - M_{si}}{A_l}$$

		5% de ceniza volante		
		PP1	PP2	PP3
Cit	Diámetro (m)	0.100	0.100	0.100
	Área (m <sup>2</sup> )	0.008	0.008	0.008
	Masa seca (i) en gr	0.840	0.833	0.872
	t=0	0.000	0.000	0.000
	t=30 min	1.910	2.165	1.655
	t=1 hora	2.546	3.438	2.928
	t=2 horas	3.183	4.074	2.928
	t=3 horas	3.820	4.711	3.565
	t=4 horas	3.820	4.711	3.565
	t=5 horas	4.456	5.348	3.565
	t=6 horas	4.456	5.348	4.202
	t= 24 horas	5.730	6.621	4.838
	t=48 horas	6.366	7.257	6.112
	t=72 horas	7.003	7.257	6.112
	t=96 horas	7.003	7.257	6.112

Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**22.8. RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE SUCCIÓN CAPILAR DE CADA MUESTRA EN EL INSTANTE DE LECTURA (t) CON 10 % DE CENIZA VOLANTE (NORMA IRAM 1781)**

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

**CAPACIDAD DE SUCCIÓN CAPILAR DE CADA MUESTRA EN EL INSTANTE DE LECTURA (t) en gr/m<sup>2</sup>**

$$Cit = \frac{M_{hit} - M_{si}}{A_t}$$

		10% de ceniza volante		
		PP1	PP2	PP3
<b>Cit</b>	Diámetro (m)	0.100	0.100	0.100
	Área (m <sup>2</sup> )	0.008	0.008	0.008
	Masa seca (i) en gr	0.827	0.761	0.872
	t=0	0.000	0.000	0.000
	t=30 min	2.292	1.783	1.655
	t=1 hora	2.928	2.419	2.292
	t=2 horas	3.565	3.056	2.928
	t=3 horas	4.202	3.056	3.565
	t=4 horas	4.202	3.692	3.565
	t=5 horas	4.838	3.692	3.565
	t=6 horas	4.838	3.692	4.202
	t= 24 horas	5.475	4.966	5.475
	t=48 horas	6.748	5.602	6.112
	t=72 horas	6.748	5.602	6.112
	t=96 horas	6.748	5.602	6.112

Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**22.9. RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE SUCCIÓN CAPILAR DE CADA MUESTRA EN EL INSTANTE DE LECTURA (t) CON 20 % DE CENIZA VOLANTE (NORMA IRAM 1781)**

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

**CAPACIDAD DE SUCCIÓN CAPILAR DE CADA MUESTRA EN EL INSTANTE DE LECTURA (t) en gr/m<sup>2</sup>**

$$Cit = \frac{M_{hit} - M_{si}}{A_I}$$

		20% de ceniza volante		
		PP1	PP2	PP3
Cit	Diámetro (m)	0.100	0.100	0.100
	Área (m <sup>2</sup> )	0.008	0.008	0.008
	Masa seca (i) en gr	0.850	0.899	0.861
	t=0	0.000	0.000	0.000
	t=30 min	1.910	1.401	1.783
	t=1 hora	1.910	2.037	2.419
	t=2 horas	2.546	2.037	2.419
	t=3 horas	2.546	2.674	3.056
	t=4 horas	3.183	2.674	3.056
	t=5 horas	3.183	2.674	3.692
	t=6 horas	3.183	3.310	3.692
	t= 24 horas	3.820	3.947	4.329
	t=48 horas	5.093	4.584	5.602
	t=72 horas	5.093	5.220	6.239
	t=96 horas	5.093	5.220	6.239

Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**22.10. RESULTADOS DE LA CAPACIDAD PROMEDIO DE ABSORCIÓN SIN CENIZA VOLANTE – NORMA IRAM 1781**

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

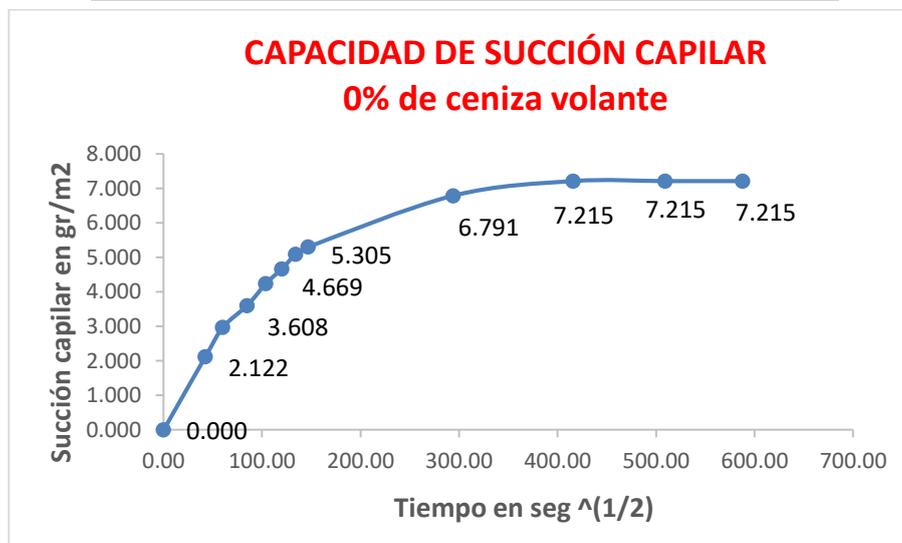
**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

CAPACIDAD PROMEDIO DE ABSORCIÓN (gr/m <sup>2</sup> )		
TIEMPO (horas)	TIEMPO Seg <sup>(1/2)</sup>	CV 0%
0	0.00	0.000
0.5	42.43	2.122
1	60.00	2.971
2	84.85	3.608
3	103.92	4.244
4	120.00	4.669
5	134.16	5.093
6	146.97	5.305
24	293.94	6.791
48	415.69	7.215
72	509.12	7.215
96	587.88	7.215



Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 22.11. RESULTADOS DE LA CAPACIDAD PROMEDIO DE ABSORCIÓN CON 5 % DE CENIZA VOLANTE – NORMA IRAM 1781

LUGAR: LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

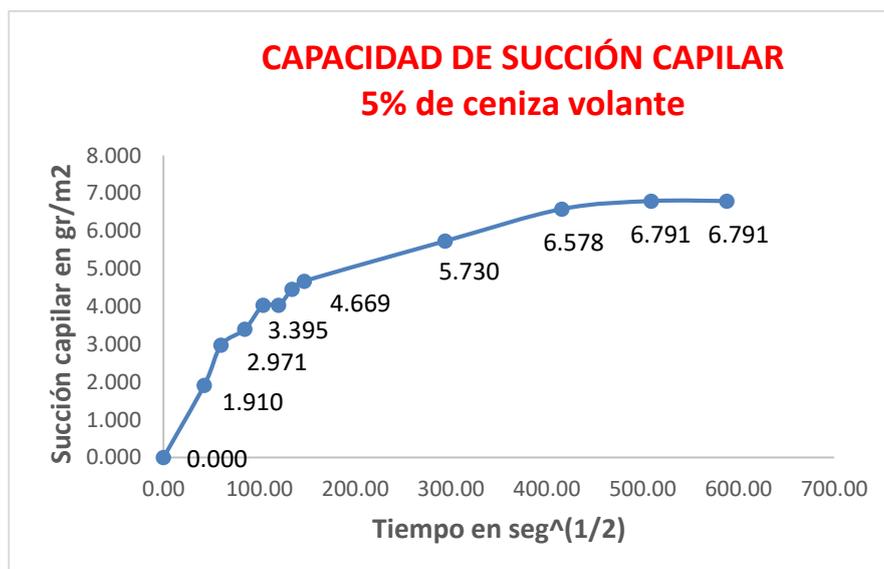
ASESOR: Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

FECHA: 10 DE AGOSTO DEL 2018

TESISTAS: MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

CAPACIDAD PROMEDIO DE ABSORCIÓN (gr/m <sup>2</sup> )		
TIEMPO (horas)	TIEMPO Seg <sup>(1/2)</sup>	CV 5%
0	0.00	0.000
0.5	42.43	1.910
1	60.00	2.971
2	84.85	3.395
3	103.92	4.032
4	120.00	4.032
5	134.16	4.456
6	146.97	4.669
24	293.94	5.730
48	415.69	6.578
72	509.12	6.791
96	587.88	6.791



Fuente: Elaboración Propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 22.12. RESULTADOS DE LA CAPACIDAD PROMEDIO DE ABSORCIÓN CON 10 % DE CENIZA VOLANTE – NORMA IRAM 1781

LUGAR: LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

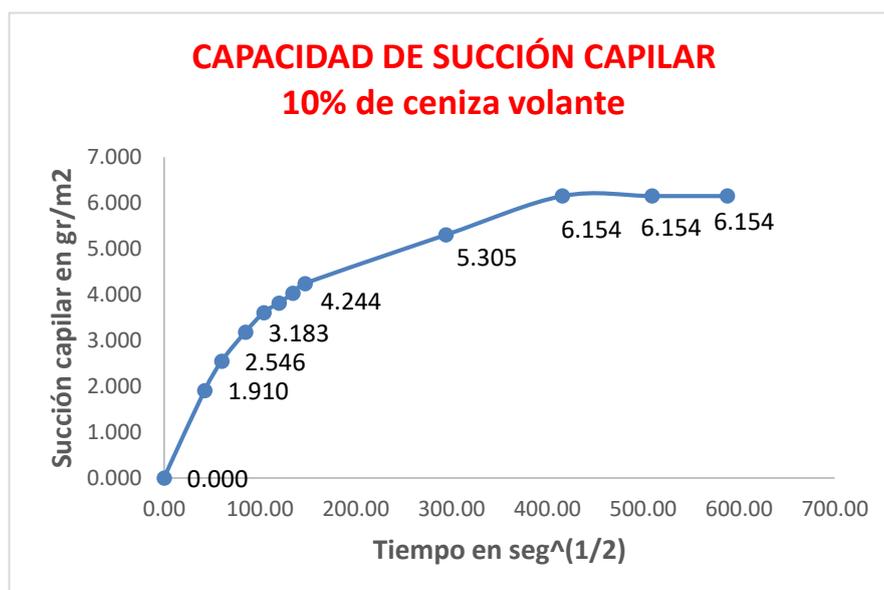
ASESOR: Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

FECHA: 10 DE AGOSTO DEL 2018

TESISTAS: MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

CAPACIDAD PROMEDIO DE ABSORCIÓN (gr/m <sup>2</sup> )		
TIEMPO (horas)	TIEMPO Seg <sup>^(1/2)</sup>	CV 10%
0	0.00	0.000
0.5	42.43	1.910
1	60.00	2.546
2	84.85	3.183
3	103.92	3.608
4	120.00	3.820
5	134.16	4.032
6	146.97	4.244
24	293.94	5.305
48	415.69	6.154
72	509.12	6.154
96	587.88	6.154



Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**22.13. RESULTADOS DE LA CAPACIDAD PROMEDIO DE ABSORCIÓN CON 20 % DE CENIZA VOLANTE – NORMA IRAM 1781**

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

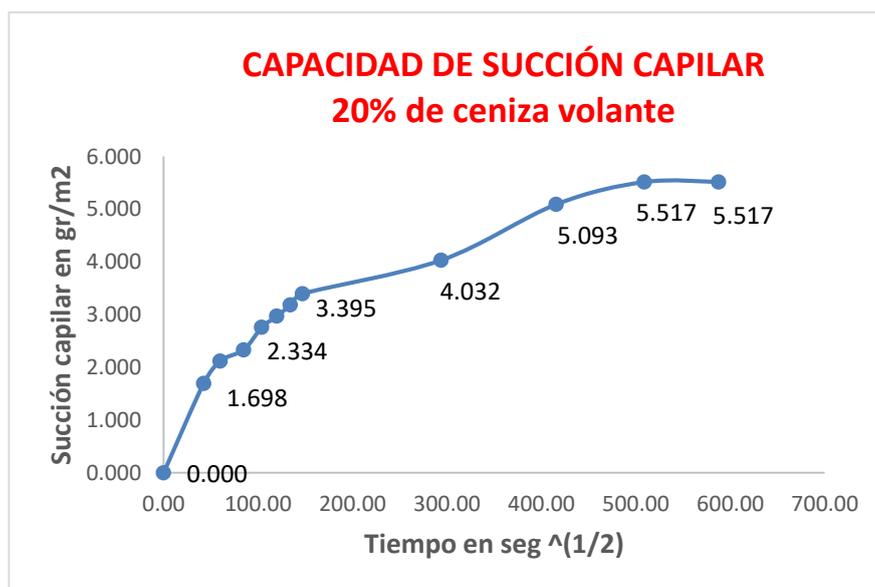
**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

CAPACIDAD PROMEDIO DE ABSORCIÓN (gr/m <sup>2</sup> )		
TIEMPO (horas)	TIEMPO Seg <sup>^(1/2)</sup>	CV 20%
0	0.00	0.000
0.5	42.43	1.698
1	60.00	2.122
2	84.85	2.334
3	103.92	2.759
4	120.00	2.971
5	134.16	3.183
6	146.97	3.395
24	293.94	4.032
48	415.69	5.093
72	509.12	5.517
96	587.88	5.517



Fuente: Elaboración Propia



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 22.14. RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE SUCCIÓN CAPILAR CON DIFERENTES PORCENTAJES DE CENIZA VOLANTE

NORMA IRAM 1781

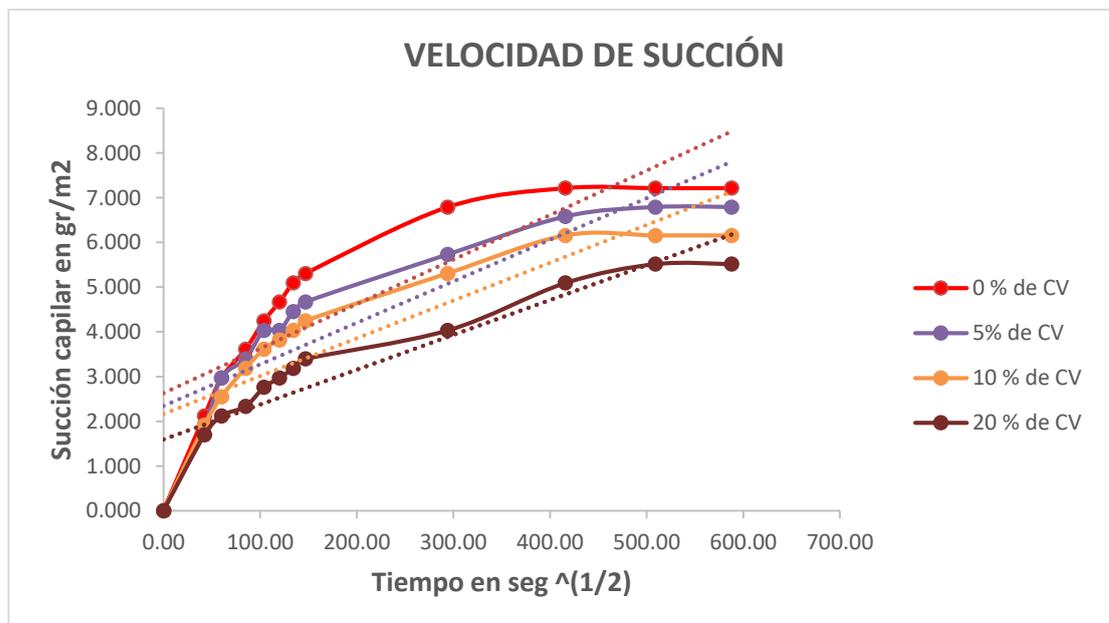
LUGAR: LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

ASESOR: Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

TESISTAS: MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

	Capacidad de succión capilar en <b>gr/m<sup>2</sup></b>
Ceniza Volante 0%	7.215
Ceniza volante 5%	6.791
Ceniza volante 10%	6.154
Ceniza volante 20%	5.517



Fuente: Elaboración propia



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 22.15. RESULTADOS DE LA VELOCIDAD DE SUCCIÓN

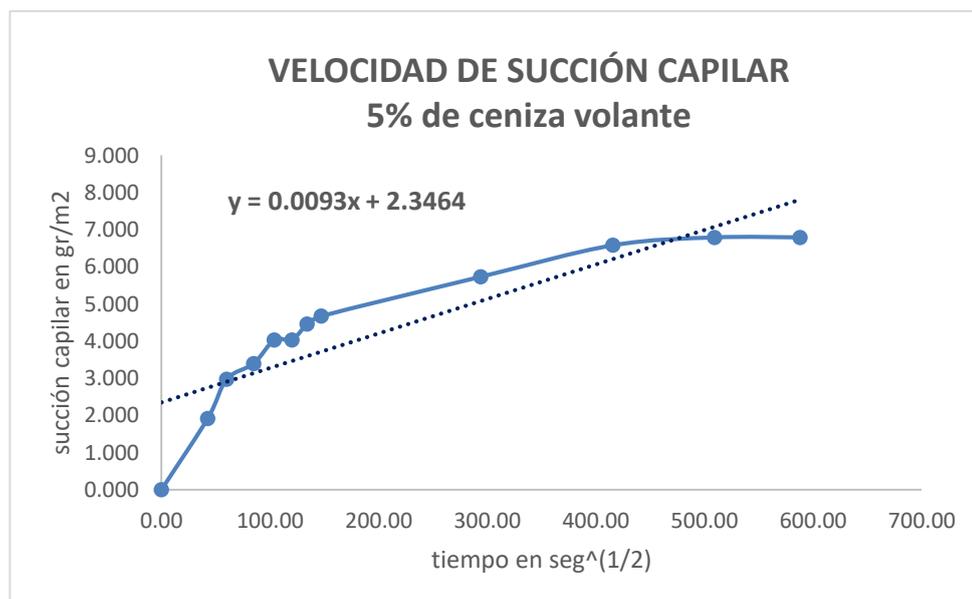
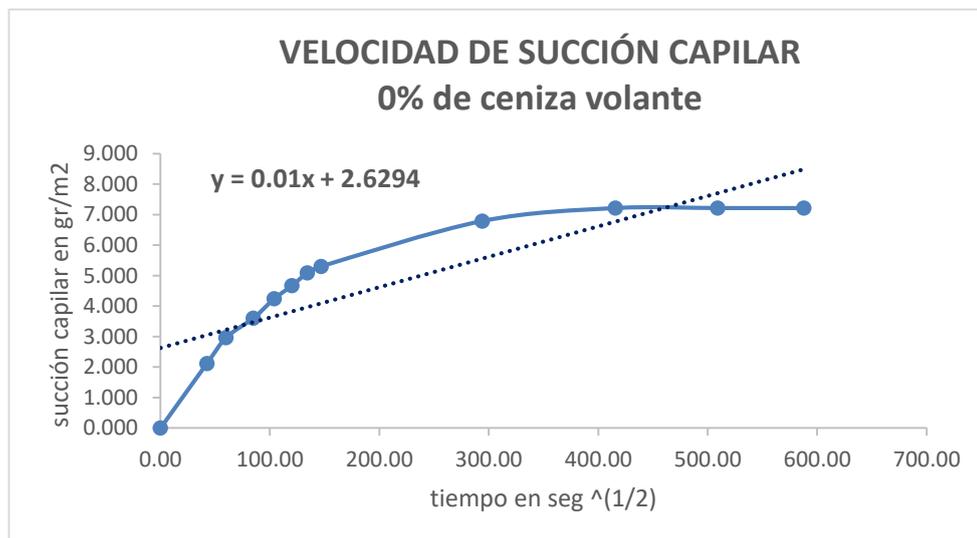
#### NORMA IRAM 1781

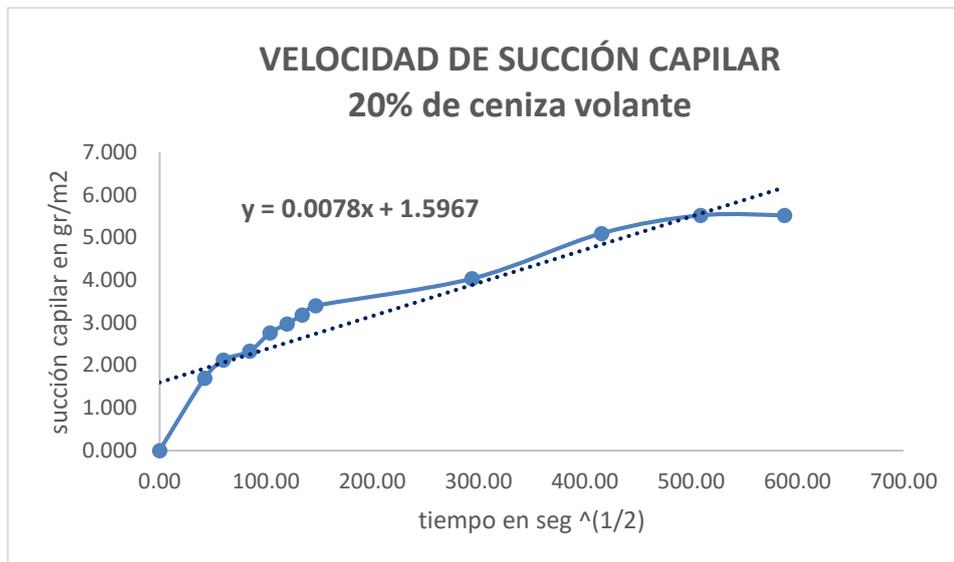
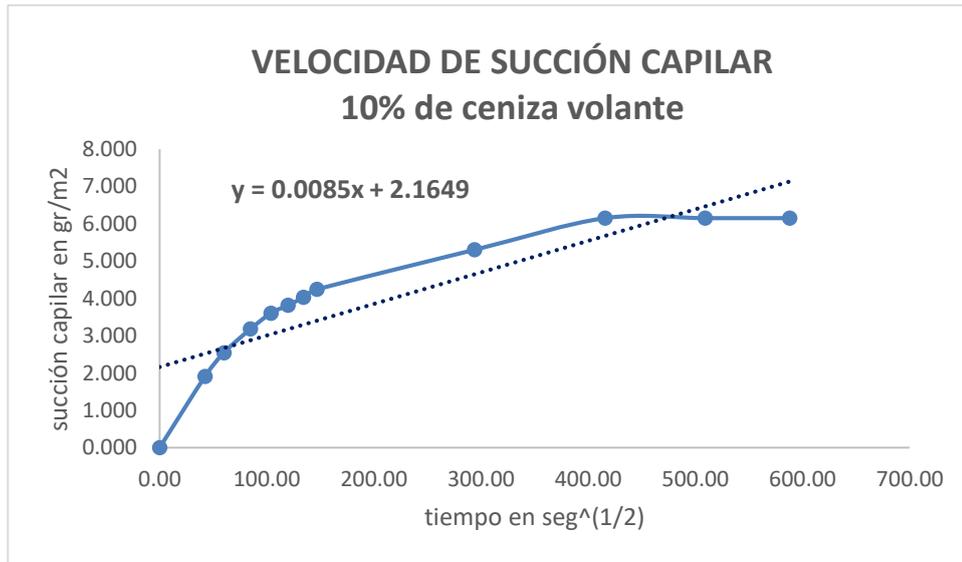
**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL





Fuente: Elaboración propia



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 22.16. RESULTADOS DE LA VELOCIDAD DE SUCCIÓN CON DIFERENTES PORCENTAJES DE CENIZA VOLANTE

IRAM 1781

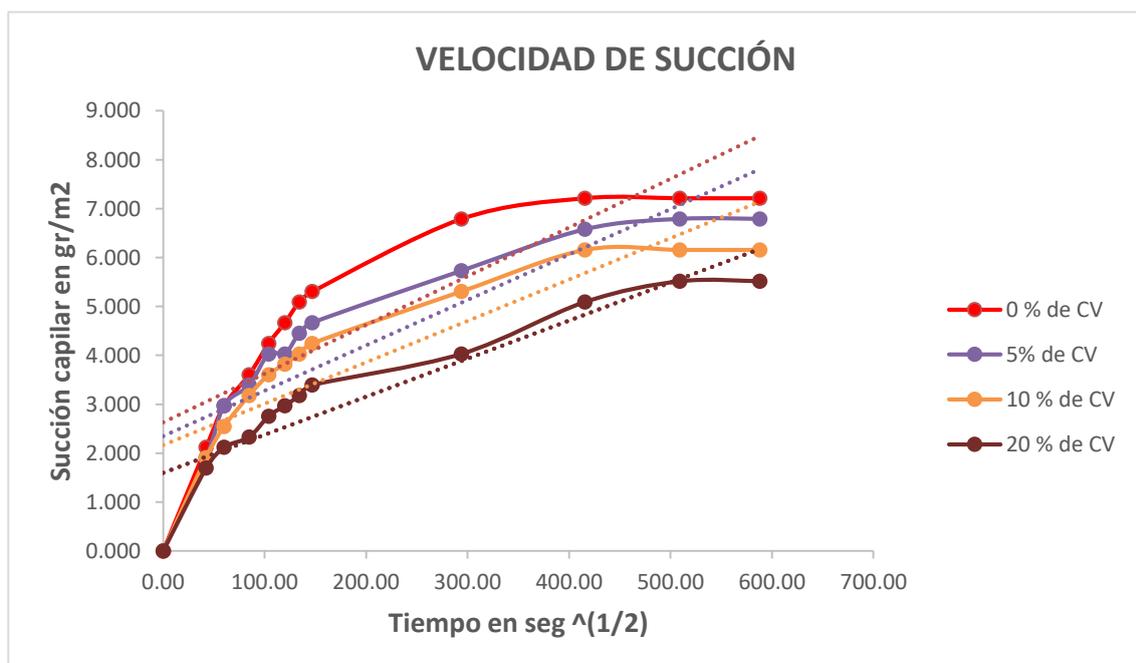
LUGAR: LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

ASESOR: Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

TESISTAS: MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

	Velocidad de succión gr/m <sup>2</sup> . S <sup>^(1/2)</sup>
Ceniza Volante 0%	0.01
Ceniza volante 5%	0.0093
Ceniza volante 10%	0.0085
Ceniza volante 20%	0.0078



Fuente: Elaboración propia



TESIS: "USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21-MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA".



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### 22.17. RESULTADOS DEL PH

ASTM – D1293

**LUGAR:** LABORATORIO DE CONCRETO - UNS

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**FECHA:** 10 DE AGOSTO DEL 2018

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

MUESTRAS	ENSAYO
	PH
CEMENTO	13.42
CEMENTO + 5% DE CENIZA VOLANTE	13.41
CEMENTO +10% DE CENIZA VOLANTE	13.37
CEMENTO + 20% DE CENIZA VOLANTE	13.43

**NOTA:** SEGÚN EL VALOR DEL PH LAS MUESTRAS SE CLASIFICAN COMO FUERTEMENTE ALCALINO

Fuente: Elaboración Propia



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**22.18. RESULTADOS DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR, COEFICIENTE DE VARIACIÓN Y DISTRIBUCIÓN NORMAL**

**ASESOR:** Ms. LEÓN BOBADILLA ABNER

**TESISTAS:** MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERÓNICA

ULLOA PONCE JAVIER JOEL

Nº de Ensayo	VALOR PROMEDIO DE 2 PROBETAS (KG/CM2)	PROMEDIO DE 3 ENSAYOS	Xi-X	(Xi-X) <sup>2</sup>
1	230		2.2	4.84
2	225		-2.8	7.84
3	233	229.333	5.2	27.04
4	229	229.000	1.2	1.44
5	223	228.333	-4.8	23.04
6	231	227.667	3.2	10.24
7	228	227.333	0.2	0.04
8	235	231.333	7.2	51.84
9	225.5	229.500	-2.3	5.29
10	224	228.167	-3.8	14.44
11	232	227.167	4.2	17.64
12	220	225.333	-7.8	60.84
13	221.5	224.500	-6.3	39.69
14	232	224.500	4.2	17.64
15	228	227.167	0.2	0.04
<b>Suma</b>	<b>3417</b>			<b>281.9</b>

**Calculando la resistencia promedio:**

$$X_{prom} = \frac{\sum \text{Resistencias}}{n} \quad X_{prom} = 227.8 \text{ kg/cm}^2$$

**Hallando la Desviación estándar**

$$s = \sqrt{\frac{(X_1 - X)^2 + (X_2 - X)^2 + \dots + (X_n - X)^2}{n-1}} \quad s = 4.49$$



### Hallando el coeficiente de variación.

$$V = \frac{D_s}{x_{prom}} \times 100 \quad V = 1.97\%$$

### Cálculo de $f'_{cr}$

1. El promedio de todos los grupos de tres ensayos de resistencia en compresión consecutivos (grupo de 6 testigos) es  $\geq$  que  $f'_c$

$$f'_{cR} = f'_c + 1.34 * \alpha * D_s \quad \alpha = 1.16$$

$$f'_{cR} = 216.975$$

2. Ningún ensayo de resistencia (Promedio de dos testigos) debe ser menor de  $f'_c$  en más de 35 kg/cm<sup>2</sup>.

$$f'_{cR} = f'_c - 2.33 * \alpha * D_s \quad \alpha = 1.16$$

$$f'_{cR} = 187.128$$

Escogemos el mayor del punto 1 y 2.

$$f'_{cR} = 217$$

Calculamos el valor de "t"

$$t = \frac{x_{prom} - 210}{D_s} = 3.97$$

### Distribución normal (campana de gauss).

$$Y = \frac{1}{D_s \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{X - x_{prom}}{D_s} \right)^2}$$

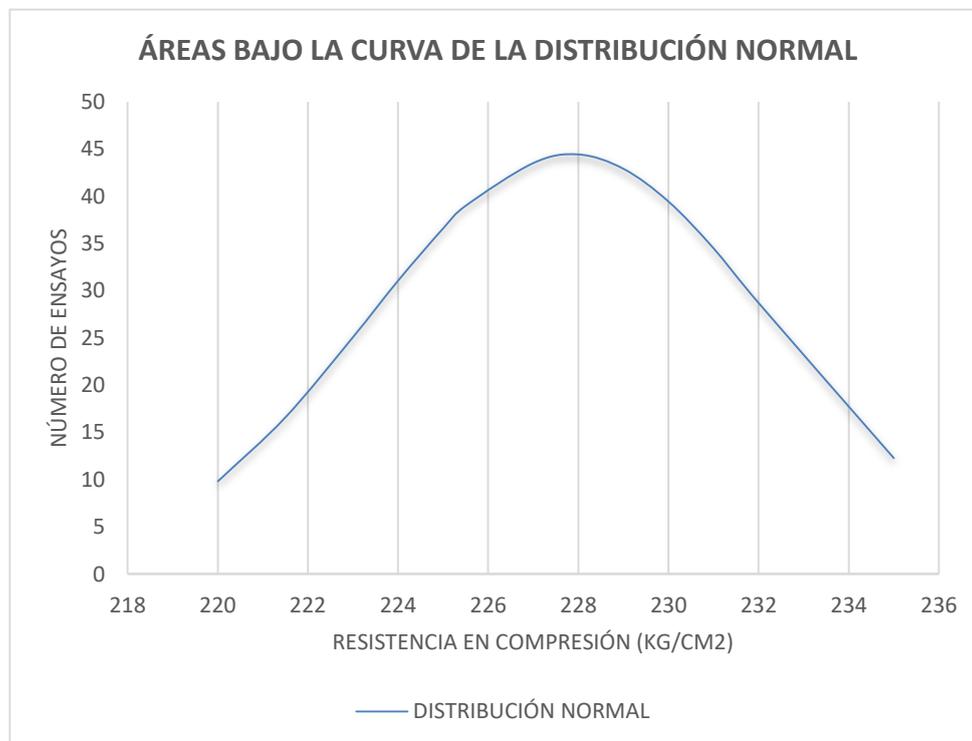
Donde  $A = \frac{1}{D_s \sqrt{2\pi}}$

$$B = e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{X - x_{prom}}{D_s} \right)^2}$$

% de pruebas dentro de los límites $\mu \pm tD_s$	Probabilidad de ocurrencia por debajo del límite inferior	t
40.00	3 en 10	0.52
50.00	2.5 en 10	0.67
60.00	2 en 10	0.84
68.27	2 en 10	1.00
70.00	1 en 6.3	1.04
80.00	1.5 en 10	1.28
90.00	1 en 20	1.65
95.00	1 en 40	1.98
95.45	1 en 44	2.00
98.00	1 en 100	2.33
99.00	1 en 200	2.58
99.73	1 en 741	3.00



Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	A	B	Y	(Y) Escalado por 600
230	0.089	0.887	0.079	39.419
225	0.089	0.823	0.073	36.589
233	0.089	0.511	0.045	22.714
229	0.089	0.965	0.086	42.891
223	0.089	0.564	0.050	25.086
231	0.089	0.775	0.069	34.472
228	0.089	0.999	0.089	44.408
235	0.089	0.276	0.025	12.270
225.5	0.089	0.877	0.078	38.981
224	0.089	0.699	0.062	31.058
232	0.089	0.645	0.057	28.686
220	0.089	0.221	0.020	9.813
221.5	0.089	0.373	0.033	16.591
232	0.089	0.645	0.057	28.686
228	0.089	0.999	0.089	44.408



Fuente: Elaboración propia

## ANEXO N° 23: PANEL FOTOGRÁFICO



**FOTO N°1:** Vista del agregado grueso.

**FOTO N°2:** Se realizó la reducción del agregado fino para la obtención de muestras representativas, a través del cuarteo.



**FOTO N°3:** Vista de la muestra representativa del agregado fino.



**FOTO N°4:** Se realizó la reducción del agregado grueso para la obtención de muestras representativas.

**FOTO N°5:** Se obtuvo la muestra representativa del agregado grueso.



**FOTO N°6:** Vista de la granulometría del agregado grueso.



**FOTO N°7:** Vista de la granulometría del agregado fino.



**FOTO N°8:** Se hallaron las medidas del molde de madera para calcular su volumen.

**FOTO N°9:** Vista de las taras + muestras para determinar el contenido de humedad.



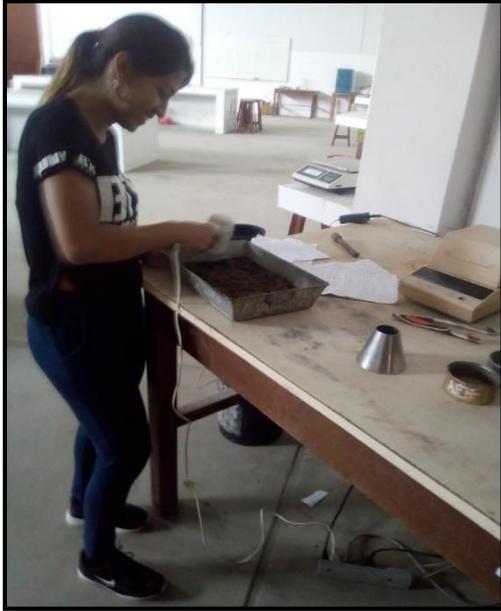


**FOTO N°10:** Vista de la compactación del agregado grueso en el molde, para determinar su peso unitario.

**FOTO N°11:** Vista del molde de madera con agregado grueso compactado.



**FOTO N°12:** Vista del procedimiento para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso.



**FOTO N°13:** Vista del procedimiento para determinar el peso específico y absorción del agregado fino



**FOTO N°14:** Vista de la obtención de la arena saturada superficialmente seca



**FOTO N°15:** Vista del calentamiento de la fiola+agua+muestra para eliminar los espacios vacíos.



**FOTO N°16:** Vista de la muestra de 200 gr de ceniza volante de carbón llevada al laboratorio de la UNI, para determinar su composición química.

**FOTO N°17:** Vista del procedimiento para determinar el módulo de finura de las cenizas volantes de carbón



**FOTO N°18:** Se colocó petróleo como desmoldante en las probetas.



**FOTO N°19:** Vista de las probetas de 30cm \*15 cm, 20cm\*10cm y el cono de abrahms.



**FOTO N°20:** Se humedeció la mezcladora antes de la preparación del concreto.



**FOTO N°21:** Vista de los materiales para la preparación del concreto.

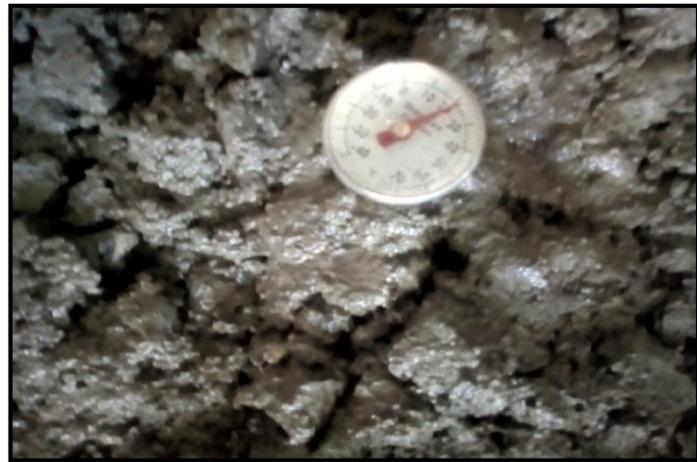


TESIS: “USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA ILO21–MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA”.

---



**FOTO N°22:** Se mezcló todos los materiales para la elaboración del concreto.



**FOTO N°23:** Vista de la medición de temperatura al concreto.



**FOTO N°24:** Compactación por el método de varillado



**FOTO N°25:** Vista operación del llenado y retiro del molde.



**FOTO N°26:** Vista medición del asentamiento del concreto (Slump).



**FOTO N°27:** Vista secado de las probetas durante 24 horas.



**FOTO N°28:** Desencofrado de los especímenes de concreto.



**FOTO N°29:** Colocación de los especímenes de concreto para su posterior curado en agua con cal.



**FOTO N°30:** Vista, capping (preparación y colocación de diablo en la parte de la sección superior de los especímenes para obtener una superficie lisa, antes de la rotura de las probetas)



**FOTO N°31:** Secado del diablo fuerte durante 3-5 horas de realizar el ensayo de compresión.



**FOTO N°32:** Rotura de probeta en la maquina electro-hidraulica, para obtención de la resistencia.



**FOTO N°33:** Resultados después de obtener los primeros fusilamientos de los especímenes de concreto.



**FOTO N°34:** Impermeabilización de rodajas de concreto de 5 cm mediante un sellador antihumedad



**FOTO N°35:** Colocación de las rodajas de concreto para el posterior secado de las muestras.



**FOTO N°36:** Pesos de las rodajas de concreto que se realizo progresivamente mediante un tiempo, hasta la saturación total de estas.



**FOTO N°37:** Colocación de las rodajas de concreto en un depósito con agua para saturar las muestras mediante la absorción capilar.



**ANEXO N° 24: RAYOS "X" A LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS

LABICER (Laboratorio N° 12)

ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



**INFORME TÉCNICO N° 1143 - 18 - LABICER**

1. DATOS DEL SOLICITANTE
  - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : ULLOA PONCE JAVIER JOEL  
MARILUZ PAJUELO MILAGROS
  - 1.2 DNI : 70525499  
73504889
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
  - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 09 / 07 / 2018
  - 2.2 FECHA DE EMISIÓN : 13 / 07 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE
  - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN
  - 4.2 PROCEDENCIA : ILO - MOQUEGUA
  - 4.3 PROYECTO DE TESIS : USO DE LAS CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN EXCEDENTES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ILO 21- MOQUEGUA COMO ADICIÓN PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ABSORCIÓN, MANEJABILIDAD Y TEMPERATURA
5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 20.0 °C; Humedad relativa: 57%
7. EQUIPOS UTILIZADOS : ANALIZADOR DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X. OLYMPUS, VANTA M.
8. RESULTADOS
  - 8.1 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL

ANÁLISIS	RESULTADO, %	MÉTODO UTILIZADO
Silicio, Si	28.83	Fluorescencia de Rayos X
Azufre, S	5.74	
Aluminio, Al	5.72	
Calcio, Ca	6.57	
Hierro, Fe	2.47	
Potasio, K	1.87	
Zinc, Zn	0.72	
Titanio, Ti	0.38	
Oxígeno, O	47.70	

8.2 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADO COMO ÓXIDOS

ANÁLISIS	RESULTADO, %	MÉTODO UTILIZADO
Óxido de silicio, SiO <sub>2</sub>	61.49	Fluorescencia de Rayos X <sup>(1)</sup>
Óxido de azufre, SO <sub>3</sub>	12.38	
Óxido de aluminio, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.45	
Óxido de calcio, CaO	8.67	
Óxido de hierro, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.35	
Óxido de potasio, K <sub>2</sub> O	2.18	
Óxido de zinc, ZnO	0.87	
Óxido de titanio, TiO	0.63	

<sup>(1)</sup>Balance de resultados de óxidos calculados del análisis elemental

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válido solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. Natalia Chávez  
Analista  
LABICER - UNI

M.Sc. Otilia Acha de la Cruz  
Responsable de Análisis  
Jefa de Laboratorio  
CQP 202

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

INFORME TÉCNICO N° 1143-18- LABICER

Página 1 de 2

ANEXO

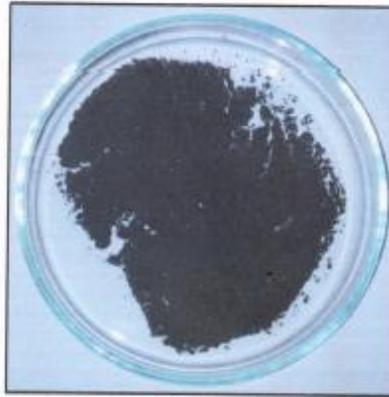


Figura N°1. Fotografía de la muestra de cenizas volantes de carbón.

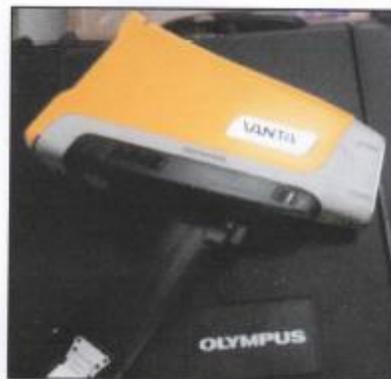


Figura N°2. Fotografía del analizador de Fluorescencia de Rayos X.





**ANEXO N° 25: PH DEL CEMENTO CON DIFERENTES PORCENTAJES DE CENIZAS VOLANTES DE CARBON**



CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES  
**“COLECBI” S.A.C.**

REGISTRADO EN LA DIRECCION GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES DE PESQUERIA - DIGAAP - PRODUCE

**INFORME DE ENSAYO N° 20180910-007**

Pág. 1 de 1

SOLICITADO POR : MARILUZ PAJUELO MILAGROS VERONICA  
 ULLOA PONCE JAVIER JOEL.  
 DIRECCIÓN : Pasaje Luzuriaga Mz B Lote 33 Casma.  
 PRODUCTO DECLARADO : ABAJO INDICADOS.  
 CANTIDAD DE MUESTRA : 04 muestras.  
 PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA : En bolsa de polietileno cerrada.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2018-09-10  
 FECHA DE INICIO DEL ENSAYO : 2018-09-10  
 FECHA DE TÉRMINO DEL ENSAYO : 2018-09-11  
 CONDICIÓN DE LA MUESTRA : En buen estado.  
 ENSAYOS REALIZADOS EN : Laboratorio de Físico Químico.  
 CÓDIGO COLECBI : SS 180910-7

**RESULTADOS**

MUESTRAS	ENSAYO
	pH
Cemento	13,42
Cemento + 5% Ceniza Volátil de Carbon	13,41
Cemento + 10% Ceniza Volátil de Carbon	13,37
Cemento + 20% Ceniza Volátil de Carbon	13,43

**METODOLOGÍA EMPLEADA**

pH : Potenciométrico.

**NOTA:**

- Informe de ensayo emitido en base a resultados realizados por COLECBI S.A.C.
- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Setiembre 12 del 2018.

GVR/jms

A. Gustavo Vargas Ramos  
 Director de Laboratorio  
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE  
 COLECBI S.A.C.