

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



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

**“INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE
COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON
AGREGADOS DEL RÍO LLAMACocha – CONCHUCOS 2021”**

AUTORES:

Bach. ALDEIR ALEXANDER POLO LOPEZ

Bach. JOSE LUIS ARCE FLORES

ASESOR:

Dr. Ing. ATILIO RUBEN LOPEZ CARRANZA

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2022

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



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL
"INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE
COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON
AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCHA – CONCHUCOS 2021"

REVISADO POR:



Dr. Ing. ATILIO RUBEN LOPEZ CARRANZA
ASESOR

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



UNSA
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

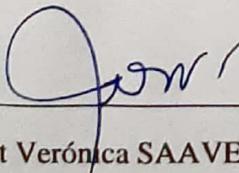
"INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE
COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON
AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"

CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS:



Ms. Julio César RIVASPLATA DIAZ

PRESIDENTE



Ms. Janet Verónica SAAVEDRA VERA

SECRETARIA



Dr. Atilio Rubén LOPEZ CARRANZA

INTEGRANTE



ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 27 días del mes de octubre del año dos mil veintidós, siendo las 12 horas de la mañana, en el Aula C-1 de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 490-2022-UNS-CFI, con fecha 30.09.2022, integrado por los siguientes docentes: Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Ms. Janet Verónica Saavedra Vera (Secretaria), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Integrante), y Ms. Luz Esther Álvarez Asto (Accesitaria), y en base a la Resolución Decanal N° 666-2022-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTÁNDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA - CONCHUCOS 2021", presentado por los Bachilleres: POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER con cód. N° 0201413042 y ARCE FLORES JOSÉ LUIS con cód. N° 0201413007, quienes fueron asesorados por el docente: Dr. Atilio Rubén López Carranza, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 506-2021-UNS-FI, de fecha 21.09.2021.

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

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER	17	BUENO

Siendo la 01 de la tarde del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 27 octubre de 2022.

Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Presidente

Ms. Janet Verónica Saavedra Vera
Secretaria

Dr. Atilio Rubén López Carranza
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

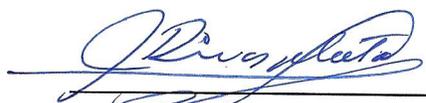
A los 27 días del mes de octubre del año dos mil veintidós, siendo las 12 horas de la mañana, en el Aula C-1 de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 490-2022-UNS-CFI, con fecha 30.09.2022, integrado por los siguientes docentes: Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Ms. Janet Verónica Saavedra Vera (Secretaria), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Integrante), y Ms. Luz Esther Álvarez Asto (Accesitaria), y en base a la Resolución Decanal N° 666-2022-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTÁNDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA - CONCHUCOS 2021", presentado por los Bachilleres: POLO LÓPEZ ALDEIR ALEXANDER con cód. N° 0201413042 y ARCE FLORES JOSÉ LUIS con cód. N° 0201413007, quienes fueron asesorados por el docente: Dr. Atilio Rubén López Carranza, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 506-2021-UNS-FI, de fecha 21.09.2021.

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

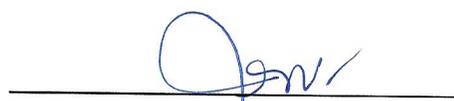
BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
ARCE FLORES JOSÉ LUIS	17	BUENO

Siendo la 01 de la tarde del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 27 octubre de 2022.



Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Presidente



Ms. Janet Verónica Saavedra Vera
Secretaria



Dr. Atilio Rubén López Carranza
Integrante

DEDICATORIA

Agradezco en primer lugar a Dios, quien me brinda destellos de luz que iluminan todo mi camino, otorgándome buena salud, fortaleza y sabiduría, acompañándome y guiándome con amor en este duro sendero de la vida permitiéndome ser una persona de bien cada día.

A mis adorados padres, Joaquín y Emiliana, por ser mi soporte e inspiración de mis ganas de superación, por sus sapientes consejos y por haberme inculcado sus buenos valores.

A mi hermano Jabín, y hermanas Iris, Mily, Milca y Rosita, y sobrinos que con sus ánimos y apoyo incondicional me han motivado a seguir adelante en los diferentes retos y dificultades que se han presentado en mi vida.

De forma especial, dedico este trabajo a mi hermana Grimaldina que, desde el cielo, sé que siempre me acompaña en cada paso que doy.

A la fuente de inspiración de mi vida, Martha, que me motiva e impulsa a seguir cumpliendo mis objetivos trazados.

A mis amigos y a todas las personas cercanas que me estuvieron alentando y apoyando continuamente para convertirme en lo que soy hoy en día.

Aldeir Alexander Polo López

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por haberme dado la vida y cuidado en todo momento tanto a mi como a mis padres y hermano, por guiarme en mi vida personal, profesional y espiritual; y por seguir dándome la fuerza y sabiduría suficiente para cumplir con mis metas propuestas.

A mis padres y hermano, que durante mis años de existencia, me inculcaron buenos valores y hábitos que me ayudaron a escoger el camino correcto en mi vida; asimismo por haber estado siempre presentes en los buenos y malos momentos, brindándome sus apoyos incondicionales día tras día.

A mis profesores y amigos, que compartieron sus conocimientos y experiencias, siendo de mucha importancia para mi formación profesional.

José Luis Arce Flores

AGRADECIMIENTO

De forma muy especial debemos agradecer a nuestro Padre Celestial, por bendecir nuestro camino y permitirnos cumplir esta meta soñada.

Agradecemos a todos los integrantes de nuestras familias, parientes cercanos y amigos en general porque nos han aconsejado para no desviarnos de nuestro objetivo e impulsarnos a seguir adelante hasta culminar con éxito este logro de nuestra formación profesional.

Expresamos un fraterno agradecimiento a nuestro asesor Dr. Ing. Atilio Rubén López Carranza, que estuvo en todo momento orientándonos y apoyándonos para la culminación de la presente tesis.

De forma especial hacemos llegar nuestro agradecimiento para el Ms. Ing. Julio Cesar Rivasplata Diaz, quien estuvo siempre a disposición brindándonos sus consejos y recomendaciones, absolviendo nuestras consultas de este estudio.

Agradecemos a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por transmitirnos sus enseñanzas de forma clara y siempre guiándonos inculcándonos ética y valores profesionales.

Finalmente, agradecemos a la Srta. Leydi Vásquez por su colaboración con la ceniza de carbón mineral de cocina, beneficiando al estudio, el cual contribuirá al fomento del uso de este material en el Distrito de Conchucos.

¡A todos ellos, gracias totales!

Aldeir A. Polo López y José L. Arce Flores

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	24
1.1. ANTECEDENTES	26
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	29
1.3. OBJETIVOS	33
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	33
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
1.4. FORMULACION DE HIPÓTESIS	34
1.4.1. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	34
1.4.1.1. VARIABLES DEPENDIENTES.....	34
1.4.1.2. VARIABLES INDEPENDIENTES	34
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	34
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
1.6.1. LIMITACIÓN ESPACIAL	35
1.6.2. LIMITACIÓN TEMPORAL	36
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	38
2.1. CONCRETO.....	38
2.1.1. DEFINICIÓN.....	38
2.1.2. COMPONENTES ESTÁNDAR PARA MEZCLAS DE CONCRETO.....	39
2.1.2.1. CEMENTO	39
2.1.2.1.1. DEFINICIÓN.....	39
2.1.2.1.2. ELABORACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND	39
2.1.2.1.3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO	41
2.1.2.1.4. TIPOS DE CEMENTO PORTLAND Y SUS APLICACIONES.....	41
2.1.2.1.5. REQUISITOS FÍSICOS Y QUÍMICOS	43
2.1.2.2. AGREGADOS	46
2.1.2.2.1. DEFINICIÓN.....	46
2.1.2.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS	47
2.1.2.2.2.1. AGREGADO FINO	47
2.1.2.2.2.2. AGREGADO GRUESO	49
2.1.2.2.2.3. AGREGADO GLOBAL	52
2.1.2.2.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	54
2.1.2.3. AGUA	58
2.1.2.3.1. DEFINICIÓN.....	58

2.1.2.3.2.	AGUAS NO APTAS EN LA ELABORACIÓN Y CURADO DEL CONCRETO	59
2.1.2.3.3.	REQUISITOS INDISPENSABLES SEGÚN NORMA NTP 334.088.	59
2.1.2.3.4.	USO DE AGUA DE MAR	60
2.1.2.4.	ADITIVOS.....	61
2.1.3.	PROPIEDADES DEL CONCRETO	62
2.1.3.1.	EN ESTADO FRESCO	62
2.1.3.1.1.	TRABAJABILIDAD	62
2.1.3.1.2.	CONSISTENCIA	62
2.1.3.1.3.	CALOR DE HIDRATACIÓN (TEMPERATURA).....	63
2.1.3.1.4.	DENSIDAD O PESO UNITARIO	64
2.1.3.1.5.	VACÍOS O CONTENIDO DE AIRE	64
2.1.3.2.	EN ESTADO ENDURECIDO.....	65
2.1.3.2.1.	RESISTENCIA	65
2.1.3.2.2.	DENSIDAD	65
2.1.3.2.3.	ABSORCIÓN.....	66
2.1.3.2.4.	PORCENTAJE DE VACÍOS.....	67
2.1.3.2.5.	DURABILIDAD	67
2.2.	CENIZAS Y PUZOLANA NATURAL COMO ADITIVO	67
2.2.1.	CENIZA VOLANTE DE CARBÓN.....	68
2.2.1.1.	CLASIFICACIÓN	68
2.2.1.1.1.	POR SU CONTENIDO DE CAL.....	68
2.2.1.1.2.	POR SU COMPOSICIÓN QUIMICA Y ORIGEN	69
2.2.1.2.	PROPIEDADES DE LAS CENIZAS VOLANTES	69
2.2.1.2.1.	PROPIEDADES FÍSICAS	69
2.2.1.2.2.	PROPIEDADES QUÍMICAS	71
2.2.2.	CENIZAS DE HOGAR O ESCORIAS.....	73
2.2.2.1.	DEFINICIÓN.....	73
2.2.2.2.	PROPIEDADES FISICAS DE LA CENIZA DE HOGAR	73
2.2.2.2.1.	GRANULOMETRÍA.....	73
2.2.2.2.2.	PESO ESPECÍFICO	73
2.2.2.3.	PROPIEDADES QUIMICAS	74
2.2.2.4.	OBTENCIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA PARA EL ESTUDIO... ..	75
2.2.2.4.1.	EXTRACCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	76
2.2.2.4.2.	ELABORACIÓN DE BOLAS DE CARBÓN	77
2.2.2.4.3.	PRODUCCIÓN Y RECOJO DE CENIZAS	77
2.3.	DISEÑO DE MEZCLAS PARA EL CONCRETO.....	78

2.4.	GLORARIO	81
2.5.	MARCO NORMATIVO	83
3.	CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	87
3.1.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	87
3.2.	DISEÑO EXPERIMENTAL	87
3.3.	UNIVERSO O POBLACIÓN	88
3.4.	MUESTRA.....	88
3.5.	ALCANCE DEL ESTUDIO.....	89
3.6.	PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	90
3.6.1.	OBTENCIÓN DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS EN EL LABORATORIO (MTC E 201)	90
3.6.2.	OBTENCIÓN DEL AGREGADO GRUESO Y FINO	91
3.6.3.	ENSAYOS DE LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO	92
3.6.3.1.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS	92
3.6.3.2.	PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS	97
3.6.3.2.1.	PESO UNITARIO SUELTO	98
3.6.3.2.2.	PESO UNITARIO COMPACTADO	99
3.6.3.3.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS	100
3.6.3.3.1.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.....	100
3.6.3.3.2.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	102
3.6.3.4.	CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	105
3.6.4.	DISEÑO DE MEZCLAS - MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA	107
3.6.4.1.	RESISTENCIA DE DISEÑO.....	108
3.6.4.2.	SELECCIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA.....	108
3.6.4.3.	SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	109
3.6.4.4.	SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO (SLUMP)	110
3.6.4.5.	SELECCIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE.....	112
3.6.4.6.	SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO	115
3.6.4.7.	CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO	116
3.6.4.8.	ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO Y FINO	117
3.6.4.9.	CORRECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS.....	119
3.6.5.	ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN EL LABORATORIO....	120
3.6.5.1.	MOLDEADO DE LOS TESTIGOS DE CONCRETO	124
3.6.5.2.	DESENCOFRADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO	127
3.6.5.3.	CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.....	127
3.6.6.	ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (NTP 339.035 / ASTM C 143).....	128
3.6.7.	TEMPERATURA DE LA MEZCLA DE CONCRETO (NTP 339.114)	131

3.6.8.	DENSIDAD DE PRODUCCIÓN Y CONTENIDO DE AIRE (Gravimétrico) (NTP 339.046)..	133
3.6.9.	REFRENTADO DE CILINDROS DE CONCRETO (NTP 339.037 / ASTM C 617)	137
3.6.10.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILÍNDRICOS (NTP 339.034).....	139
3.6.11.	PARÁMETROS DE ABSORCIÓN DEL CONCRETO	143
3.6.12.	DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL CONCRETO ENDURECIDO NTP 339.187	147
4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES	151
4.1.	RESULTADOS DE ENSAYOS DE LOS AGREGADOS	151
4.2.	ANÁLISIS DE LA CENIZA DE CARBÓN MINERAL DE COCINA	152
4.3.	DISEÑO DE MEZCLA.....	153
4.3.1.	DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN	153
4.3.2.	DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN + 5% DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL DE COCINA.....	154
4.3.3.	DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN + 10% DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL DE COCINA ..	155
4.3.4.	DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN + 15% DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL DE COCINA ..	157
4.3.5.	DISEÑO DE MEZCLA CON EL % ÓPTIMO DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL DE COCINA	158
4.4.	ENSAYO DE CONSISTENCIA.....	159
4.5.	ENSAYO DE TEMPERATURA.....	160
4.6.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	162
4.6.1.	RESULTADOS PARA CONCRETOS $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	162
4.6.1.1.	PORCENTAJE ÓPTIMO DE ADICIÓN DE CENIZA PARA CONCRETOS $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	166
4.6.2.	RESULTADOS PARA CONCRETOS $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	166
4.6.2.1.	PORCENTAJE ÓPTIMO DE ADICIÓN DE CENIZA PARA CONCRETOS $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	170
4.7.	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA PARA AMBOS CONCRETOS ÓPTIMOS.....	170
4.7.1.	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA PARA EL CONCRETO $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ ÓPTIMO CON 11% DE CCM	171
4.7.2.	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA PARA EL CONCRETO $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ÓPTIMO CON 10% DE CCM	180
4.8.	PESO UNITARIO (DENSIDAD) Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO (GRAVIMÉTRICO).....	187
4.8.1.	EN CONCRETOS $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	187
4.8.2.	EN CONCRETOS $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	189
4.9.	DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL CONCRETO ENDURECIDO.....	191
4.9.1.	EN CONCRETOS $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	191
4.9.2.	EN CONCRETOS $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	196
4.10.	CAPACIDAD Y VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO.....	201

4.10.1.	ABSORCIÓN EN CONCRETOS $F'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$	201
4.10.2.	ABSORCIÓN EN CONCRETOS $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	208
4.11.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS CONCRETOS ÓPTIMOS	215
4.12.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	221
4.13.	DISCUSIONES	224
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	227
5.1.	CONCLUSIONES	227
5.2.	RECOMENDACIONES	230
6.	CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES	232
7.	CAPÍTULO VII: ANEXOS	236
7.1.	ANEXO N° 01: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO	236
7.2.	ANEXO N° 02: ENSAYOS DE LOS AGREGADOS	237
7.3.	ANEXO N° 03: DISEÑOS DE MEZCLA	244
7.4.	ANEXO N° 04: ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO	254
7.5.	ANEXO N° 05: ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO	265
7.6.	ANEXO N° 06: ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CENIZA Y FINEZA	291
7.7.	ANEXO N° 07: EVALUACIÓN ECONÓMICA	294
7.8.	ANEXO N° 08: PANEL FOTOGRÁFICO	296

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Límites Granulométricos de Agregado Global de TMN 1 1/2"	53
Figura 2 Estados de Saturación del Agregado	56
Figura 3 Ubicación Satelital de la mina de carbón en Conchucos	76
Figura 4 Vista de la materia prima: A) Arcilla y B) Carbón mineral	77
Figura 5 Obtención de Cenizas: A) Bolas carbón secas y B) Ceniza de bolas de carbón calcinados	78
Figura 6 Molde para medir el asentamiento del concreto	129
Figura 7 Equipo para refrentado de cilindros de concreto endurecido	139
Figura 8 Tipos de falla en rotura de cilindros de concreto.....	142
Figura 9 Consideraciones para el corte de muestras para el Ensayo de Absorción (mm). .	145
Figura 10 Temperatura del concreto fresco para diferentes % de adición de CCM en ambas resistencias $f'c$	162
Figura 11 Porcentaje de ceniza de carbón mineral vs Resistencia Promedio a los 7 días en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	164
Figura 12 Porcentaje de ceniza de carbón mineral vs Resistencia Promedio a los 28 días en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	165
Figura 13 Rango Óptimo del % de Adición de Ceniza en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	166
Figura 14 Porcentaje de ceniza de carbón mineral vs Resistencia Promedio a los 7 días en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	168
Figura 15 Porcentaje de ceniza de carbón mineral vs Resistencia Promedio a los 28 días en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	169
Figura 16 Rango Óptimo del % de Adición de Ceniza en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	170
Figura 17 Histograma de Ensayos de resistencia a la compresión en concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ optimizado.....	176
Figura 18 Distribución Normal - Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ Optimizado con 11% CCM	179
Figura 19 Histograma de Ensayos de resistencia a la compresión en concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ optimizado.....	184
Figura 20 Distribución Normal - Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ Optimizado con 10% CCM	186
Figura 21 Histograma de comparación de densidad unitaria en concretos frescos adicionados $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	188
Figura 22 Histograma de comparación del % de vacíos en concretos frescos adicionados $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	189

Figura 23 Histograma de comparación de densidad unitaria en concretos frescos adicionados $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	190
Figura 24 Histograma de comparación del % de vacíos en concretos frescos adicionados $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	191
Figura 25 Gráfico de barras de Absorción por inmersión vs por hervido para concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM	193
Figura 26 Gráfico de barras de Densidades de los concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	194
Figura 27 Gráfico de dispersión de Densidades de los concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM	194
Figura 28 Gráfico de barras del % de vacíos permeables de los concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM	195
Figura 29 Gráfico de barras de Absorción por inmersión vs por hervido para concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	197
Figura 30 Gráfico de barras de Densidades de los concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	198
Figura 31 Gráfico de dispersión de Densidades de los concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM	199
Figura 32 Gráfico de barras del % de vacíos permeables de los concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM	200
Figura 33 Gráfico de dispersión de Capacidad promedio de Absorción en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	202
Figura 34 Histograma de capacidad de succión capilar en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	203
Figura 35 Velocidad de absorción por Aproximación lineal de concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM	204
Figura 36 Histograma de Velocidad de Absorción en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM	205
Figura 37 Histograma de Velocidad de Absorción Inicial en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	206
Figura 38 Histograma de Velocidad de Absorción Secundaria en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM	207
Figura 39 Gráfico de dispersión de Capacidad promedio de Absorción en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM	209

Figura 40 Histograma de capacidad de succión capilar en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	210
Figura 41 Velocidad de absorción por Aproximación lineal de concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	211
Figura 42 Histograma de Velocidad de Absorción en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	212
Figura 43 Histograma de Velocidad de Absorción Inicial en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	213
Figura 44 Histograma de Velocidad de Absorción Secundaria en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	214
Figura 45 Histograma de comparación de costos para concretos adicionados $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	216
Figura 46 Histograma de comparación de Resistencias a la Compresión para concretos adicionados $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	217
Figura 47 Histograma de evaluación Costo-Beneficio de las dosificaciones adicionadas del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	217
Figura 48 Histograma de comparación de costos para concretos adicionados $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	219
Figura 49 Histograma de comparación de Resistencias a la Compresión para concretos adicionados $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	219
Figura 50 Histograma de evaluación Costo-Beneficio de las dosificaciones adicionadas del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	220

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Componentes Químicos Principales de Materias Primas al fabricar del Cemento	40
Tabla 2	Porcentajes Típicos de los Óxidos que intervienen en el Cemento Portland	40
Tabla 3	Requisitos físicos ASTM C-150 para cementos Tipo I y II.....	44
Tabla 4	Requisitos químicos ASTM C-150 para cementos Tipo I y II.....	45
Tabla 5	Requisitos Granulométricos para el Agregado Fino	47
Tabla 6	Límites de sustancias dañinas en agregados finos	49
Tabla 7	Límites de Granulometría General del Agregado Grueso.....	50
Tabla 8	Límites de partículas dañinas en agregado grueso	51
Tabla 9	Límites Granulométricos del Agregado Global	52
Tabla 10	Límites permisibles para agua de mezcla y de curado según la norma NTP 339.088	59
Tabla 11	Propiedades Físicas Principales de las Cenizas Volantes	70
Tabla 12	Requisitos Físicos para Puzolanas Naturales o Cenizas Volantes	71
Tabla 13	Composición Típica de las Cenizas Volantes	72
Tabla 14	Requisitos Químicos para Puzolanas Naturales o Cenizas Volantes	73
Tabla 15	Resultados de caracterización de las Cenizas de Hogar.....	74
Tabla 16	Análisis Químico de cenizas de carbón mineral (% en masa) - Termopaipa.....	75
Tabla 17	Cantidad de Cilindros de Concreto de 150mm x 300mm para ambas resistencias de diseño $f'c$	89
Tabla 18:	Cantidad de cilindros de 100mm x 200mm para ambas resistencias $f'c$	89
Tabla 19	Serie de Tamices para la Granulometría del Agregado Grueso y Fino.....	94
Tabla 20	Cantidad mínima de muestra para el tamizado agregado grueso	95
Tabla 21	Límites Granulométricos para Agregado Grueso.....	96
Tabla 22	Límites Granulométricos para Agregado Fino.....	97
Tabla 23	Peso mínimo de la muestra de Agregado Grueso	104
Tabla 24	Peso mínimo de la muestra de agregado	106
Tabla 25	Resistencia a la Compresión Promedio Requerida	108
Tabla 26	Factor de Modificación para la desviación estándar	109
Tabla 27	Requisitos granulométricos ASTM C-33 para agregado grueso en % pasante acumulativo	110
Tabla 28	Selección del asentamiento para construcciones más comunes	111
Tabla 29	Volumen unitario de agua elaborado por el comité 211 del ACI.....	112
Tabla 30	Volumen Unitario de Agua elaborado por la UNI	113

Tabla 31	Contenido de Aire atrapado o Natural.....	114
Tabla 32	Relación Agua- Cemento por Resistencia.....	116
Tabla 33	Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados	118
Tabla 34	Número de capas requeridas en la elaboración de muestras	125
Tabla 35	Diámetro de varilla compactadora y número de golpes por capa	126
Tabla 36	Capacidad mínima de los medidores para ensayo de densidad.....	133
Tabla 37	Esfuerzo de compresión y máximo espesor de la capa de refrentado.....	137
Tabla 38	Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes	141
Tabla 39	Variación en la precisión de resultados.....	142
Tabla 40	Propiedades Físicas del Agregado Fino	151
Tabla 41	Propiedades Físicas del Agregado Grueso.....	151
Tabla 42	Composición Química de la Ceniza Expresado en Óxidos.....	152
Tabla 43	Finura de la Ceniza expresado como el porcentaje retenido en el tamiz N° 325..	152
Tabla 44	Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	153
Tabla 45	Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	154
Tabla 46	Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 5\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina	154
Tabla 47	Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 5\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina	155
Tabla 48	Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 10\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina	156
Tabla 49	Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 10\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina	156
Tabla 50	Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 15\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina	157
Tabla 51	Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 15\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina	157
Tabla 52	Dosificación del Concreto Óptimo $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 10\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina	158
Tabla 53	Dosificación del Concreto Óptimo $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 11\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina	159
Tabla 54	Asentamiento para cada tipo de concreto y su Porcentaje de adición de Ceniza..	160
Tabla 55	Temperatura del Concreto ($^{\circ}\text{C}$) para cada adición de ceniza y tipo de concreto ..	161

Tabla 56 Resistencias a la compresión a los 7 días con el 0%, 5%, 10% y 15% de ceniza de carbón mineral de cocina en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	162
Tabla 57 Resistencias a la compresión a los 28 días con el 0%, 5%, 10% y 15% de ceniza de carbón mineral de cocina en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	163
Tabla 58 Resistencia Promedio con diferentes porcentajes de ceniza de carbón mineral de cocina a los 7 días y porcentaje alcanzado en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	163
Tabla 59 Resistencia Promedio con diferentes porcentajes de ceniza de carbón mineral de cocina a los 28 días y porcentaje alcanzado en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	164
Tabla 60 Resistencias a la compresión a los 7 días con el 0%, 5%, 10% y 15% de ceniza de carbón mineral de cocina en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	166
Tabla 61 Resistencias a la compresión a los 28 días con el 0%, 5%, 10% y 15% de ceniza de carbón mineral de cocina en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	167
Tabla 62 Resistencia Promedio con diferentes porcentajes de ceniza de carbón mineral de cocina a los 7 días y porcentaje alcanzado en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	167
Tabla 63 Resistencia Promedio con diferentes porcentajes de ceniza de carbón mineral de cocina a los 28 días y porcentaje alcanzado en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	168
Tabla 64 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para evaluación estadística del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ optimizado	172
Tabla 65 Valores de dispersión en el control estadístico del concreto.....	173
Tabla 66 Incremento de valores de desviación estándar cuando se tienen menos de 30 ensayos	174
Tabla 67 Resumen de parámetros para estadística descriptiva de Ensayos de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con adición de CCM	175
Tabla 68 Frecuencia de ensayos de resistencia a la compresión de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con adición de CCM.....	176
Tabla 69 Valores de Distribución Normal para concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ Optimizado.....	178
Tabla 70 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para evaluación estadística del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ optimizado	181
Tabla 71 Resumen de parámetros para estadística descriptiva de Ensayos de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con adición de CCM	183
Tabla 72 Frecuencia de ensayos de resistencia a la compresión de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con adición de CCM.....	184
Tabla 73 Valores de Distribución Normal para concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ Optimizado.....	185

Tabla 74 Densidad (Peso unitario) y % de vacíos para concretos adicionados $f'c = 175$ kg/cm ² en estado fresco.....	187
Tabla 75 Densidad (Peso unitario) y % de vacíos para concretos adicionados $f'c = 210$ kg/cm ² en estado fresco.....	189
Tabla 76 Valores finales de la densidad, absorción y porcentaje de vacíos de concretos $f'c = 175$ kg/cm ² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	192
Tabla 77 Valores finales de la densidad, absorción y porcentaje de vacíos de concretos $f'c = 210$ kg/cm ² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	197
Tabla 78 Capacidad promedio de absorción en concretos $f'c = 175$ kg/cm ² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	201
Tabla 79 Capacidad de Succión capilar en concretos $f'c = 175$ kg/cm ² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	202
Tabla 80 Velocidad de Absorción en concretos $f'c = 175$ kg/cm ² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	204
Tabla 81 Velocidad de Absorción Inicial en concretos $f'c = 175$ kg/cm ² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	205
Tabla 82 Velocidad de Absorción Secundaria en concretos $f'c = 175$ kg/cm ² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	207
Tabla 83 Capacidad promedio de absorción en concretos $f'c = 210$ kg/cm ² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	208
Tabla 84 Capacidad de Succión capilar en concretos $f'c = 210$ kg/cm ² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	209
Tabla 85 Velocidad de Absorción en concretos $f'c = 210$ kg/cm ² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	211
Tabla 86 Velocidad de Absorción Inicial en concretos $f'c = 210$ kg/cm ² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	213
Tabla 87 Velocidad de Absorción Secundaria en concretos $f'c = 210$ kg/cm ² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM.....	214
Tabla 88 Comparación de costo-beneficio en concretos $f'c = 175$ kg/cm ² con adiciones de CCM.....	216
Tabla 89 Comparación de costo-beneficio en concretos $f'c = 210$ kg/cm ² con adiciones de CCM.....	218

RESUMEN

Este trabajo de indagación se fundamenta en la adición de cenizas de carbón mineral de cocina a los concretos $f'c = 175\text{kg/cm}^2$ y $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$ elaborados con agregados de río, para evaluar su influencia en la resistencia a la compresión, temperatura, densidad, absorción y vacíos. La ceniza es un residuo obtenido de la combustión en estufas de hogar, de bolas preparadas de carbón y arcilla especial. Este producto y agregados son provenientes del Distrito de Conchucos-Pallasca.

Para el análisis se han realizado diseños de mezcla “patrón” sin adición para ambas resistencias que fueron las bases de la comparación con los concretos adicionados en dosificaciones del 5%, 10% y 15% del peso del cemento. Se usó el método de diseño de mezcla del Módulo de Fineza. Así mismo, se elaboraron testigos para los concretos convencional y adicionados de 150 mm x 300 mm y de 100 mm x 200 mm para el estudio de todas las propiedades mencionadas.

Se concluye que el uso de cenizas de carbón mineral de cocina como adición en los concretos estándar influyen de forma significativa mejorando sus propiedades, donde los porcentajes óptimos fueron de 11% y 10%, para mezclas $f'c = 175\text{kg/cm}^2$ y $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$, respectivamente. La resistencia a la compresión alcanzada para cada tipo de concreto fue de 213.02 kg/cm^2 y 275.30 kg/cm^2 . Además, la temperatura tiene un ligero incremento, la densidad para el concreto en estado fresco disminuye, pero en estado endurecido aumenta, y la absorción con los vacíos del concreto disminuyen favorablemente a medida que la cantidad de ceniza se incrementa.

Palabras Claves: ceniza de carbón mineral de cocina, agregado de río, diseño de mezcla del concreto, concreto convencional, concreto adicionado y cemento portland tipo Ico.

ABSTRACT

This work of research is based on the addition of cooking mineral coal ash to concrete $f'c = 175$ kg/cm² and $f'c = 210$ kg/cm² produced with river aggregates, to evaluate its influence on compression resistance, temperature, density, absorption and voids. The ash is a residue obtained from combustion in home stoves, prepared balls with charcoal and special clay. This product and aggregates are coming from the Conchucos district -Pallasca.

For the analysis, "pattern" mixture designs have been made without addition for both resistances that were the bases of comparison with the concrete arranged in different dosages of 5%, 10% and 15% of the cement weight. The Fineness Modulus mix design method was used. Likewise, concrete specimens were elaborated for conventional and added concrete of 150 mm x 300 mm and 100 mm x 200 mm for studying all the properties mentioned.

It is concluded that the use of cooking mineral coal ash as an addition in standard concrete influences significantly improving its properties, where the optimal percentages were 11% and 10%, for concrete mixtures of $f'c = 175$ kg / cm² and $f'c = 210$ kg / cm², respectively. The compression resistance reached for each type of concrete was 213.02 kg / cm² and 275.30 kg / cm². Furthermore, the temperature has a slight increase, the density for concrete in the fresh state decreases but in the hardest state it increases, and the absorption with empty of the concrete decrease favorably as the amount of ash in the mix is increased.

Keywords: cooking mineral coal ash, river aggregate, concrete mix design, conventional concrete, added concrete and Portland cement type Ico.

CAPÍTULO I:
INTRODUCCIÓN

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El estudio de las propiedades del concreto, como consecuencia de las características de sus componentes, es un tema que se ha venido investigando desde hace muchos años. En esta línea, han contribuido a mejorar y optimizar las propiedades con dosificaciones adecuadas para los agregados, cemento, agua y también aditivos presentes en las mezclas.

Por otro lado, hoy en día se prioriza encontrar nuevos productos para mitigar la demanda bruta de los materiales comunes del concreto y reducir su impacto en la contaminación que genera el empleo del mismo. Es así que, surge la idea de aprovechar recursos naturales y darle un uso eficiente a residuos que muchas veces contaminan los ríos, como es el caso de las cenizas de carbón mineral de cocina.

La incorporación del agregado de río en el concreto no es un tema nuevo, pero en muchas zonas del Perú, no hay estudios suficientes que garanticen el uso correcto de sus dosificaciones, o que se utilice como material sustituto del agregado procesado que día a día se explotan miles de metros cúbicos.

Las cenizas volantes en el mundo se vienen utilizando en el concreto desde hace muchos años, quedando demostrado la actividad puzolánica que poseen. Sin embargo, en el Perú, recientemente, en busca de nuevos aditivos, se viene usando a baja escala el estudio de cenizas de carbón mineral, sobre todo en el caso de la estabilización de suelos, pero muy poco o nada para el concreto y menos con agregado de río. En la localidad de Conchucos, existe una problemática ecológica con este residuo de las cenizas de estufa, las cuales, son depositadas en zonas contraproducentes. En tal sentido, se pretende utilizar estas cenizas como adición a

las mezclas de concreto con agregado redondeado y determinando un rango óptimo (%) para darle un uso adecuado y ecológico.

La presente tesis está compuesta por VII capítulos que se mencionan a continuación:

En el CAPITULO I, se dan a conocer: antecedentes, formulación del problema, objetivos de la investigación, hipótesis, justificación y limitaciones de la investigación.

Dentro el CAPITULO II, se encuentran los aspectos teóricos, en base a diversos autores, que estén alineados con el horizonte de la investigación. Comprende, además, la definición de términos claves que ayuden a mejorar la comprensión al lector.

En el CAPITULO III, se describen: materiales utilizados en la investigación, metodología de la investigación precisando el diseño de investigación, población y muestra, los instrumentos y procedimiento de recolección de datos. Descritos de forma puntual y precisa, en la secuencia en que se desarrolló el estudio.

En el CAPITULO IV, están los Resultados de la totalidad de las pruebas y/o ensayos normativos realizadas para el fin de la investigación con el contraste de la hipótesis y sus discusiones correspondientes.

En el CAPITULO V, se patentan las conclusiones que surgieron de la indagación y se presentan algunas recomendaciones.

En el CAPITULO VI se muestran las referencias bibliográficas y virtuales.

Por último, en el CAPITULO VII se detallan los Anexos que abarcan fotografías, diseños de mezcla, memorias de cálculos, certificados y ensayos realizados, los cuales acreditan a los resultados que se obtuvieron en la investigación.

1.1. ANTECEDENTES

Desde finales del siglo XIX se comenzó a utilizar las cenizas volantes que resultaban de la calcinación del carbón en las fábricas de cemento. En sus inicios, se empleaba el carbón pulverizado como combustible, lo cual dio nacimiento a la generación de residuos a gran escala. El problema persiste hoy en día, las cenizas volantes deben ser reutilizadas para contribuir con la disminución de agentes contaminantes.

En ese mismo sentido, existen muchas ciudades del país donde se utiliza el carbón mineral como materia prima para la combustión. Sirve para elaborar bolas de carbón mezcladas con arcilla especial disuelta en agua y que, al secarlas, se aprovecha como combustible en las cocinas (estufas). Tal es el caso del distrito de Conchucos que produce cantidades considerables de estos residuos artesanales que son desechados diariamente de forma inapropiada en los glaciares de los ríos.

En distintas ciudades del país existen diversos estudios para agregados de río. Muchas de estas ciudades no cuentan con las posibilidades y mucho menos con la tecnología adecuada para obtener agregados procesados. En tal sentido, solo se busca utilizar los agregados que están en zonas aledañas de cada pueblo. Del mismo modo, en algunos trabajos de investigación se ha verificado el comportamiento de cenizas volantes de carbón, pero con agregados que no son de río. En evidencia de ello es que se han realizado investigaciones tales como las que se describen a continuación:

Cueva, E. y Muñoz C. (2016). En su tesis “**Características del concreto en estado fresco y endurecido fabricado con agregado global del río Canchan, Chillia-Pataz-La Libertad**”. Señalan que luego de determinar las propiedades químicas del agregado global de la cantera del río Canchan, se encontraron valores dentro de los rangos estipulados en la NTP. 334.090, por tanto, estas propiedades no inciden

significativamente en el diseño de mezcla de concreto. Así mismo, concluye que dichas características son óptimas para realizar el diseño de mezcla utilizando el método del módulo de fineza en combinación de los agregados.

Las cenizas volantes de carbón adicionadas en porcentajes del 5%,10% y 20 % mejora las propiedades de durabilidad y resistencia del concreto. Así como, al añadir el 10% de cenizas volantes de carbón, se obtuvo una probabilidad del 100% que las resistencias logradas sean superiores a la de diseño contenidas entre 215 kg/cm² y 241 kg/cm² a la edad de 28 días; concluyen en su tesis de investigación Mariluz, M. y Ulloa, J. (2018), p.123. Titulada: **“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”**.

Sánchez, R. y Chong, E. (2019) en su tesis **“Diseño de concreto con f’c = 175 kg/cm², 210 kg/cm² y 280 kg/cm² con agregado grueso del río Huallaga y agregado fino del río Sisa”** concluyen que, en la verificación de las resistencias de testigos mediante su rotura a los 28 días, se obtienen resultados por encima del 100% de la resistencia requerida. Esto, favorece a la teoría de que las características físicas y químicas de los agregados no afectan significativamente en la resistencia a la compresión final.

Camacho, M. (2017). En su tesis **“Análisis de las características mecánicas del concreto convencional usando agregado global del río Bado Huamachuco-La Libertad y aditivo Chema”** concluye que el desempeño en resistencia usando el aditivo chema 3 al 3% en la elaboración de concreto con agregado de río, existe una gran diferencia de resultados respecto a la muestra patrón a los 7, 14 y 28 días.

Al utilizar agregado de cerro sin verificar ni modificar el diseño original, la resistencia final obtenida del concreto a los 28 días, decrece. Para el concreto $f'c=140$ kg/cm² se reduce 10.68%, para $f'c=210$ kg/cm² disminuye 7.49% y para $f'c=175$ kg/cm² disminuye 6.19%. Así mismo, ambos agregados fino y grueso de río no cumplen a cabalidad lo que especifican las normas ASTM C 33 y NTP 400.037. (Torres, K. 2017, p. 83.). En su tesis “**Evaluación de la influencia en la resistencia del concreto $f'c = 140$ kg/cm², $f'c = 175$ kg/cm² y $f'c = 210$ kg/cm² usando agregado del río o agregado de cerro en Cajamarca**”.

Por otro lado, y a tener en consideración, Castro, H. (2014). En su tesis “**Influencia de la temperatura del agua en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210$ kg/cm², utilizando agregados del rio cajamarquino**” concluye que la temperatura ideal de agua para la elaboración de concretos con agregados de río es de 60°C, ya que mediante esta temperatura se logró una mayor resistencia a la compresión respecto a valores de calor más bajos. En tal sentido la resistencia del concreto para estos agregados es influenciada de gran manera en la resistencia del concreto a los 28 días.

Rios, N. y Neyra, A. (2020, p. resumen) en su tesis “**Influencia de las cenizas de carbón mineral en las propiedades de una subrasante arcillosa en Huamachuco, La Libertad**” investigó una muestra patrón y otras con adiciones de distintos porcentajes de ceniza, concluyendo favorablemente que en el ensayo de CBR al 100% y 95% de la muestra patrón se alcanzó 10.3% y 8.5%, y para una adición del 28% de cenizas de carbón se obtuvo 69% y 59.2%, respectivamente. Entre otras propiedades, mejoró significativamente su máxima densidad seca, disminuyó su plasticidad, obteniendo una subrasante buena y satisfactoria para el tipo de suelo.

En la localidad de Chimbote, y en general en el departamento de Áncash, no se han encontrado antecedentes locales con la utilización de agregados de río con adiciones y menos con cenizas de carbón mineral de cocina en concretos. En tal sentido, es de gran importancia generar conocimiento para la población y que puedan diversificar el uso de aditivos al momento de realizar mezclas de concreto. Con ello, se contribuirá al uso eficiente de los recursos para mitigar el avance descomunal de la extracción de materias primas en la elaboración del cemento, proceso que contaminan nuestro medio.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

El boom de la construcción se generó hace unos años en la capital, y como siempre es el proceso, este modelo llega a los lugares más recónditos del Perú. Tal es el caso del Distrito de Conchucos, que en los últimos años se ha producido un crecimiento significativo de las construcciones con material noble donde, como se sabe, principalmente predomina el uso del concreto armado. Sin embargo, la construcción se viene dando de manera informal, donde no existe control técnico y mucho menos estudios que certifiquen la calidad de materiales que se vienen empleando.

En la normativa peruana, en lo que respecta a la norma de concreto armado RNE E.060 y manual de ensayo de materiales versión 2016, se establecen parámetros mínimos a cumplir de los agregados y un control de calidad para su uso. La preocupación radica en que los agregados son de canteras de río, donde las arenas adecuadas son escasas o casi nulas, los cuales, según investigaciones en otras regiones del Perú, certifican que no todos estos agregados son apropiados. Por ejemplo, para la elaboración de concreto, la dosificación de estos materiales es diferente al que corresponde con agregado de piedra chancada. En tal sentido, se debe garantizar el uso adecuado de los agregados para un buen concreto estructural.

Asimismo, según la zonificación sísmica en la Norma E.030, al distrito de Conchucos le corresponde la zona 3, por ende, es de suma importancia que las construcciones por lo menos comiencen a adoptar parámetros mínimos que garanticen una seguridad sísmica. Si bien, está normalizado en el escrutinio social, que en la sierra de nuestro país es poco probable la suscitación de eventos sísmicos de considerable magnitud, cabe mencionar que en el terremoto de 1946 esta zona fue ampliamente afectada.

Heim, A. (1949) señala que este terremoto fue uno de los de mayor intensidad en la región andina, con una magnitud de 7.2 Ms, donde fallecieron aproximadamente unas 2500 personas. Así mismo, Jara, R. (s.f.) en su libro titulado “Conchucos destruido por el terremoto” comentan los detalles con relatos de testigos presenciales durante este evento sísmico. Actualmente, según reportes del IGP, este terremoto estaría clasificado en segundo lugar luego del terremoto de Yungay en 1970, como los más devastadores.

Por otro lado, el carbón mineral es usado cotidianamente en esta ciudad, alrededor del 35% de familias continúan utilizando este elemento como combustible base para la cocción de sus alimentos en estufas. Con la mezcla de este producto más la arcilla disuelta en agua, se elaboran bolas de carbón, que luego de secarse, sirven para la combustión. En el proceso, se genera grandes cantidades de cenizas provenientes de las cocinas (estufas), las cuales son desechadas como basura en los recolectores. Al no existir botaderos adecuados, las cenizas son arrojadas en las orillas de los ríos causando su contaminación irreversible.

Hoy en día, existe un interés particular por el aprovechamiento de residuos industriales para modificar y sobre todo mejorar las propiedades del concreto. De esta forma se contribuye al uso de productos reciclados y lograr a largo plazo,

apaciguar las grandes emisiones de gases de efecto invernadero que produce la elaboración de cemento utilizado en un concreto tradicional.

A nivel mundial, no existe un material como el cemento que sea más utilizado de forma masiva en el rubro de la construcción, tal parece que no se avecina ningún material que le haga frente en el futuro. Por ende, es muy importante investigar nuevos materiales que reemplacen en cierta medida a los componentes tradicionales del concreto. Este es el caso de la ceniza artesanal de carbón mineral que se puede clasificar como parte de una ceniza volante, cumpliendo los requisitos mínimos.

Para la norma NTP 339.047 (sobre definiciones y terminologías relativas al concreto y agregados) las cenizas volantes se obtienen como el producto de la combustión del carbón dividido finamente, ya sea en trozos o polvo, y que es transportado desde su almacenamiento por los gases de combustión. Según el catálogo de residuos utilizables en construcción del Ministerio de Fomento del Gobierno de España (2011, 1) y de acuerdo a la norma española UNE-EN 450-1:2006+A1:2013, indica que las cenizas volantes son “un polvo fino con partículas principalmente esféricas, cristalinas, originadas por la combustión del carbón pulverizado, con o sin materiales de combustión, que tiene propiedades puzolánicas donde priman el SiO_2 y Al_2O_3 ”.

Vera y Zambrano (2013, página de resumen) en su tesis “Uso de las cenizas activadas del carbón proveniente de los calderos industriales, como sustituto parcial de cemento, para fabricar morteros de cemento” sostiene que, al promover la reutilización de cenizas volantes en la elaboración del concreto, reduce el porcentaje de materia prima utilizada (principalmente el cemento) mejorando sus propiedades y reduciendo las emisiones de dióxido de carbono (CO_2). La cantidad de dióxido de carbono generado en la fabricación del

cemento es mucho mayor en contraste con lo que producen las cenizas volantes, puesto que han pasado por un proceso térmico de oxidación a alta temperatura.

“El concreto adicionado con ceniza volante proporciona una mayor protección al acero de refuerzo ante la actuación de agentes naturales perjudiciales externos e incrementa la resistencia a los sulfatos”. Menciona Mariluz y Ulloa (2018, p.5).

En su informe técnico indica que al concreto se le debe añadir porciones de 20 o 25% de ceniza de carbón, para incrementar su resistencia y disminuir el costo. Así mismo, señala que las cenizas volantes no requieren otro proceso adicional pudiendo emplearse de forma directa en la preparación de concretos (Perez, c.p. Mariluz y Ulloa, 2018, p.5).

Entonces, al adicionar cenizas volantes al concreto se beneficia significativamente a sus propiedades haciéndolo más eficiente y sostenible. De esta manera, coadyuva a la disminución de los costos de transporte de las cenizas a los botaderos y a la par beneficia al ambiente. Cabe mencionar que, según Monzón, Pereyra y Basadella (2010, p.285) en el mundo se produce anualmente 600 millones de cenizas de carbón, donde un 80% son cenizas volantes. La ceniza volante está considerada como el quinto recurso más utilizado como materia prima a nivel mundial. Además, solo en Estados Unidos se produjeron aproximadamente 180 millones de metros cúbicos de concreto usando alrededor del 50% de cenizas volantes supliendo al cemento.

Por lo tanto, al no aplicarse los parámetros mínimos en las construcciones de esta localidad, es de suma importancia generar, investigar y proporcionar nuevas formas del uso correcto de los agregados de la cantera de río Llamacocha en la elaboración de concretos estructurales, optimizándolos mediante la adición de cenizas de carbón

mineral utilizado en las cocinas de la zona. Además, siendo escasos los estudios directos de estas cenizas que hayan sido usadas en un concreto elaborado con agregado de río, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Influirán de forma significativa las cenizas de carbón mineral de cocina en concretos estándar elaborados con agregados del río Llamacocha del distrito de Conchucos?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la influencia de cenizas de carbón mineral de cocina en concretos estándar elaborados con agregados del río Llamacocha del distrito de Conchucos.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar las características físicas y mecánicas del agregado del río Llamacocha según la norma E.060 y las normas ASTM correspondientes, así como la composición química de la ceniza de carbón mineral de cocina.
- Elaborar mezclas de concretos de $f'c=175\text{kg/cm}^2$ y $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con agregados de río adicionando cenizas de carbón de cocina en porcentajes del 5%, 10% y 15% del peso del cemento.
- Realizar el análisis comparativo de la resistencia a la compresión de concretos de $f'c=175\text{kg/cm}^2$ y $f'c=210\text{kg/cm}^2$ a los 7 y 28 días para cada porcentaje de ceniza de carbón mineral de cocina añadida, y seleccionar el rango más óptimo.
- Analizar los resultados de los ensayos de temperatura, densidad, absorción y vacíos del concreto convencional y el concreto adicionado, en estado fresco y endurecido según corresponda.
- Realizar una evaluación económica de los insumos del diseño final del concreto comparados con el porcentaje óptimo de ceniza de carbón mineral de cocina.

1.4. FORMULACION DE HIPÓTESIS

De forma declarativa

Las cenizas de carbón mineral de cocina influirán de forma significativa en la resistencia a la compresión, temperatura, densidad, absorción y vacíos de concretos $f'c = 175\text{kg/cm}^2$ y $f'c = 210\text{kg/cm}^2$, elaborados con agregados del río Llamacocha del distrito de Conchucos.

De forma interrogativa

¿Influirán de forma significativa las cenizas de carbón mineral de cocina en la resistencia a la compresión, temperatura, densidad, absorción y vacíos de concretos $f'c = 175\text{kg/cm}^2$ y $f'c = 210\text{kg/cm}^2$, elaborados con agregados del río Llamacocha del distrito de Conchucos?

1.4.1. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1.1. VARIABLES DEPENDIENTES

La resistencia a la compresión, temperatura, densidad, absorción y vacíos de los concretos $f'c = 175\text{kg/cm}^2$ y $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ elaborados con agregados de río adicionando la ceniza de carbón de cocina.

1.4.1.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

El agregado global de río y la ceniza de carbón mineral de cocina.

1.5. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se sustenta en encontrar un diseño óptimo para concretos de resistencias a la compresión de 175 kg/cm^2 y 210kg/cm^2 con agregado global de la cantera del río Llamacocha adicionando ceniza de carbón de cocina propio de la zona, y que se puedan emplear favorablemente en las construcciones. Se plantea dar uso ecológico a las cenizas generadas en las cocinas (estufas) conchucanas, puesto

que, estos desechos son eliminados de forma incorrecta en las riberas de los ríos, provocando así consecuencias drásticas en contra de la conservación de nuestro planeta y favoreciendo a la degradación de nuestros recursos naturales.

La ceniza empleada es un desecho artesanal, siendo una ceniza con alto contenido de óxidos de silicio y aluminio se puede comparar con la adición de cenizas volantes y puzolanas a los concretos, en donde se han comprobado grandes beneficios. Se puede lograr el aumento de las resistencias y mejorar las propiedades del concreto, así como disminuir los problemas frecuentes de ataques por cloruros, sulfatos y reacciones de índole álcali-agregados. Así, se garantiza mayor tiempo de vida útil del concreto.

Se pretende generar conocimiento científico para el empleo adecuado de los agregados de río y cenizas de carbón mineral de cocina con los parámetros y exigencias mínimas de la normativa peruana. De esta forma se contribuirá a un desarrollo óptimo de las futuras construcciones del distrito de Conchucos y demás lugares que cuenten con estos recursos, beneficiando en la economía y seguridad de las mismas. De esta manera, el uso de estos materiales estará mejorando la calidad de vida de sus moradores con nuevas edificaciones sustentables, económicas y ecológicas para el futuro.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. LIMITACIÓN ESPACIAL

Este trabajo de investigación se realizó elaborando mezclas de concreto de resistencias $f'c = 175\text{kg/cm}^2$ y $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ como muestras patrón y con adición de cenizas de carbón mineral de cocina. Los ensayos para obtener las propiedades físicas y mecánicas de los componentes del concreto y los ensayos de evaluación para las propiedades de resistencia a la compresión, temperatura, densidad, absorción

y vacíos de los concretos se hicieron en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional del Santa. Por último, el agregado global de río y la ceniza de carbón mineral son provenientes del Distrito de Conchucos, y el cemento Pacasmayo Tipo Ico fue adquirido en Nuevo Chimbote.

1.6.2. LIMITACIÓN TEMPORAL

La duración de esta investigación comprende desde el mes de febrero hasta el mes de agosto del año 2022.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. CONCRETO

2.1.1. DEFINICIÓN

El concreto se obtiene generalmente mediante la mezcla de cemento, agua y agregados, de forma facultativa puede añadirse ciertos aditivos. En su estado inicial de preparación presenta una consistencia plástica y moldeable, para que posteriormente cambie completamente a una estructura rígida presentado propiedades resistentes y aislantes. Así mismo, la preparación y dosificación se hace de forma controlada en proporciones establecidas con criterio y diseño según el requerimiento para el que está destinado (**Rivva, 2015, p.37**).

Por otro lado, el concreto presenta una estructura interna heterogénea e isotrópica ya estipulada, aparte de contener los insumos básicos, también se encuentran el aire y/ los vacíos. Esto radica en la capacidad de adherirse de la pasta aglutinante con todos los componentes, desde el acomodo de cada partícula hasta esfuerzos de tracción y compresión. Asimismo, los vacíos (poros) cumplen una función determinante en la mezcla, ya que, tras la función lubricante del agua inicial, tras el endurecimiento aportan el comportamiento del concreto con el agua, siendo la capacidad de absorción (**Pasquel, 1998, p.129**).

Del concreto se desprenden muchas propiedades, las principales en estado fresco son: trabajabilidad, consistencia, calor de hidratación, segregación, exudación y contracción; y en estado endurecido tiene esencialmente a la resistencia, extensibilidad, durabilidad, densidad, elasticidad, porcentaje de vacíos, absorción, etc.

2.1.2. COMPONENTES ESTÁNDAR PARA MEZCLAS DE CONCRETO

2.1.2.1. CEMENTO

2.1.2.1.1. DEFINICIÓN

Es definido como “Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire. Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos” (RNE E060, 2009, p. 14).

Mientras que, el Cemento Portland es el resultado obtenido de la pulverización del clinker portland con la adición de sulfato de calcio. Asimismo, se pueden adicionar otros productos que no superen el 1% en peso del total, siempre que la inclusión no afecte las características del cemento final. Estos diferentes adiconamientos deberán ser pulverizados en conjunto con el clinker. (RNE E060, 2009, p. 14)

2.1.2.1.2. ELABORACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

Inicialmente el proceso de elaboración está conformado por la selección y explotación de las materias primas; en donde los componentes químicos principales de estas materias y sus proporciones generales para la fabricación del Cemento Portland, son los mostrados en la **Tabla 1**.

La materia prima, material calizo y material arcilloso, se tritura, mezcla y muele hasta reducirla a un polvo fino. Los procedimientos de mezcla y molido pueden efectuarse en seco o húmedo. La dosificación de los materiales debe ser la adecuada a fin de evitar perjuicio en la calidad. El polvo fino pasa a un horno rotatorio donde es calentado lentamente hasta el punto de clinkerización. En la etapa del proceso de calentamiento el agua y el anhídrido carbónico son expulsados. Al acercarse la mezcla a las regiones más calientes del horno se producen las reacciones químicas

entre los constituyentes de la mezcla cruda. Durante estas reacciones se forman nuevos compuestos, algunos de los cuales alcanzan el punto de fusión (Rivva, 2000, p. 33).

Tabla 1
Componentes Químicos Principales de Materias Primas al fabricar del Cemento

Porcentaje	Componente Químico	Procedencia Usual
95%	Oxido de Calcio (CaO)	Rocas Calizas
	Oxido de Sílice (SiO ₂)	Areniscas
	Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas
	Óxidos de Hierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, Mineral de Hierro, Pirita
5%	Óxidos de Magnesio, Sodio, Potasio, Titanio, Azufre, Fósforo y Manganeseo	Minerales-Varios

Nota: Adaptado de Tópicos de Tecnología de Concreto, Pasquel, 1998, p.18.

Tabla 2
Porcentajes Típicos de los Óxidos que intervienen en el Cemento Portland

Óxido Componente	Porcentaje Típico	Abreviatura
CaO	61% - 67%	C
SiO ₂	20% - 27%	S
Al ₂ O ₃	4% - 7%	A
Fe ₂ O ₃	2% - 4%	F
SO ₃	1% - 3%	
MgO	1% - 5%	
K ₂ O y Na ₂ O	0.25% - 1.5%	

Nota: Adaptado de Tópicos de Tecnología de Concreto, Pasquel, 1998, p.18.

El producto resultante, Clinker, cae a uno de los diversos tipos de enfriadores, o se deja enfriar al aire. Posteriormente se combina con un porcentaje determinado de

yeso y el conjunto se muele hasta transformarlo en un polvo muy fino que viene a ser el cemento portland (Rivva, 2000, p. 33)

2.1.2.1.3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO

El cemento posee cuatro propiedades físicas fundamentales.

- a. **Finura:** El cemento al presentar una alta finura de sus partículas, produce una mayor resistencia, ya que existe una mayor área disponible para la reacción del agua en el cemento.
- b. **Solvencia:** Este material en contacto con el agua se contrae cuando esta endurecido.
- c. **Consistencia:** Adicionando al cemento una correcta cantidad de agua, se produce una pasta de cemento plástico, para una mejor trabajabilidad de la mezcla.
- d. **Calor de Hidratación:** Es el calor generado por la reacción química producido entre el cemento y el agua, que conllevan al cambio del estado plástico al endurecido.

2.1.2.1.4. TIPOS DE CEMENTO PORTLAND Y SUS APLICACIONES

La normativa vigente ASTM C150 detalla las especificaciones para los diferentes cementos Portland Tipo I, II, III, IV y V.

- a) **Tipo I:** De uso general, destinado para el empleo de obras de concreto donde no se requieran de propiedades especiales, pudiendo ser: en edificaciones, puentes, canales, etc.
- b) **Tipo II:** Presenta moderada resistencia frente a los sulfatos, empleándose así en la construcción de estructuras con ambientes agresivos; asimismo posee un moderado calor de hidratación, considerándose fundamental para vaciados masivos.

c) **Tipo III:** Dicho cemento genera en el concreto una alta resistencia inicial, debido al elevado calor de hidratación. Es por eso que este concreto a los 3 y 7 días, obtiene una resistencia a la compresión igual que a los 7 y 28 días respectivamente, en concretos con cemento Tipo I y II. Por lo tanto, este cemento es empleado cuando se necesita retirar el encofrado lo más pronto posible, para posteriormente recibir las cargas como en los elementos estructurales prefabricados o construcciones de emergencia, del mismo es utilizado en climas fríos. Adicionalmente, se tiene en cuenta que este tipo de cemento presenta una baja resistencia a los sulfatos.

d) **Tipo IV:** Cemento que proporciona bajo calor de hidratación en el concreto, produciendo una resistencia a la compresión más lenta y un mayor tiempo de curado de la estructura. Es empleado en obras de concreto masivo como diques y presas por gravedad.

e) **Tipo V:** Posee una alta resistencia a los sulfatos. Por lo tanto, es empleado en diferentes construcciones: cimentaciones, túneles, puentes, tuberías, canales de conducción, infraestructuras portuarias, etc.

Por otra parte, esta normativa añade a los tres primeros tipos de cemento el sufijo A, siendo Tipo IA, IIA y IIIA; lo cual significa que son cementos con incorporadores de aire en su composición, sin alterar las propiedades originales (**Pasquel, 1998**).

Según la normativa ASTM C595, en nuestro medio se destacan otros tipos, debido al adicionamiento mineral de puzolanas y escorias de alto horno:

a. **Tipo IS:** Cemento con escorias de alto horno. El adicionamiento de las escorias está comprendido entre los porcentajes del 25% a 70% del peso total.

b. **Tipo ISM:** Es un cemento con un porcentaje no mayor del 25% de escorias de alto horno.

c. **Tipo IP:** Cemento con cantidades de puzolana. Estas cantidades oscilan en un 15% y 40% del peso global.

d. **Tipo IPM:** A este cemento se le añadió un porcentaje no mayor del 15% de puzolana.

Asimismo, estos cuatro tipos de cementos comprenden diferentes variantes: al añadirles el sufijo A se tratan de cementos con aire incorporado, el sufijo M con resistencia moderada a los sulfatos y sufijo H para cementos con moderado calor de hidratación (**Pasquel, 1998**).

Al reemplazar parte del cemento por los materiales de escorias y puzolanas, se evidencia el cambio de ciertas propiedades, como son el de incrementar los lapsos de duración de los estados ya mencionados, disminuir la resistencia en un lapso de tiempo, menor permeabilidad, retención de agua en un mayor porcentaje, disminución del calor de hidratación, mayor cohesividad y mejor resistencia a la agresividad química.

2.1.2.1.5. REQUISITOS FÍSICOS Y QUÍMICOS

De acuerdo a la normativa vigente ASTM C-150, especifica los requisitos físicos y químicos que deben cumplir los cementos estándar, se precisan las tablas que inmiscuyen únicamente al tipo de concreto de interés de la investigación, y se presentan a continuación en las **Tablas 3 y 4:**

Tabla 3
Requisitos físicos ASTM C-150 para cementos Tipo I y II

Descripción	Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo IIA
Contenido de aire en % (máximo, mínimo)	(12, N/A)	(22, 16)	(12, N/A)	(22, 16)
Fineza con turbidímetro en m ² /Kg (mínimo)	160	160	160	160
Fineza por permeabilidad de aire en m ² /Kg (mínimo)	280	280	280	280
Expansión en autoclave	0.80	0.80	0.80	0.80
Resistencia en compresión en Mpa				
A 3 días	12.40	10.00	10.30	8.30
A 7 días	19.30	15.50	17.20	13.80
Fraguado inicial Gillmore mínimo en minutos	60	60	60	60
Fraguado final Gillmore máximo en minutos	600	600	600	600
Fraguado inicial Vicat mínimo en minutos	45	45	45	45
Fraguado final Vicat máximo en minutos	375	375	375	375
Requisitos físicos opcionales				
Fraguado falso (penetración final) % mínimo	50	50	50	50
Calor de hidratación máximo a 7 días en cal/gr			70	70
Calor de hidratación máximo a 28 días en cal/gr			58	58
Resistencia en compresión mínima a 28 días (Mpa)	27.60	27.60	27.60	27.60

Nota: Adaptado de Tecnología de Concreto, Pasquel, 1998, p. 42.

Tabla 4
Requisitos químicos ASTM C-150 para cementos Tipo I y II

Descripción	Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo IIA
SiO ₂ , % mínimo	-----	-----	20.00	20.00
Al ₂ O ₃ , % máximo	-----	-----	6.00	6.00
Fe ₂ O ₃ , % máximo	-----	-----	6.00	6.00
MgO, % máximo	6.00	6.00	6.00	6.00
SO ₃ , % máximo				
Cuando C ₃ A es menor o igual a 8%	3.00	3.00	3.00	3.00
Cuando C ₃ A es mayor a 8%	3.50	3.50	N/A	N/A
Pérdidas por ignición, % máximo	3.00	3.00	3.00	3.00
Residuos insolubles, % máximo	0.75	0.75	0.75	0.75
C ₃ A, % máximo	-----	-----	8.00	8.00
Requisitos químicos opcionales				
(C ₃ S + C ₃ A), % máximo	-----	-----	58.00	58.00
Álcalis, (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O), % máximo	0.60	0.60	0.60	0.60

Nota: Adaptado de Tecnología de Concreto, Pasquel, 1998, p. 43.

En el ámbito nacional, el Perú fabrica una cierta variedad de cementos, tales como: Tipo I, Tipo II, Tipo V, Tipo IP y Tipo IPM. De manera general están determinados por las normas NTP 334.009, NTP 334.090 Y NTP 334.082. Los requisitos principales del cemento portland se evidencian en la norma NTP 334.00 y son: para el cemento Tipo I, con una resistencia a la compresión a la edad de 7 días de 190 kg/cm², el cemento Tipo II para la misma edad una resistencia de 170 kgcm², y así con los demás cementos (Kosmatka et al, 2004, p.45).

2.1.2.2. AGREGADOS

2.1.2.2.1. DEFINICIÓN

Los agregados están compuestos por una granulometría variable que se adhieren a la pasta de cemento formando una estructura resistente. Estos materiales ocupan alrededor de las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total de la mezcla y tienen una importancia fundamental en el producto final (**Pasquel, 1998, p. 69**).

Son elementos inertes, propiedad que es relativa, ya que, al no intervenir directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante, sus características afectan notablemente el concreto resultante, y es así que, en algunos casos pueden llegar a ser tan importantes como el cemento si se quiere lograr ciertas propiedades como la resistencia, conductibilidad, durabilidad, etc. Usualmente están constituidos por partículas minerales de arenisca, granito, basalto, cuarzo o combinaciones de ellos, y sus características físicas y químicas tienen influencia en prácticamente todas las propiedades del concreto (**Pasquel Carbajal, 1998, p. 69**).

Dentro de los aspectos fundamentales de los agregados se encuentra la distribución volumétrica, puesto que incidirán directamente en alcanzar estructuras de concreto más densas. Entonces, el propósito básico es ocupar la mayor cantidad de vacíos, de tal manera que se reduzcan al mínimo los espacios generados y que, las partículas pequeñas se acomoden de la manera más eficiente posible entre las más grandes.

2.1.2.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS

2.1.2.2.2.1. AGREGADO FINO

Es el material resultante que se obtiene de la descomposición artificial o natural de las rocas, pasando el tamiz 3/8” (9.5mm) y quedando retenido en el N° 200 (74 µm). Además de cumplir con los parámetros establecidos en la norma NTP 400.037.

A continuación, se presentan las características principales del agregado fino:

a) Granulometría

Para la obtención de una mezcla de concreto con óptima trabajabilidad es fundamental que en el agregado fino exista una cantidad suficiente de material pasante de la malla N° 50. Los lineamientos a tener en cuenta, de acuerdo a lo indicado en la normativa mencionada, son los siguientes:

- La granulometría presentará una continuidad de porcentajes retenidos en la mayoría de los tamices N° 04, 08, 16, 30, 50 y N° 100.
- No debe retenerse material en más del 45% del peso de la muestra, en dos mallas consecutivas.
- Por lo general, la granulometría debe encontrarse en los siguientes límites:

Tabla 5
Requisitos Granulométricos para el Agregado Fino

Malla	% Que pasa
3/8”	100
N° 04	95 – 100
N° 08	80 – 100
N° 16	50 – 85
N° 30	25 – 60
N° 50	10 – 30
N° 100	2 – 10

Nota: Adaptado de Diseño de Mezclas, Rivva, 1992, p. 25.

El porcentaje que se observa para las mallas N°50 y N°100 puede ser reducido a 5% y 0% respectivamente, siempre y cuando el agregado sea empleado en concretos con aire incorporado y cuyo contenido de cemento es mayor de 225 kg/m³, o en concretos sin aire incorporado con un contenido de cemento mayor de 300 kg/m³, o en casos se utilice un aditivo mineral para compensar la ausencia en el porcentaje que pasa por estas mallas (**Rivva, 1992, p. 19**).

b) Sustancias Dañinas en el Agregado Fino

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

El agregado fino que no cumple con los requerimientos establecidos en la normativa mencionada, puede ser empleado siempre que:

- El color resultante del ensayo sea generado por la intervención de una cantidad mínima de partículas de carbón o similares.
- Terminado con la elaboración de morteros, estos elaborados con dicho agregado deben cumplir a los 7 días una resistencia no menor del 95% de la resistencia de morteros preparados con distinta proporción del mismo agregado fino, pero debidamente lavado con una solución del 3% de NaOH (Hidróxido de Sodio).

A continuación, en la **Tabla 6** se presentan los límites máximos de sustancias dañinas que puede contener el agregado fino:

Tabla 6
Límites de sustancias dañinas en agregados finos

Sustancia Dañina	Límite máximo (% con respecto al peso total de muestra)
Lentes de Arcilla y Partículas Desmenuzables	3%
Material más fino que la malla N° 200 (75 µm):	
Concretos sujetos a la abrasión	3%
Otros concretos	5%
Carbón y lignito:	
Cuando la apariencia superficial del concreto es importante	0.5%
Otros concretos	1%

Nota: Adaptado de Diseño de Mezclas, Rivva, 2015, p. 26.

2.1.2.2.2. AGREGADO GRUESO

Es el material que queda retenido en la malla N° 04 y además aprobado conforme a los parámetros que dispone según la NTP 400.037.

Este material puede estar conformado por grava fraccionada, piedra partida o natural, agregados naturales o artificiales o una mezcla de los ya mencionados. Se podrá usar siempre que, el agregado grueso presente partículas: limpias (exento de escamas, limo, tierra, materia orgánica, etc.), de formas angulares o semi angulares, de gran consistencia y resistencia; asimismo en lo posible textura rugosa.

Las características físicas del agregado grueso son en su mayoría las mismas que posee el agregado fino, excepto las que son detalladas a continuación:

a) Granulometría

La granulometría del agregado grueso debe encontrarse dentro de los límites establecidos en las normativas ASTM C 33 (**Ver Tabla 7**) o NTP 400.037 y presentar

continuidad, para así obtener una apropiada trabajabilidad durante la colocación de la mezcla y una máxima densidad del concreto.

Tabla 7
Límites de Granulometría General del Agregado Grueso

Huso	Tamaño Nominal en pulgadas	Porcentajes pasantes en peso para cada malla estándar								
		2" (50 mm)	1 ½" (37.5 mm)	1" (25 mm)	¾" (19 mm)	½" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	N°4 (4.75 mm)	N°8 (2.36 mm)	N°16 (1.18 mm)
357	2" Malla N°4	95 a 100	-----	35 a 70	-----	10 a 30	-----	0 a 5	-----	-----
4	1 ½" a ¾"	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-----	0 a 5	-----	-----	-----
467	1 ½" Malla N°4	100	95 a 100	-----	35 a 70	-----	10 a 30	0 a 5	-----	-----
5	1" a ½"	-----	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" Malla N°4	-----	100	95 a 100	-----	25 a 60	-----	0 a 10	0 a 5	-----
6	¾" a 3/8"	-----	-----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-----	-----
67	¾" Malla N°4	-----	-----	100	90 a 100	-----	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-----
7	½" Malla N°4	-----	-----	-----	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-----
8	3/8" Malla N°4	-----	-----	-----	-----	-----	85 a 100	0 a 30	0 a 10	0 a 5

Nota: Esta tabla fue recortada con los datos de interés para el estudio. Adaptado NTP. 400.037, INDECOPI, (2014 – 3era Edición).

En la gradación debe quedar retenido como máximo el 5% de la muestra en la malla 1 ½" y en la malla ¼" no más del 6%. En el ensayo de análisis granulométrico del

agregado grueso se determina el tamaño máximo y tamaño máximo nominal del mismo. A continuación, se definen dichos aspectos:

- *Tamaño Máximo*: Pertenece menor tamaño del tamiz por donde pasa todo el material de muestreo. Este dato es importante para obtener el tamaño ideal del agregado de acuerdo a la geometría del encofrado y acero de refuerzo.

- *Tamaño Máximo Nominal*: Es el tamiz de menor abertura en donde queda el primer retenido. Sirve como indicador de la granulometría del agregado muestreado.

Según el **NTE E.060 Concreto Armado (2009, p.18)**, indica que el tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe ser superior a: 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado, o 1/3 de la altura de la losa, o 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

b) Partículas Dañinas en el Agregado Grueso

A continuación, en la **Tabla 8** se presentan los límites máximos de partículas dañinas que puede contener el agregado grueso:

Tabla 8

Límites de partículas dañinas en agregado grueso

Partícula Dañina	Límite Máximo (% con respecto al peso total de muestra)
Arcilla	0.25%
Partículas deleznales	5%
Material más fino que la malla N° 200	1%
Carbón y lignitos:	
Cuando el acabado superficial del concreto es de importancia	0.50%
Otros concretos	1%

Nota. Diseño de Mezclas, Rivva, 2015, p. 28.

En caso el agregado grueso tuviera una cantidad mayor de partículas dañinas con respecto a los límites permitidos, será aceptado siempre y cuando exista un registro de servicio satisfactorio donde se haya elaborado un concreto con el agregado de dicha procedencia. En otro caso, podría también ser utilizado siempre que el concreto preparado con el material mencionado, presente resultados favorables después de haberse comprobado mediante ensayos correspondientes en el Laboratorio.

2.1.2.2.2.3. AGREGADO GLOBAL

Tabla 9

Límites Granulométricos del Agregado Global

Tamiz	Tamaño máximo nominal		
	Tamaño máximo nominal 37.5mm (1 ½ pulg)	Tamaño máximo nominal 19.9mm (¾ pulg)	Tamaño máximo nominal 9.5mm (3/8 pulg)
50 mm (2")	100		
37.5 mm (1 ½")	95 a 100	100	
19.0 mm (¾")	45 a 80	95 a 100	
12.5 mm (1/2")			100
9.5 mm (3/8")			95 a 100
4.75 mm (N° 4)	25 a 50	35 a 55	30 a 65
2.36 mm (N° 8)			20 a 50
1.18 mm (N° 16)			15 a 40
600µm (N° 30)	8 a 30	10 a 35	10 a 30
300µm (N° 50)			5 a 15
150µm (N° 100)	0 a 8*	0 a 8*	0 a 8*

*Incrementar 10% para finos de roca triturada

Nota: NTP. 400.037, INDECOPI, (2014 – 3era Edición).

Es un material resultante de la combinación de agregados fino y grueso en proporciones variables, el cual es extraído de canteras o ríos. El agregado global no

debe contener sustancias perjudiciales como: sales, terrones, polvo, materia orgánica, partículas escamosas u otras que afecten directamente la calidad del concreto.

Según la NTP 400.037 detalla un apéndice informativo para el empleo del agregado global (Ver **Tabla 9**), estableciendo los límites de gradación en función del tamaño máximo nominal. Siendo de gran importancia para asegurar que la combinación de agregados se encuentre dentro de los límites dispuestos por la normativa vigente.

A continuación, en la **Figura 2** se muestran los límites granulométricos correspondientes al agregado global de tamaño máximo nominal de 1 ½”, de acuerdo a lo indicado por la NTP 400.037.

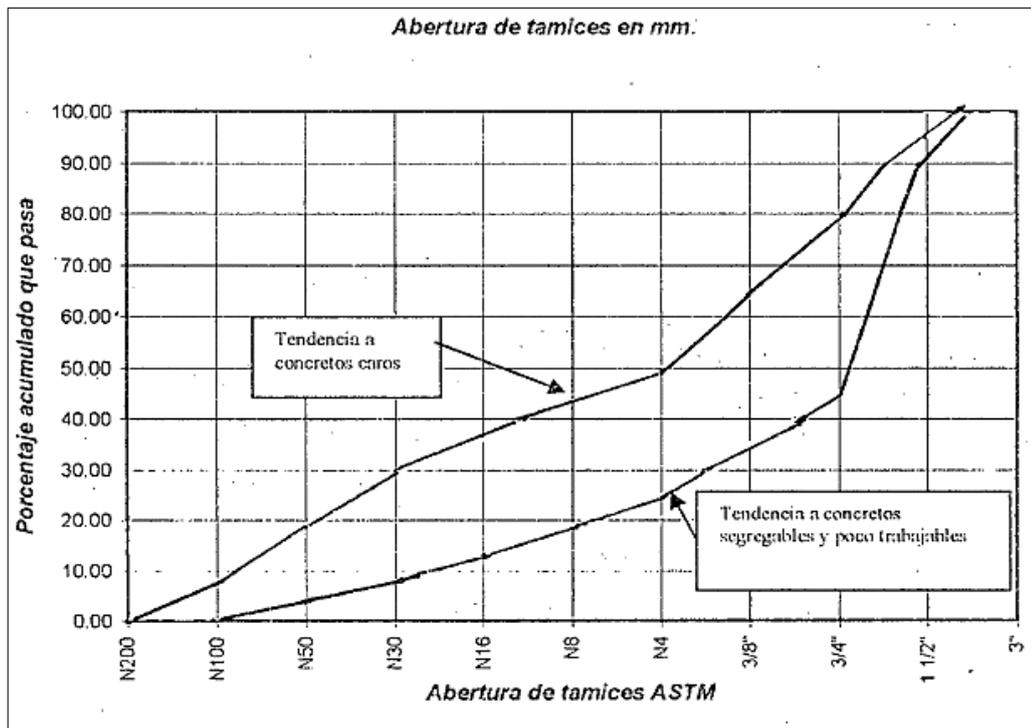


Figura 1
Límites Granulométricos de Agregado Global de TMN 1 1/2"

Fuente: Adaptado de Tesis de Pregrado sobre Agregado Global, Gonzales, 2003.

“El agregado global deberá ser manejado, transportado y almacenado de tal manera que garantice la ausencia de contaminación con materiales que podrían reaccionar con el concreto”, señala Rivva (2015, p. 25).

2.1.2.2.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

a) Módulo de Finura

Es un parámetro de mucha importancia en el diseño de mezclas, indicando el tamaño predominante del agregado y representa la distribución volumétrica de sus partículas. Su valor se obtiene tras la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices estándar hasta la malla N° 100, cantidad que se divide entre 100. Las mallas que se utilizan para calcular 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 módulo de fineza (MF) de las arenas debe estar en el rango de 2.3 a 3.1. Si los valores de MF se encuentran entre 2.3 y 2.8, los concretos presentarán excelente trabajabilidad y escasa segregación, mientras los que están comprendidos en un rango de 2.8 y 3.1 serán muy convenientes para ser utilizados en mezclas de concreto de resistencia alta. Otra recomendación importante es que el MF debe variar en +/- 0.2 con respecto al valor considerado para la selección de las proporciones de la mezcla.

b) Superficie Específica

Es una de las características del agregado que varía dependiendo de la granulometría del mismo. Comprenden los comportamientos entre la pasta de cemento y los agregados. Teóricamente al presentarse un bajo módulo de finura, la superficie específica del agregado aumenta, necesiándose una mayor cantidad de pasta para cubrir el área superficial total, mientras que si el MF es alto sucede lo contrario.

c) **Peso Específico**

Resulta de dividir el peso con el volumen de las partículas sin considerar los vacíos entre ellas. Las Normas ASTM C-127 y C-128 establecen el procedimiento estandarizado para su determinación en laboratorio, distinguiéndose tres maneras de expresarlo en función de las condiciones de saturación. Cabe resaltar que las expresiones de la norma son adimensionales, por ello, se deben multiplicar por la densidad del agua en las unidades que se deseen según se requieran en los cálculos. Los valores comunes oscilan entre 2500 y 2750 kg/cm³ (**Pasquel Carbajal, 1998, p. 74**).

Por el contrario, si el peso específico del agregado es inferior a 2,500 kg/m³, no es recomendable su utilización debido a que son agregados absorbentes y débiles, obteniéndose concretos de baja calidad.

Los valores altos aseguran materiales de excelente comportamiento, para ser utilizados en concretos de diferentes resistencias.

d) **Condiciones de Saturación**

En la **Figura 2** se han esquematizado las condiciones de saturación de una partícula ideal de agregado, partiendo de la condición seca hasta cuando tiene humedad superficial, pudiéndose asimilar visualmente los conceptos de saturación en sus diferentes etapas, que servirán durante el desarrollo posterior del presente capítulo (**Pasquel, 1998, p. 72**).

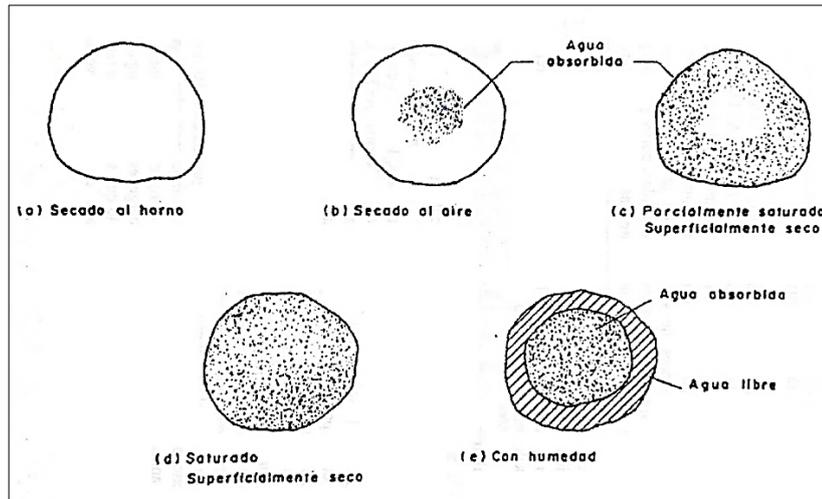


Figura 2

Estados de Saturación del Agregado

Nota: Tomado de Tópicos de Tecnología del concreto, Pasquel, 1992, p. 75.

e) **Peso Unitario**

El peso unitario es necesario para determinar el porcentaje de vacíos en el agregado, las cantidades ideales del agregado y fundamental para la conversión de peso a volumen. Se obtiene haciendo una división simple del peso de las partículas entre el volumen que ocupan. Es obtenido en estados suelto y compactado:

- *Peso Unitario Suelto:* Se llena un recipiente sin compactar, en donde las diversas partículas se acomodan sin ninguna presión.
- *Peso Unitario Compactado:* Se llena el mismo recipiente en 3 capas, compactando el material con 25 golpes por capa, mediante el uso de una varilla de 5/8".

Los agregados normales tienen pesos unitarios de valores entre 1,500 y 1,700 kg/m³.

f) **Porcentaje de Absorción**

Es la cantidad total de agua interna en el agregado, encontrado en la condición de saturado superficialmente seco. Se obtiene a partir del incremento de peso, después

de haber secado la muestra al horno, cubrirlo por 24 horas con agua y por último haberlo secado superficialmente.

“Las normas ASTM C-127 y 128 ya mencionadas establecen la metodología para su determinación expresada en la siguiente fórmula” (Pasquel, 1998, p. 77).

Ecuación 1. Porcentaje de Absorción, y se determina así:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso S.S.S} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \dots\dots (1)$$

Donde:

Peso S.S.S = Peso saturado superficialmente seco

g) Porcentaje de Vacíos

Es el porcentaje de volumen que existe entre las partículas de agregados.

Este porcentaje varía de acuerdo al acomodo de las mismas. Según la norma ASTM C-29 indica la fórmula para el cálculo dicho porcentaje, en el cual es necesario tener en cuenta los valores de peso unitario y peso específico:

Ecuación 2. Porcentaje de Vacíos

$$\% \text{ de Vacíos} = 100 * \left[\frac{(S*W) - M}{S*W} \right] \dots\dots (2)$$

Dónde:

S = Peso específico de masa

W = Densidad del agua

M = Peso unitario compactado seco

h) Porosidad

Es el volumen de espacios dentro de las partículas de los agregados. Una manera indirecta de conseguirla es a través del cálculo de la absorción, que da un orden de magnitud de la porosidad normalmente un 10% menor que la real, ya que como

hemos indicado en el párrafo anterior, es muy difícil que lleguen a saturarse completamente todos los poros de las partículas (**Pasquel, 1998, p. 77**).

Usualmente los agregados normales pueden presentar una porosidad de 0 al 15%, pero por lo general comúnmente oscilan entre 1 al 5%. Por otra parte, en agregados livianos se pueden obtener porosidades del 15 al 50%.

i) Contenido de Humedad

Es referido a la cantidad de agua superficial que retienen las partículas de agregado en un tiempo establecido. Esta característica es primordial en el diseño de mezcla del concreto, puesto que contribuye en el aumento de agua en la mezcla. Por lo tanto, es necesario reajustar la cantidad de agua, a fin de que este resulte ser el correcto.

De acuerdo a la norma ASTM C – 566, la humedad es determinada de la siguiente manera:

Ecuación 3. Contenido de Humedad

$$C.H (\%) = \left(\frac{H-S}{S} \right) * 100 \dots\dots (3)$$

Dónde:

H = Peso de muestra natural

S = Peso Seco

2.1.2.3. AGUA

2.1.2.3.1. DEFINICIÓN

Es un componente principal e indispensable para la elaboración de la mezcla de concreto, debido a 3 razones: primero, permite la hidratación del cemento, segundo, actúa como lubricante facilitando una apropiada trabajabilidad durante la manipulación y colocación del conjunto y tercero, produce una adecuada estructura

de vacíos en la pasta asegurando un óptimo desarrollo de los productos de hidratación.

2.1.2.3.2. AGUAS NO APTAS EN LA ELABORACIÓN Y CURADO DEL CONCRETO

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

2.1.2.3.3. REQUISITOS INDISPENSABLES SEGÚN NORMA NTP 334.088.

De acuerdo a los lineamientos establecidos en la norma NTP 334.088, el agua que será utilizada durante los procesos de preparación y curado del concreto, tiene que ser en lo posible agua potable y además cumplir con los siguientes requisitos:

Tabla 10

Límites permisibles para agua de mezcla y de curado según la norma NTP 339.088

Descripción	Límite Permissible		
1) Sólidos en suspensión	5,000	p.p.m	máximo
2) Materia orgánica	3	p.p.m	máximo
3) Alcalinidad (NaHCO ₃)	1,000	p.p.m	máximo
4) Sulfato (Ión SO ₄)	600	p.p.m	máximo
5) Cloruros (Ión Cl ⁻)	1,000	p.p.m	máximo
6) pH	5 a 8	p.p.m	máximo

Nota: Tópicos de Tecnología de Concreto, Pasquel, 1998.

Si se desea verificar el color del agua, se tiene que tener en cuenta que la cantidad máxima de fierro, indicado en ion férrico será de 1ppm.

En general, las exigencias que debe cumplir el agua de mezcla serán las mismas para el agua de curado, asimismo es recomendable emplear una fuente de suministro de agua para ambos procesos; a fin de asegurar estructuras de concretos de resistencias superiores a las de diseño y sin porosidades.

Si el agua a emplear no cumple con los límites permisibles indicados en la **Tabla 10**, deberá ser evaluada de acuerdo al criterio establecido por la Norma ITINTEC 339.088 y el Comité ACI – 318, el cual consiste en la preparación de mortero en forma de cubos (según Norma ASTM C – 109) con el agua en prueba, para luego ser comparado con cubos semejantes elaborados con agua potable. En la comparación, si los cubos con agua dudosa obtienen una resistencia a los 7 y 28 días mayor o igual al 90% de los cubos de control, entonces es aceptado el agua para ser utilizados en las diferentes estructuras de concreto.

2.1.2.3.4. USO DE AGUA DE MAR

El agua de mar será empleada durante la elaboración del concreto, siempre que personal técnico responsable garantice sus buenas condiciones o satisfaga ciertos criterios mínimos. Se recomienda que la mezcla generada con el agua de mar cuente con los siguientes requerimientos: cantidad de Cemento mínimo de 350 kg/m^3 , relación a/c máximo de 0.50, recubrimiento mínimo del acero de 7cm y consistencia plástica.

No está permitido la utilización del agua de mar en la elaboración de los siguientes tipos de concreto:

- a. Concretos pres forzados.
- b. Concretos de resistencia mayor a $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, a los 28 días de curado.

- c. Concretos que cuentan interiormente con materiales de aluminio o de fierro galvanizado.
- d. Concretos elaborados y colocados en ambientes cálidos.
- e. Concretos de excelente acabado, descubiertos y caravista.

2.1.2.4. ADITIVOS

Se llama aditivo a cualquier material distinto del agua, del agregado o del cemento, que sea añadido a la mezcla del concreto antes o durante el mezclado, ya sea para mejorar o modificar ciertas propiedades según la obra o condiciones lo requieran (**Rochel, 1998, p. 8**). Los aditivos deberán cumplir los requisitos estipulados en la norma NTP 334.089.

En la actualidad existen diversos aditivos, se han expandido su uso y producción, dentro de los más generales pueden clasificarse como:

Aditivos Incorporadores de aire: cumplen diversos beneficios en la mezcla del concreto, desde el control de fisuración por bajas temperaturas o congelamiento, hasta modificaciones en la trabajabilidad de la mezcla. Los requisitos que deben cumplir se establecen en la norma NTP 334.089.

Aditivos reductores de agua, retardadores o acelerantes: son utilizados en gran medida, para necesidades específicas como ganar mayores resistencias a edades tempranas y reducir el tiempo de fraguado en climas cálidos. Sus parámetros que cumplirán están en la norma NTP 334.088 (AST C 1017).

Puzolanas, cenizas y escorias de alto horno: son productos finamente molidos, obtenidas como producto de la combustión industrial y artesanal (cenizas), mayormente empleados en combinación con el cemento portland para concretos en

grandes masas. Las normas NTP 334.104 y ASTM C 989 dictaminan los requisitos a cumplirse para las puzolanas y cenizas, y escorias, respectivamente.

2.1.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO

Como ya se ha mencionado, el concreto posee una estructura no homogénea, y presenta distintas propiedades de acuerdo a lo que se requiera evaluar. Son muchas las propiedades que se desprenden del concreto, ya sea en estado fresco o endurecido.

A continuación, se detallarán las propiedades de interés para el presente estudio:

2.1.3.1. EN ESTADO FRESCO

2.1.3.1.1. TRABAJABILIDAD

Lo determina la dificultad (ya sea mayor o menor) que tiene el concreto durante su mezclado, transporte, colocación y consolidación. Varía de acuerdo a las condiciones en la que está expuesta la mezcla, por ende, su evaluación es relativa. Los componentes principales que influyen en esta característica son la pasta aglomerante en general, el cemento, agua y la capacidad de adherencia entre ambos tipos de agregado, para permitir un óptimo desplazamiento continuo (**Pasquel, 1998, p. 131**).

La trabajabilidad inmiscuye a la noción de fluidez, resaltando la plasticidad y uniformidad, para favorecer a un buen comportamiento y apariencia requerida de la estructura de la mezcla. En ese sentido, la trabajabilidad no es mensurable. (**Rivva, 2015, p. 39**).

2.1.3.1.2. CONSISTENCIA

Esta propiedad relaciona la humedad de la mezcla con su grado de fluidez. No es sinónimo de trabajabilidad, pero están vinculadas, ya que existen mezclas muy trabajables y consistentes, a su vez, puede haber mezclas poco trabajables y de consistencia plástica (**Rivva, 2015, p. 40**).

Los norteamericanos instalaron el método del cono Abrams (Slump) para medir la diferencia de altura entre el molde metálico y el volumen de concreto después de haberse retirado el cono (previamente debió llenarse la mezcla en capas y ser varillado).

Por su consistencia y asentamiento el concreto puede clasificarse en tres grupos:

a) Concreto Consistente o seco

Posee sólo la humedad necesaria para que, al momento de presionarlos, quede evidencia de la lechada del cemento en la superficie del objeto con el que se tocó. La superficie tras el vibrado quedará blanda y unida. Le corresponde asentamientos de 1” a 2” (25 mm – 50 mm).

b) Concreto plástico

Son aquellos que tiene la cantidad de agua necesaria para producir un volumen de apariencia pastosa. Lo definen los asentamientos de 3” a 4” (75mm – 100 mm).

c) Concretos fluidos

Son aquellos que han sido con gran cantidad de agua, de tal modo que la mezcla fluya como una pasta blanda. Están determinados por asentamientos de 6” a 7” (150mm – 175mm).

2.1.3.1.3. CALOR DE HIDRATACIÓN (TEMPERATURA)

El cemento desprende calor al reaccionar en la mezcla con el agua y los agregados, esto debido a sus componentes de silicatos y aluminatos tricálcicos. Para ello, es importante controlar y conocer la temperatura del concreto fresco antes o durante la colocación. Para **Rivva (2015)**, las mezclas de concreto con cemento Tipo I, producen una elevación de temperatura en un rango de 6°C a 11°C por saco en un

metro cúbico. La importancia del control de temperatura radica en que el concreto puede estar expuesto al fisuramiento.

Se pone mayor énfasis cuando el diseño de mezclas tenga como fin utilizar el concreto de forma masiva. Por ejemplo, cuando las dimensiones mínimas de los elementos exceden de 60 cm a 90 cm o el contenido de cemento es mayor a 350 kg/m³.

2.1.3.1.4. DENSIDAD O PESO UNITARIO

Esta propiedad es muy usada para el control de producción del concreto. Puesto que incluso, se realizan mezclas de prueba para contrastar las densidades calculadas teóricamente (mediante el diseño de mezclas). Se obtiene como el cociente de la masa contenida en un volumen conocido. Existe un término muy usado para esta evaluación y es rendimiento relativo de la mezcla, en cuanto más se acerque a la unidad será un concreto aceptable. No es más que el resultado de dividir la densidad teórica con la obtenida en el laboratorio o real.

Por otro lado, es fundamental evaluar esta característica para comprobar el comportamiento de los agregados o componentes de la mezcla. Puesto que, al existir diversas densidades de los insumos, existe una tendencia de que aquellos pesados descendan y generen la segregación (Pasquel, 1998, p. 137).

2.1.3.1.5. VACÍOS O CONTENIDO DE AIRE

Está representado principalmente con el contenido de aire en la mezcla. Es una característica propia de la mezcla fresca del concreto y que incluso se puede incorporar aire si se requiere con el objetivo de modificar otras propiedades. Frecuentemente, un sistema de vacíos está formado entre la unión de los agregados más gruesos, que puede significar la carencia de agregado fino en la mezcla.

Existen varios métodos para medirlo, como es el caso del método de presión (manómetro) estipulado en la norma NTP 339.080 o el método gravimétrico señalado en la norma NTP 339.046.

2.1.3.2. EN ESTADO ENDURECIDO

2.1.3.2.1. RESISTENCIA

Rivva (2015) menciona que la resistencia comprende al máximo esfuerzo que pueda soportar el concreto sin romperse. Principalmente se usa la resistencia a la compresión para evaluar la calidad del concreto producido, puesto que su comportamiento es mucho mayor a comparación con esfuerzos de tracción. Es por ello que, es una de las propiedades más importantes del concreto endurecido. Depende primordialmente de la cantidad de la pasta de cemento, expresado como A/C en peso (**Pasquel, 1998**).

Rivva (2015) indica que el norteamericano Gilkey, basado en otros trabajos y sus observaciones, demostró que la resistencia a la compresión se rige en función a:

- Relación agua – cemento
- Relación cemento – agregado
- Granulometría, perfil, textura superficial, resistencia y dureza del agregado
- Tamaño máximo del agregado

Un factor influyente en esta característica es el curado, puesto que garantiza la hidratación completa de la mezcla, y que, sin ello, la resistencia a la compresión alcanzada sería menor.

2.1.3.2.2. DENSIDAD

Está expresado en términos de la masa que ocupa el volumen del concreto. Muchas veces, se requieren obtener concretos de altas densidades, donde es fundamental

seleccionar las proporciones de los insumos de la mezcla adecuadamente. Con agregados especiales se pueden obtener hasta pesos unitarios de 5600 kg/m^3 (Rivva, 2015, p. 47).

La norma NTP 339.187 dictamina los procedimientos para calcular la densidad en distintos estados, en estado seco, inmerso en agua, pasado por hervido del agua y sumergido.

2.1.3.2.3. ABSORCIÓN

Es la capacidad del concreto para absorber el agua, y se expresa en porcentaje. Tiene como parámetros de evaluación a la capacidad y velocidad de absorción (succión). Está intrínsecamente ligado a la porosidad, que normalmente sus valores reales oscilan entre el 10% más que el obtenido.

Es un proceso en donde el concreto ejerce atracción sobre los fluidos con los que está en contacto, de tal forma que las moléculas de estos penetren en él, ocupando sus poros y capilares permeables (Quiroz y Salamanca, 2006, p. 132).

La absorción del agua de una superficie de concreto depende básicamente de: proporciones de mezcla de concreto, presencia de aditivos químicos, composición y características físicas de los insumos, el tipo y duración del curado, el grado de hidratación o la edad, presencia de microgrietas, etc. (NTP 339.232, INDECOPI, 2010).

La absorción y sus parámetros mencionados se determinan a través de las normas NTP 339.187 y NTP 339.232.

La disminución de la capacidad de absorción y permeabilidad aumenta la resistencia a los ciclos de hielo – deshielo, inhibe el ingreso de sustancias dañinas como cloruros y sulfatos, entre otros. (Becerra Salas, 2012, p. 91).

2.1.3.2.4. PORCENTAJE DE VACÍOS

Se puede medir como la porosidad, ya que evalúa el porcentaje de poros existentes en la estructura del concreto. Estos vacíos pueden ser permeables o impermeables bajos ciertas circunstancias o medios a los que se expone. Es un factor muy importante puesto que condicionan el comportamiento del concreto ante la presencia de líquidos. Esto dependerá el grado de absorción, permeabilidad o capacidad del flujo que a travesarse por su estructura interna (**Pasquel, 1998, p. 129**).

2.1.3.2.5. DURABILIDAD

Es la capacidad que tiene el concreto de endurecer y mantener sus propiedades con el paso del tiempo, más aún al exponerse a agentes contaminantes o perjudiciales (**Rivva, 2015, p. 45**). Los procesos más conocidos a los que está expuesto un concreto son: congelamiento y deshielo, humedecimiento y secado, acción de agentes químicos como sulfatos y cloruros, y en otras condiciones especiales.

De **Rivva (2015)** se infiere que la durabilidad se verá afectada positivamente cuando las relaciones agua-cemento sean bajas. Esto ocasionará que el tiempo de vida del concreto se extienda porque se habrá reducido el volumen de poros capilares, incrementado la relación gel-espacio, reduciendo la permeabilidad y absorción.

2.2. CENIZAS Y PUZOLANA NATURAL COMO ADITIVO

Las cenizas y puzolanas que se utilicen como aditivos en las mezclas de concreto deben satisfacer las condiciones necesarias y mínimas de la norma NTP 339.104 (AST C 618).

Se encuentran clasificadas de la siguiente manera:

2.2.1. CENIZA VOLANTE DE CARBÓN

Es el desperdicio inorgánico obtenido de la combustión del carbón y transportado por flujos gaseosos. Este residuo es empleado como combustible en la producción de energía eléctrica, asimismo sirve como material de adición en la elaboración de concreto, puesto que al agregar proporciones pequeñas aumenta la resistencia en el producto final.

En países desarrollados tecnológicamente, se usa con mayor frecuencia las cenizas volantes como sub producto durante la preparación de concretos adicionados y fabricación de cementos. El eficiente empleo de este sub producto radica en que disminuye el costo del concreto debido al menor dosificación de cemento, asimismo mejora algunas propiedades del concreto como son: resistencia a la compresión y a los sulfatos, trabajabilidad, absorción, porosidad, impermeabilidad y durabilidad.

2.2.1.1. CLASIFICACIÓN

De acuerdo a la norma ASTM C 618 – 08, las cenizas volantes se clasifican respecto al contenido de cal, y a su composición química y origen. A continuación, se detallan las siguientes:

2.2.1.1.1. POR SU CONTENIDO DE CAL

a) **Clase N:** Puzolanas naturales crudas o calcinadas que cumplen con los requisitos aplicables para la clase especificada, tal como algunas tierras diatomáceas; lutitas y calcedonias opalinas; tufos y cenizas volcánicas o pumitas, calcinadas o sin calcinar; y varios materiales que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias, tales como arcillas y lutitas. (NTP 334.014, 2011–2da Edición, p. 3).

- b) Clase F:** Las cenizas volantes de este tipo son obtenidas por la descomposición térmica de carbón bituminoso o antracítico, presentando así cantidades de cal no superiores al 15%. Estas cenizas cuentan con propiedades puzolánicas.
- c) Clase C:** Son generadas por la combustión de carbones lignitos o sub – bituminosos, conteniendo un mayor porcentaje de cal entre el rango de 15 al 30%. Estas cenizas poseen propiedades puzolánicas y cementicias.

2.2.1.1.2. POR SU COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ORIGEN

- a) Cenizas Sílicoaluminosas:** Cenizas volantes puzolánicas con cantidades inferiores al 10% de CaO, de clase F de acuerdo a la norma ASTM C 618 – 08. Son hidrofílicas y cuentan con propiedades puzolánicas. Los óxidos más importantes que la componen son: óxidos de hierro (Fe_2O_3), sílice (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3). Esta ceniza comprende un pH básico pudiendo llegar en ciertos casos a 10.
- b) Cenizas Sulfo - cálcicas:** Cenizas volantes hidráulicas, que poseen cantidades mayores al 10% de CaO, de clase F de acuerdo a la norma ASTM C 618 – 08^a. Estas cenizas al ser mezcladas con agua producen reacciones de hidratación, fraguado y posterior endurecimiento, al igual que los cementos; por lo tanto, actúan como aglomerantes hidráulicos.

2.2.1.2. PROPIEDADES DE LAS CENIZAS VOLANTES

2.2.1.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS

De acuerdo a la EHE - 08 (Instrucción de Hormigón Estructural) establecido en España, se indica los parámetros de valores de las propiedades físicas de cenizas volantes:

Tabla 11
Propiedades Físicas Principales de las Cenizas Volantes

Propiedad Física	Rango de Valores
Aspecto Externo	Polvo fino, grisáceo
Tamaño de partícula	0.2 - 200µm Ø
Superficie Específica	0.2 – 25m ² /g
Densidad	0.5 – 0.8g/cm ³
Peso Específico	1.9 – 2.8g/cm ³
Fusión	950 – 1550 °C
Absorción de Líquido	20 – 30% de agua

Nota: EHE - 08, Secretaría General Técnica - Ministerio de Fomento, (2010).

El tamaño de las cenizas procedentes de central térmica varía entre 0.2 a 200 µm de diámetro, mientras que las obtenidas en centrales de lecho fluido presentan una gradación de 0.5 a 315µm. Asimismo, en el Perú y otros países se emplea el tamiz de 45 µm en donde se determina que, si la cantidad de material que pasa el tamiz ya mencionado es mayor, incrementará el efecto sobre la resistencia del concreto.

La forma de la ceniza volante es de polvo granulado y la mayor cantidad de las partículas que la conforman son esféricas y algunas aplanadas. Presenta una variación de color debido a la fuente de extracción, de entre gris claro (presencia de cal) a negro.

Otra característica física de las cenizas volantes, es que comprenden una baja velocidad de reacción, en comparación a la mayoría de puzolanas.

Por otra parte, en la norma NTP 334.014 se detallan los requisitos físicos que deben cumplir las puzolanas naturales y las cenizas volantes, los cuales se muestran a continuación en la **Tabla 12:**

Tabla 12
Requisitos Físicos para Puzolanas Naturales o Cenizas Volantes

Requisitos	Clase		
	N	F	C
Fineza:			
Cantidad retenida en el tamizado vía húmeda en la malla de 45µm (N° 325), % máx.	34	34	34
Índice de actividad resistente:			
Con cemento Portland, a 7 días, % mín. del control	75	75	75
Con cemento Portland, a 28 días, % mín. del control	75	75	75
Demanda de agua, máx., porcentaje del control	115	115	115
Estabilidad:			
Expansión o contracción en autoclave, % máx.	0.8	0.8	0.8
Requisitos de uniformidad:			
La densidad y la fineza de muestras individuales no deben variar del promedio establecido por diez ensayos, o por todos los ensayos precedentes si el número es menor que diez por más de:			
Densidad, máxima variación del promedio, %	5	5	5
Porcentaje retenido en 45µm (N° 325), variación máx., puntos de porcentaje del promedio	5	5	5

Nota: NTP 334.104. CEMENTOS. (2011, p. 12)

2.2.1.2.2. PROPIEDADES QUÍMICAS

Según la EHE - 08 (Instrucción de Hormigón Estructural) establecido en España, indica que las cenizas volantes están compuestas químicamente por una gran cantidad de óxido de aluminio (Al_2O_3), dióxido de sílice (SiO_2), óxido férrico (Fe_2O_3) y óxido cálcico (CaO), además de pequeños contenidos de óxido magnésico (MgO), óxido cálcico (CaO), óxido de titanio (TiO_2), trióxido de azufre (SO_3), óxido de potasio (K_2O) y otros. Las propiedades puzolánicas son generadas por el SiO_2 y Al_2O_3 (Roa, 2016).

En la **Tabla 13** se detallan la composición química de cada clase de ceniza volante y del cemento portland.

Tabla 13
Composición Típica de las Cenizas Volantes

Componente	Ceniza Clase F	Ceniza Clase C	Cemento Portland
SiO ₂	54.90	39.90	22.60
Al ₂ O ₃	25.80	16.70	4.30
Fe ₂ O ₃	6.90	5.80	2.40
CaO (Cal)	8.70	24.30	64.40
MgO	1.80	4.60	2.10
SO ₃	0.60	3.30	2.30

Nota : Tesis (Las Mezclas de Concreto Hidráulico con Aditivos Incluidores de Aire “Cenizas Volantes”), Roa, 2016, p. 54.

Las cenizas volantes absorben humedad debido a las siguientes causas:

- El procedimiento empleado en la limpieza de los humos generados por la combustión del carbón, que acarrear a las cenizas.
- El procedimiento para la recolección de las cenizas, pudiendo ser en estado seco o húmedo.
- Depositados en la intemperie, en zonas cercanas a la central.

La pérdida por calcinación en las cenizas volantes se genera debido a un contenido de carbón mayor al 12%, generando concretos de bajas resistencias mecánicas. Por lo contrario, si los porcentajes de carbón sin quemar son bajos se obtendrán concretos eficientes.

Por otra parte, para que las cenizas volantes sean empleadas en la elaboración de concreto, deben cumplir con los requisitos químicos establecidos por la norma NTP 344.104. A continuación, la **Tabla 14** muestra las exigencias requeridas:

Tabla 14

Requisitos Químicos para Puzolanas Naturales o Cenizas Volantes

Composición Química	Clase		
	N	F	C
Dióxido de silicio (SiO ₂) + óxido de aluminio (Al ₂ O ₃) + óxido de fierro (Fe ₂ O ₃), % mín.	70.0	70.0	70.0
Trióxido de azufre (SO ₃), % máx.	4.0	5.0	5.0
Contenido de humedad, % máx.	3.0	3.0	3.0
Pérdida por calcinación % máx.	10.0	6.0	6.0

Nota: NTP 334.104. CEMENTOS. (2011, p. 11)

2.2.2. CENIZAS DE HOGAR O ESCORIAS

2.2.2.1. DEFINICIÓN

Se encuentran constituidas por partículas angulares con superficies porosas y rugosas. Las dimensiones de estas partículas varían entre una grava fina y una arena fina. Por el contrario, existen cenizas de hogar o cocina, con preponderante porcentaje de finos, con poca presencia de partículas mayores.

2.2.2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CENIZA DE HOGAR

2.2.2.2.1. GRANULOMETRÍA

El material en conjunto posee una granulometría bien graduada, predominando el tamaño de una arena y con un mínimo porcentaje de finos. Con excepción, de que también se generan cenizas de granulometrías muy fina, sin necesidad de pasar por un proceso de molido. Este es el caso de las cenizas de carbón mineral de cocina.

2.2.2.2.2. PESO ESPECÍFICO

De acuerdo a la diferente composición química de las cenizas de hogar, estas presentan una variación de pesos específicos de 2.1 a 2.7 gr/cm³. Si las cenizas

presentan un menor peso específico, las partículas serán fácilmente degradables frente al sometimiento de cargas.

A continuación, en la **Tabla 15** se detallan las características requeridas de las escorias por la EHE (Instrucción de Hormigón Estructural), así como de los límites máximos de sustancias perjudiciales que deben contener:

Tabla 15
Resultados de caracterización de las Cenizas de Hogar

Valores Máximos de sustancias perjudiciales y características requeridas por la EHE para áridos	% Máximo del peso de la muestra	Valores de Estudio
Contenido de materia orgánica (UNE 1744 – 1:99) (según coloración en disolución patrón)	-	Cumple
Compuestos totales de azufre expresados en S y referidos al árido seco (UNE EN 1744 – 1:99)	1	0
Sulfatos solubles en ácidos, expresados en SO_3^- y referidos al árido seco (UNE EN 1744 – 1:99)	0.80	0
Cloruros expresados en Cl^- y referidos al árido seco (UNE EN 1744 – 1:99)	0.05	0
Equivalente de Arena (UNE EN 933 – 8)	>75	88.80
Coeficiente de forma (UNE EN 933 – 4:00)	>0.20	0.35
Densidad y absorción (UNE EN 1097 – 6:01)	Sin lim. // 5%	0.97 // 19
Resistencia al desgaste de la grava (UNE EN 1997 – 2:99)	40%	37%
Ensayo de sulfato de magnesio (UNE EN 1367 – 2)	18%	2.1%

Nota: EHE - 08, Secretaría General Técnica - Ministerio de Fomento, (2010).

2.2.2.3. PROPIEDADES QUIMICAS

Las escorias poseen una composición química similar al de las cenizas volantes, asimismo su composición está sujeto a la clase de carbón a emplear. Son clasificados por la mayor cantidad de SiO_2 o CaO , en silíceas o calcáreas respectivamente.

Las cenizas de hogar muestran reactividad álcali – carbonato y álcalis – sílice, pero si se emplea en un 30% la reactividad álcali – carbonato prevalece mientras que la otra reactividad se elimina.

Peña (2011) realizó un estudio de clasificación del carbón mineral en Colombia de diferentes canteras, como muestra de los resultados químicos, muestra:

Tabla 16
Análisis Químico de cenizas de carbón mineral (% en masa) - Termopaipa

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Ppcal
B1	60,55	24,18	7,13	0,46	0,55	0,55	1,61	1,10	0,37	0,37	1,18
B2	65,47	23,61	3,99	0,94	0,51	0,28	1,13	1,24	0,59	0,70	0,79
B3	64,61	22,48	2,83	2,49	0,61	0,40	0,88	1,28	1,53	0,32	0,72
B4	66,32	22,67	3,70	0,71	0,41	0,55	1,07	1,14	0,43	0,32	0,76
B5	64,61	22,29	5,50	0,80	0,41	0,36	1,16	1,20	0,69	0,58	0,88
B6	26,53	24,93	9,85	9,51	6,92	3,15	0,11	2,53	0,12	12,65	1,72
B7	56,48	23,42	12,22	0,69	0,50	0,53	1,35	0,98	0,54	0,46	0,86
B8	62,04	21,91	9,18	0,56	0,51	0,43	1,22	1,09	0,42	0,49	1,14
B9	72,31	22,29	1,50	0,42	0,22	0,28	0,60	0,94	0,42	0,20	0,66
B10	63,33	24,74	5,70	0,43	0,53	0,38	1,28	1,26	0,40	0,26	0,95

Nota: Adaptado de Caracterización de Cenizas de algunos carbones colombianos, Peña, 2011, p. 41.

2.2.2.4. OBTENCIÓN DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA PARA EL ESTUDIO

Ante la escasez de información relacionada con este tipo de ceniza, se describe el procedimiento de extracción, producción y obtención de bolas de carbón mineral de cocina en combinación con arcilla especial, para que luego de la combustión en estufas de hogar, se obtenga la ceniza.

2.2.2.4.1. EXTRACCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

El carbón mineral se obtiene de las minas artesanales de “Cerro negro” ubicado en el distrito de Conchucos-Pallasca-Ancash, así como se muestra en la **Figura 3**.

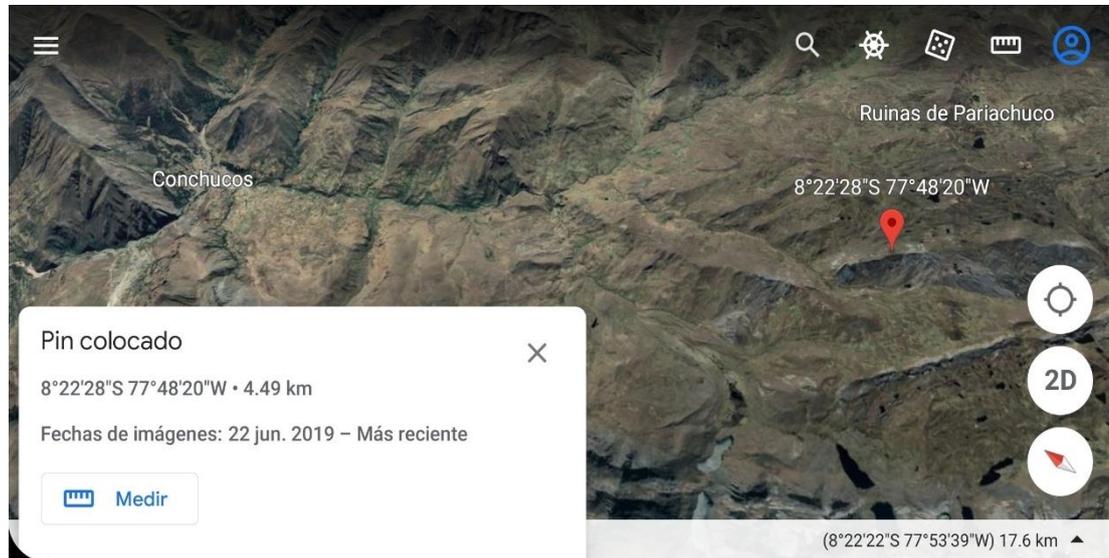


Figura 3

Ubicación Satelital de la mina de carbón en Conchucos

Nota: Obtenido con App Google Earth, agosto 2022.

La arcilla especial utilizada es comúnmente conocida como “mito” en este distrito, se obtiene de los alrededores del pueblo. Se prioriza que tenga la mayor plasticidad posible. Cuenta con características físicas: color amarillo pálido, y que al mezclarse con agua presenta una textura suave ante la presión con los dedos de la mano. Esta combinación es el lubricante para hidratar el carbón mineral y amasar las bolas de carbón. Así se puede evidenciar en la imagen, en estado sólido y en solución con agua.



Figura 4

Vista de la materia prima: A) Arcilla y B) Carbón mineral

Nota: Elaboración propia.

2.2.2.4.2. ELABORACIÓN DE BOLAS DE CARBÓN

Se prepara el carbón mineral suavizándolo con ayuda de un combo liviano de metal y la arcilla se humedece con agua (en proporción de 2:1 en volumen de agua: arcilla) como se evidencia en la **Figura 4A**. Posteriormente se realiza una mezcla de ambos materiales, hasta hidratar lo suficiente al carbón dándole la consistencia adecuada para formar bolas, las cuales son moldeadas manualmente. Luego, las bolas de carbón son colocadas sobre una superficie limpia para su respectivo secado mínimo por 72 horas, así como se puede evidenciar en la **Figura 5 A**.

2.2.2.4.3. PRODUCCIÓN Y RECOJO DE CENIZAS

Pasado el tiempo de secado, quedan aptas para poder usarlo como combustible para el hogar (en la cocina). En esta zona del Perú, se acostumbra utilizarlo en estufas para la cocción de los alimentos diarios. La estufa tiene un depósito donde se acumula la ceniza, y al extraerlo se obtiene la muestra de la **Figura 5B**. Es de color casi anaranjado claro.



Figura 5

Obtención de Cenizas: A) Bolas carbón secas y B) Ceniza de bolas de carbón calcinados

Nota: Elaboración propia.

Si bien es cierto, la ceniza aún cuenta con algunas partículas de aproximadamente 10 - 15 mm, pertenecientes al carbón crudo, es decir no fue calcinado. Entonces, para poder usar la ceniza en este estudio, primero se pasa por un tamiz N° 100, donde el porcentaje pasante es alrededor del 90%. Así mismo se procede a realizar su análisis de composición química que se muestran en el apartado de resultados.

2.3. DISEÑO DE MEZCLAS PARA EL CONCRETO

El diseño de mezcla del concreto, es la aplicación técnica y práctica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, con el objetivo de conseguir un material resultante que satisfaga de la manera más eficiente los requerimientos de la obra o elemento (**Pasquel, 1998, p. 171**).

Existen diversos métodos que facilitan la determinación de las proporciones de los agregados para el concreto. Sin embargo, no solo basta con el procedimiento, es muy importante el criterio del profesional, puesto que cada diseño contará con sus particularidades de cada componente de la mezcla y fines intrínsecos del concreto.

Pasquel (1998) sostiene que el diseño de mezcla no es el fin de un proceso, sino más bien, es el inicio de la búsqueda de la mezcla más idónea.

Los métodos se concentran en parámetros similares como son la relación agua-cemento, contenido de cemento y aire, asentamiento, tamaño máximo nominal y resistencia a la compresión básicamente; todos utilizados por el Método ACI 211. Sin embargo, por una preocupación en particular de las dosificaciones de los agregados gruesos y finos, surgen los métodos de Walker y el Método del Módulo de Fineza.

El primero, sostiene que la relación fino-grueso debería variar en función del contenido de la pasta, así como del perfil y tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso, considerando además la fineza del agregado fino. El segundo, establece que la relación de ambos tipos de agregado se obtiene en función de sus módulos de fineza (cualidad que determina indirectamente la gradación y superficies específicas de los agregados).

Se descarta la utilización del método de diseño del comité ACI 211 para esta investigación, puesto que es considerado como un método semiempírico que sirvió de base en las primeras mezclas de investigación (**Portugal, 2007, p. 90**). Además, no considera todas las características de los agregados, para el fin de este estudio.

En esta línea, en el Método del Módulo de Fineza también se pueden usar las tablas para el tipo de perfil del agregado. En este método principalmente varían los contenidos de agregado fino y grueso para diferentes resistencias, de acuerdo a la relación agua-cemento y del contenido total de agua, dando como resultado el contenido de cemento en la mezcla. Además, el módulo de fineza del agregado fino o grueso es un índice de su superficie específica y que, al aumentar, entonces incrementa la cantidad de pasta. Por otro lado, al mantener la demanda de pasta

constante y acrecentar la fineza del agregado, entonces disminuye la resistencia por adherencia. (Rivva, 2015, p.162)

De acuerdo a Riva, E. (2015, p.55) para el diseño de mezcla de los concretos patrones se desarrollará el siguiente procedimiento:

1. Sabiendo la resistencia de diseño $f'c$, se selecciona la resistencia promedio requerida ($f'cr$).
2. La selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso se hace en función de los 3 criterios de la norma y, sobre todo, como se elaboraron concretos estándar para uso en general. Estos criterios a considerar son:
 - a) 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado.
 - b) 1/3 de la altura de la losa, de ser el caso.
 - c) 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.
3. Se elige la consistencia de la mezcla en función del asentamiento.
4. Se determina el volumen de agua de mezclado por unidad de volumen del concreto. Considerando también el aire atrapado en la mezcla.
5. Se selecciona la relación agua-cemento requerida para lograr la resistencia deseada. Además, al considerar los criterios por resistencia y durabilidad, se elige el menor valor de ambos.
6. El factor cemento por unidad cúbica de concreto se determina en función del volumen unitario de agua y la relación agua-cemento.
7. Se determina las proporciones relativas de ambos agregados. Para este caso, se realiza por la combinación de los módulos de fineza.

8. Las proporciones de la mezcla se obtienen dependiendo el método de diseño, considerando que el agregado posee un estado seco y el volumen unitario de agua aun no haya sido corregido por humedad.
9. Se corrige las proporciones de acuerdo al porcentaje de absorción y contenido de humedad.
10. Se ajusta las proporciones seleccionadas de acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio. De ser el caso se corrige la cantidad de agua cuando no se alcanza el asentamiento previsto.

2.4. GLOSARIO

- **Aditivo:** Materiales orgánicos o inorgánicos que se agrega al concreto al momento del mezclado o después, con el objetivo de mejorar sus propiedades de acuerdo a las necesidades requeridas (Pasquel, 1998, p. 113).
- **Agregado de río:** También conocido en el Perú como hormigón o agregado global que se obtiene de las riberas o canteras del cauce de los ríos. Consiste en la mezcla natural del agregado grueso y fino. Puede también estar considerado como agregado marginal (NTP 339.047, 2014, p. 10).
- **Agregado Global:** Mezcla de agregado grueso y fino, normalizado por una granulometría (NTP 339.047, 2014, p. 10).
- **Asentamiento o revenimiento:** medida de la consistencia del concreto, que hace referencia al valor de la distancia vertical entre la parte superior del cono de Abrams y la corona de la mezcla formada luego de retirar el molde. Expresada comúnmente en pulgadas y/o centímetros.
- **Calor de hidratación:** Cantidad de calor que es producido durante los procesos de fraguado y endurecimiento del concreto, debido a las reacciones fisicoquímicas (Quiroz y Salamanca, 2006, p. 21).

- **Contenido de Aire:** es la diferencia entre el volumen de la mezcla y el volumen resultante de la suma algebraica de los volúmenes absolutos de los insumos (Quiroz y Salamanca, 2006, p. 21).
- **Curado:** “Proceso obligatorio en condiciones controladas (temperatura y humedad en laboratorio preferentemente) durante el fraguado y endurecimiento del cemento, mortero o concreto” NTP 334.001, 2001, p.10)
- **Dosificación:** Es la proporción de los insumos de una mezcla que pueden estar expresados en masa o volumen (NTP 334.001, 2001, p. 10).
- **Embadurnado:** Consiste en la preparación de una pequeña bachada de mezcla del diseño a utilizar, para garantizar que el mortero que se adhiera a la mezcladora no afecte a la dosificación de la mezcla real que se quiera realizar. Sobre todo, cuando el equipo se use por primera vez en la jornada.
- **Porosidad:** Relación entre el volumen de los poros (permeables o impermeables) y el volumen aparente del cuerpo.
- **Puzolanas:** Material silíceo o silíceo y aluminoso que en sí mismo posee poco o ningún valor cementoso pero que, en forma finamente dividida y con agua reaccionará químicamente con el hidróxido de calcio formando estructuras cementosas ((NTP 334.047, 2014, p. 22).
- **Puzolana Natural:** un material de origen natural crudo o calcinado que se comporta como una puzolana.
- **Resistencia de Diseño:** Esfuerzo a la compresión mínima que elige el ingeniero proyectista o personal capacitado para evaluar la calidad del concreto a la edad de 28 días.

- **Resistencia Requerida:** También conocida como resistencia promedio, valor que siempre es superior a la resistencia de diseño. Depende normalmente de la desviación estándar que se logra de la evaluación previa del concreto (Rivva, 2015, p. 57).
- **Tamaño máximo:** Aquel que corresponde al menor tamiz por el cual pasa toda la muestra del agregado grueso (NTP 400.047, 2014, p. 6).
- **Tamaño Máximo Nominal:** Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada donde se produce el primer retenido (NTP 400.047, 2014, p. 6).
- **Tapping:** son golpecitos en la cara lateral de un molde para eliminar vacíos en una mezcla cementosa fresca (NTP 334.047, 2011, p. 23).

2.5. MARCO NORMATIVO

- NTP 339.047:2014 – CONCRETO. Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados.
- NTP 334.087: 2008 – CEMENTOS. Adiciones minerales en pastas, morteros y concretos.
- NTP 339.232: 2010 – CONCRETO. Método de ensayo para determinar la velocidad de absorción de agua en concretos de cemento Portland.
- NTP 339.035: 2009 – CONCRETO. Método normalizado para medir el asentamiento del concreto de cemento portland.
- NTP 339.089: 1998 – SUELOS. Obtención en laboratorio de muestras representativas por el método del cuarteo.
- NTP 339.185:2002 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de humedad total evaporable de agregado por secado. También encontrado en MTC – 215.
- NTP 400.12: 2001 – AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado grueso, fino y global. También encontrado en MTC – 204.

- NTP 400.017: 2011 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o peso unitario y vacíos en los agregados. También encontrado en MTC – 203.
- NTP 400.021: 2013 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso (MTC – 206).
- NTP 400.022: 2013 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino (MTC – 205).
- NTP 400.037: 2014 – AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados del concreto.
- NTP 339.088: 2014 – CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción del concreto con cemento Portland.
- NTP 339.034: 2009 – CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.
- NTP 339.184: 2002 – CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la temperatura en mezclas de concreto.
- NTP 339.183: 2013 – CONCRETO. Práctica normalizada para elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.
- NTP 334.082: 2008 – CEMENTOS. Cemento Portland. Especificaciones de la performance.
- NTP 334.045: 2010 – CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la finura del cemento Portland por el tamiz de 45 micra (N° 325).
- NTP 339.046: 2008 – CONCRETO. Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire del concreto.

- 339.187: 2002 – CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad, absorción, y porcentaje de vacíos en el concreto endurecido.
- 334.104: 2011 – CEMENTOS. Ceniza volante y puzolana natural, cruda o calcinada par uso en concreto. Especificaciones.
- Comité ACI 318 (2015) – Requisitos de reglamento para concreto estructural.

CAPÍTULO III:

MATERIALES

Y MÉTODOS

3. CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

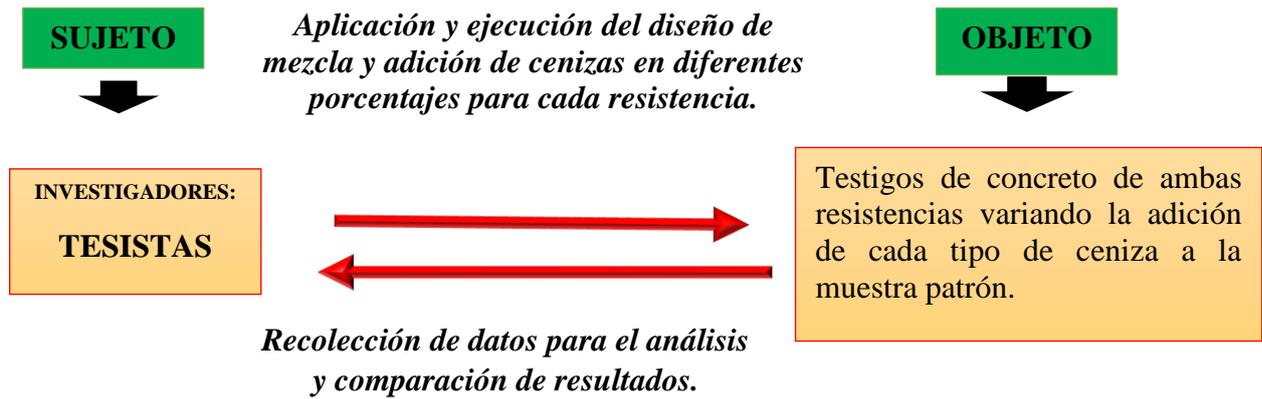
3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En el proceso de generar conocimiento se emplean dos métodos generalizados para la investigación, ellos son las aproximaciones cuantitativa y cualitativa. Para **Sampieri (2014, p. 4)** el método cuantitativo comprende un conjunto de procesos que están estrechamente enlazados de manera secuencial (no se puede saltar de ningún paso) y con una etapa probatoria sintetizada por medio de la estadística. Analiza una realidad objetiva, prueba de hipótesis planteada y concluye con una generalización de resultados evaluados estadísticamente.

En tal sentido, el método más apropiado que satisfizo los objetivos de esta investigación es de un enfoque cuantitativo y un diseño experimental. De esta manera se sometió a evaluación la hipótesis proyectada. Se pudo analizar las propiedades y calidad de los agregados de río, y elaborar testigos de concreto con adiciones de cenizas de carbón mineral de cocina en diferentes porcentajes. A su vez, se pudo estudiar sus propiedades como la temperatura, densidad, porosidad y resistencia a la compresión con la rotura de las probetas. Finalmente, se pudo obtener un agregado ideal para el concreto y el porcentaje óptimo de cada tipo de cenizas en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional del Santa.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para determinar la influencia de la ceniza de carbón mineral en concretos estándares elaborados con agregados de río en las propiedades de resistencia a la compresión, temperatura, densidad y porosidad, el diseño de investigación elegido ha sido el experimental.



3.3. UNIVERSO O POBLACIÓN

La población de esta investigación abarca a todos los testigos (probetas de concreto) elaborados con agregado de río como muestra patrón, y otros adicionando cenizas de carbón mineral de cocina en porcentajes de 5%, 10% y 15% para cada tipo de resistencia. En total se elaboró con 92 probetas de concreto con moldes de 150mm x 300mm y 16 cilindros de 100mm x 200mm. Las mezclas de prueba se realizaron de forma anticipada.

3.4. MUESTRA

La muestra comprende la misma cantidad de testigos que la población. Así mismo, todas las muestras son del tipo probabilísticos, ya que cualquiera de los elementos de la población tiene la posibilidad de ser elegidos. La distribución de testigos por cada tipo de resistencia y para cada edad de ensayo se ilustra en la siguiente tabla:

Tabla 17

Cantidad de Cilindros de Concreto de 150mm x 300mm para ambas resistencias de diseño $f'c$

MUESTRA DE CILINDROS DE CONCRETO (TESTIGOS)					
Adición / Resistencia	175 kg/cm ²		210 kg/cm ²		Total
	7 días	28 días	7 días	28 días	
0 % CCM	2	2	2	2	8
5 % CCM	2	2	2	2	8
10 % CCM	2	2	2	2	8
15 % CCM	2	2	2	2	8
Óptimo %		30		30	60
Total	8	38	8	38	92

Nota: Elaboración propia.

Tabla 18:

Cantidad de cilindros de 100mm x 200mm para ambas resistencias $f'c$

MUESTRA CILINDROS DE 100MM X 200 MM			
Adición / Resistencia	175 kg/cm ²	210 kg/cm ²	Total
	28 días	28 días	
0 % CCM	2	2	4
5 % CCM	2	2	4
10 % CCM	2	2	4
15 % CCM	2	2	4
Total	8	8	16

Nota: Elaboración propia.

3.5. ALCANCE DEL ESTUDIO

El presente estudio contempla la determinación de un porcentaje óptimo de cenizas de carbón mineral de cocina a través de la elaboración de testigos de concreto en distintos porcentajes de adición.

3.6. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. OBTENCIÓN DE MUESTRAS REPRESENTATIVAS EN EL LABORATORIO (MTC E 201)

El objetivo de obtener muestras representativas es que ostenten la naturaleza y condiciones innatos de un material. Se trabajó de acuerdo a las normativas MTC E 201 y NTP 400.010 para la extracción y muestreo preliminar del material. Una vez extraído el material de la cantera de río, se procede a secarse parcialmente de forma natural, y luego se traslada el material hasta el laboratorio.

A través del Método de cuarteo manual se procedió a colocar la muestra sobre una superficie plana, lisa, dura y limpia, garantizando que el material no se contamine con agentes extraños o que se pierda. Se mezcló todo el material con ayuda de una cuchara de albañil, se iba formando un montículo cónico porque cada cucharada se depositaba en la superficie más alta, una tras otra hasta remover y mezclar completamente.

Luego, se procedió a aplanar el material en forma cónico (vértice) para obtener un espesor aproximado de 3 veces el diámetro mayor de la muestra. Con la ayuda de una espátula ancha se dividió la figura (en forma de pastel) en 4 partes semejantes.

Finalmente, se expele completamente de la mesa 2 partes ubicadas diagonalmente entre sí. Las otras dos muestras restantes se siguen conservando para repetir el procedimiento tantas veces sean necesaria hasta alcanzar un tamaño de la muestra representativa de acuerdo a la normativa para cada tipo de agregado. Esto se ilustra en la **Figura 13**.



Figura 13. Método del cuarteo.

Nota: Manual de ensayos para materiales (Ayala, Y., Delgado, H., Cuellar, V. & Salazar, A., 2019, p.7)

3.6.2. OBTENCIÓN DEL AGREGADO GRUESO Y FINO

Al trabajar con agregado global se tuvo dos disyuntivas para elegir, el primero era considerar enteramente el material para el tamizado y por consiguiente realizar un diseño de mezcla general; el segundo, consistía en separarlo en sus dos componentes: agregado grueso (piedra redondeada) y agregado fino (arena). Para esta investigación, se eligió trabajar con la segunda forma, consignado como la más apropiada.

El procedimiento que se realizó es el siguiente:

Se seleccionó dos mallas nominales: el tamiz de 25 mm (1") y el tamiz de 4.75 mm (N°4). La malla mayor se colocó en la parte de arriba, seguido de la malla N°4. El material se fue pasando por ambas mallas para el tamizado manual. El agregado retenido sobre la malla mayor se descartó, lo retenido en la malla menor corresponde

a la piedra redondeada (agregado grueso) y lo que pasó por esta última malla fue el agregado fino (arena).

Finalmente, ambos agregados se recogieron y almacenaron en baldes de 20 litros tapados herméticamente para evitar su contaminación y manipulación indeseada en el laboratorio.

3.6.3. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO

3.6.3.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

Se utilizó este método con el objetivo de conocer la distribución (gradación) de las partículas que componen a cada uno de los agregados. El ensayo consistió en tamizar cada agregado por una sucesión de mallas (tamices) con abertura cuadrada donde se obtienen los pesos retenidos. Posteriormente, se obtuvo el porcentaje equivalente respecto al peso total de la muestra.

Por otro lado, sabiendo que los agregados (gruesos y finos) conforman entre el 60% a 75% del volumen total del concreto, estos influyen directamente en las características mecánicas que adopta el concreto, tales como: dosificación, trabajabilidad, porosidad, contracción del concreto y su resistencia a la compresión. Los resultados obtenidos sirvieron para determinar la distribución del tamaño de partículas que exige la especificación de la norma técnica respectiva. Entonces, ha sido de suma importancia su determinación para un control adecuado de los materiales utilizados para elaborar el concreto.

Este ensayo está bajo las especificaciones de la NTP 400.012 / MTC E 204

Además, la norma ASTM C136 únicamente se limita a determinar con precisión la finura del material hasta 75 micras (malla N° 200). En caso de que existiera un porcentaje pasante considerable y mayor al 5% de este tamiz, entonces se habría

tenido que hacer uso de la norma ASTM C136 y la técnica que adopta la ASTM 117, para el método del lavado de partículas finas.

Módulo de finura

En 1925, Duff Abrams introdujo por primera vez la definición de módulo de fineza como la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices estándares hasta la malla N° 100, donde la sumatoria es dividida entre 100.

El módulo de fineza es conocido como el tamaño promedio ponderado de un agregado, pero que no representa la distribución de sus partículas. Es utilizado generalmente para el agregado grueso, sin embargo, en este trabajo, se determinó para ambos agregados con el objetivo de realizar un diseño de mezcla del concreto mediante el método de Módulo de Fineza de la combinación de agregados.

Este parámetro de los agregados es fundamental e imprescindible para garantizar la producción de mezclas de concreto con características similares como resistencia a la compresión, cantidad de agua y plasticidad o asentamiento. Por lo tanto, de acuerdo al conocimiento empírico, se sabe que los agregados con el mismo módulo de finura, no dependen necesariamente de su gradación para generar concretos idénticos. La fórmula general para determinar esta característica es:

$$M.F. = \frac{\sum \% Ret. Acum. (11/2", 3/4", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100)}{100}$$

Equipos y Materiales

Equipos

- Balanza electrónica con una sensibilidad de 0.1% del peso de la muestra y 0.1g de aproximación para el agregado fino y 0.5g para la piedra.

- Estufa u horno capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Materiales

- Recipientes de plástico y/o metal en buen estado
- Espátulas, cucharas
- Tamices estándares seleccionados de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla 19

Serie de Tamices para la Granulometría del Agregado Grueso y Fino

Serie de Tamiz utilizado para agregado grueso	Serie de Tamiz utilizado para agregado fino
1”	N°4
3/4”	N°8
1/2”	N°16
3/8”	N°30
N°4	N°50
Cazoleta	N°100
	N°200
	Cazoleta

Nota: Elaboración propia.

Muestra

Se realizó una mezcla de todo el material y a través del método del cuarteo se reduce a la cantidad especificada, de acuerdo a las consideraciones subsecuentes. Se evitó reducir el material a un peso exacto determinado.

La cantidad de muestra mínima considerada para el agregado fino fue de 300 gramos.

La muestra del agregado grueso se realizó según la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 20

Cantidad mínima de muestra para el tamizado agregado grueso

TMN abertura cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayo
mm	pulgadas	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

Nota: Manual de Ensayo de Materiales, MTC, Tabla 1, 2016, p.304.

Procedimiento

Se obtuvo el peso constante de la muestra secándolo en el horno a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Si se desea obtener resultados rápidos, no es necesario secar el material, a menos que:

- 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 (agregado liviano).

Se seleccionó y ordenó los tamices de forma decreciente según la serie especificada para cada tipo de agregado. Se colocó la muestra en el tamiz superior y posteriormente se procedió a taparlo. Se utilizó una máquina tamizadora para el ensayo, la cual permaneció agitándose hasta alcanzar los 10 minutos para la piedra y 15 minutos para la arena.

Después de cumplir el tiempo considerado, se verificó el peso retenido en cada tamiz teniendo en cuenta que al variar en 1% o más debido al desperdicio, obligatoriamente se tenía que repetir el ensayo. El tamizado manual para verificar esta consideración se realizó por 1 minuto colocando los tamices sobre una superficie de asiento que facilite su desplazamiento al agitarlo, con el fondo y tapa correctamente ajustados para evitar fugas. Se hicieron movimientos en forma circular y de atrás hacia adelante, presionando contra la mano que esté libre. Luego, se obtiene el peso del material retenido en cada malla con la ayuda de una balanza.

Tabla 21

Límites Granulométricos para Agregado Grueso

Tamiz (N°)	Abertura (mm)	Límite 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%
Cazoleta	-	5%	0%

Nota: Diseño de Mezclas, Rivva, E. (2015, p.75) Nota: Para evitar mayores pérdidas por desperdicio, se limpia con cuidado todos los tamices con ayuda de un cepillo y brocha. *El número de identificación de granulometría ASTM C-33 es el 67 (3/4” a N°4).

Finalmente, se pasaron los datos al programa de cálculo Excel para la creación de las curvas granulométricas acorde a cada tipo de agregado. Las coordenadas del

diagrama fueron en escala logarítmica para las abscisas (abertura de tamices) y escala natural para el porcentaje que pasa.

Como consideración no menos importante se tuvo cuidado en representar los límites de las curas ideales para los agregados grueso y fino según las **Tablas 21 y 22**.

Tabla 22

Límites Granulométricos para Agregado Fino

Tamiz (N°)	Abertura (mm)	Límite superior	Límite inferior
3/8”	9.5	100%	100%
N°4	4.75	100%	95%
N°8	2.36	100%	80%
N°16	1.18	85%	50%
N°30	0.59	60%	25%
N°50	0.295	30%	10%
N°100	0.1475	10%	2%
N°200*	0.0737	5%	0%

Nota: Tópicos de Tecnología del Concreto, Pasquel, E. (1993, p.106) *Nota:* Los límites corresponden al % acumulativo pasante. *En ocasiones es considerable utilizar un promedio del 3%.

3.6.3.2. PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

El peso unitario es definido como la masa de un volumen unitario conocido (que es fácil de determinar). Dentro de este volumen están comprendidos las partículas y los vacíos que estas forman al aglomerarse. Está expresado comúnmente en kg/m^3 , y es determinado tanto para agregados finos y gruesos.

Se determinó los valores del peso unitario de acuerdo a la NTP 400.017 necesarios para el diseño de mezcla por el método de Módulo de Fineza.

Equipos y materiales

Equipos

- Balanza con precisión de 0.1% respecto al peso del material empleado.
- Recipiente de medidas conocidas o que sea fácil de determinar su volumen, se usó de madera, donde en ningún caso la altura fue menor del 80% ni mayor que 150% del diámetro.

Materiales

- Varilla compactadora de acero, cilíndrica de 16mm o 5/8” de diámetro, cuya longitud bordee los 600 mm (24”), con la punta semiesférica y de 8 mm de radio.
- Pala de mano, cucharón y regla.

Muestra

La cantidad representativa de material utilizado para este ensayo se obtuvo por medio del cuarteo. Se garantizó que la cantidad del material sea mayor a la capacidad del recipiente, estando entre el 125 y 200% del volumen requerido. Se secó el material en horno a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

3.6.3.2.1. PESO UNITARIO SUELTO

Sirvió para convertir el peso a volumen y regular el consumo de agregados por metro cúbico de concreto.

Procedimiento

Se determinó el peso y volumen del recipiente utilizado. A continuación, se llenó el recipiente hasta el rebose con una pala o cuchara, cuidando que no se descargue a una altura mayor de 50 mm (2”). Luego, se eliminó el material del exceso con ayuda

de una regla conformando un enrasado. Finalmente, se determinó el peso del recipiente más su contenido, registrándose con una aproximación de 0.05 kg.

3.6.3.2.2. PESO UNITARIO COMPACTADO

Esta propiedad se usó para describir volúmenes de materiales en estado compactado, ya sea por el acomodo de sus partículas naturalmente, o por intervención. Además, sirve para determinar el porcentaje de vacíos del agregado. De acuerdo al Manual de Ensayo de materiales (MTC, 2016, p.229) se usa el procedimiento para agregados que posean como tamaño máximo nominal de 37.5 mm o menos.

Procedimiento

Habiendo obtenido el peso y volumen del recipiente se realizaron 2 marcas que dividieron la altura en 3 partes proporcionales. Se llenó la tercera parte con el agregado emparejando la superficie con los dedos y se apisonó dicha capa con 25 golpes de la varilla distribuyéndolos uniformemente desde los bordes hacia el centro. Se continuó con el llenado de material hasta alcanzar la marca de los 2/3 del depósito volviéndolo a emparejar la superficie y apisonar con la misma cantidad de golpes. Para finalizar se echó el material a la última capa, enrasándolo con una regla y apisonándolo como ya se describió.

Así se procedió a determinar el peso del recipiente lleno y se registran los datos con precisión de 0.05 kg.

Se debe evitar que la varilla golpee bruscamente (o que no golpee) el fondo del molde en la primera capa. Para las capas superiores, la varilla no debe atravesar más profundidad que el espesor del estrato.

3.6.3.3. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

La finalidad de este ensayo fue determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado posterior a 24 horas de estar saturado en agua. Esto fue aplicado en el cálculo de los diseños de mezclas y su corrección.

El peso específico o gravedad específica se utiliza para calcular el volumen que ocupa el agregado en mezclas como de concreto o para asfalto entre otras. Tanto el peso específico aparente y relativo aparente consideran al material sólido de las partículas que lo componen y que no atañen el espacio poroso interno. Parámetro que no es muy usado en la tecnología de concretos constructivos.

El cálculo de la absorción sirvió para obtener la variación en la masa del agregado debido al agua absorbida por sus poros internos y en cambio, en condición seca está en contacto con agua lo suficiente para garantizar la mayor absorción potencial.

3.6.3.3.1. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Equipos y materiales

Equipos

- Balanza de capacidad mínima de 1kg y con sensibilidad de 0.1 gramos.
- Horno capaz de alcanzar una temperatura de 110 ± 5 °C uniforme.
- Cocina eléctrica pequeña.
- Secadora de cabello con aire frío y caliente.

Materiales

- Frasco volumétrico con capacidad de 500 cm³, calibrado hasta 0.1 cm³ a 20 °C.

- Molde cónico, metálico de 40 ± 3 mm de diámetro interior en su base menor, 90 ± 3 mm de diámetro interior en una base mayor y 75 ± 3 mm de altura.
- Varilla de apisonado con un extremo en una superficie circular plana.

Muestra

La obtención de la muestra de arena se realizó mediante el método del cuarteo, reduciéndolo hasta 1 kg aproximadamente. Este material se sometió a un secado en horno a temperatura constante de 110 ± 5 °C por 24 horas. Luego, se cubrió completamente con agua en una bandeja, dejándolo reposar por otras 24 horas.

Pasado este tiempo se decantó el agua cuidadosamente para evitar la pérdida de finos y se extendió uniformemente el material sobre una superficie plana. Se aplicó corrientes de aire frío con la ayuda de una secadora de cabello, removiendo frecuentemente hasta conseguir que las partículas no se adhieran entre sí (que se encuentren superficialmente secas, pero completamente saturadas). Por último, se colocó en el molde cónico golpeando la superficie suavemente 25 veces con la varilla de apisonado en tres capas sucesivas hasta enrasarlo con una espátula. Se repitió el procedimiento de colocado hasta lograr que al quitar el molde se derrumbe, y por lo tanto indicaba que se alcanzó una condición de superficie seca.

Procedimiento

Teniendo la muestra obtenida superficialmente seca, se introdujo al frasco 500 gramos de material y se llenó parcialmente de agua a una temperatura de 23 ± 2 °C de tal manera que facilite los movimientos de agitado.

Para eliminar las burbujas de aire se mejoró lo especificado en el manual de ensayos de materiales del MTC (NTP 400.022), ya que se hizo calentando y agitando el frasco con la muestra y el agua, hasta lograr la ebullición. De esta manera se garantizó que

el agua ocupe todos los vacíos (poros) del agregado. Se dejó reposar hasta alcanzar una temperatura de 23 ± 2 °C y se llenó de agua hasta la capacidad calibrada (línea blanca). Luego, se determinó el peso total del picnómetro (fiola), espécimen y agua.

Terminado el proceso anterior, se procedió a retirar meticulosamente el agregado fino del frasco sin dilapidar los finos. Se coloca la muestra en una bandeja y se somete a un secado en horno a temperatura de 110 ± 5 °C por 24 horas. Cumplido este tiempo, se extrajo la bandeja del horno, se dejó enfriar por 1 hora aproximadamente y se determinó el peso de la muestra en estado seco.

Se tomaron nota a todos los datos del ensayo, para el posterior cálculo en gabinete. Para mayor precisión de los resultados, se hizo 3 ensayos distintos, eligiendo el más favorable (el que represente la media de los 3). Los valores no se combinaron por cómputo, solo fueron comparados entre los mismo.

Se obtuvo el peso específico de masa, peso específico de masa saturada con superficie seca, peso específico aparente y la absorción.

3.6.3.3.2. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Ensayo elaborado de acuerdo a la NTP 400.021: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.

Se determinaron estos valores con el objetivo de usarlos tanto en el cálculo y corrección de diseño de mezclas, así como en el control de uniformidad de las características físicas de los agregados.

Equipos y materiales

Equipos

- Balanza de capacidad mínima de 5 kg y con sensibilidad de 0.5 gramos. Equipada con un dispositivo (un gancho) capaz de suspender la muestra en la cesta con malla de alambre dentro de una bandeja con agua.
- Cesta con malla de alambre con aberturas del tamiz N°6, así garantiza que no quede aire atrapado cuando se sumerge el agregado.
- Depósito de agua (tina o bandeja) de altura mayor que la de la malla, ubicada en el centro del dispositivo que se suspende desde el centro de la balanza.
- Tamices normalizados como el N°4 y de 1” para rectificar el tamaño del agregado.
- Horno capaz de alcanzar una temperatura de 110 ± 5 °C uniforme.

Materiales

- Bandeja y trapo absorbente para extender y secar la muestra superficialmente antes de proceder con el ensayo de inmersión.

Muestra

La obtención de la muestra se hizo cuarteando el material hasta reducirlo a una cantidad necesaria de acuerdo a la tabla siguiente. Se descartó todo el material que pasaba la malla N°4, e inmediatamente se lavó el material para remover el polvo y otras impurezas.

Tabla 23

Peso mínimo de la muestra de Agregado Grueso

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	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)

Nota: Manual de Ensayo de Materiales Tabla 1, 2016, p.313.

Procedimiento

Para tamaños máximos nominales de hasta 1 ½ pulgada o mayores (recomendándose hacer en 2 o más submuestras) se siguió el siguiente proceso:

La muestra cuarteada y lavada se secó a temperatura constante en horno por 110° C \pm 5° C por 24 horas. Pasado este lapso de tiempo se retira del horno y se ventila en un lugar fresco a temperatura ambiente por 2 horas en promedio. Tras ello, se preparó una bandeja con agua y se sumergió el agregado durante otras 24 horas, cubriéndolo completamente con el líquido.

Se removi6 la muestra sumergida vertiendo el agua de la bandeja y el espécimen se extendió en un paño absorbente haciéndolo rodar hasta que desaparezca todo indicio visible de alguna película de agua. Sin embargo, a pesar que alguna partícula se veía húmeda y se verifica que no exista agua visible acumulada. Así se procede a secar en

partes mayores sin descuidar la evaporación durante esta operación de rodado. Luego, se pesó la muestra saturada con superficie seca obtenida y se computa con aproximación de 0.5 gramos o al 0.05 % del peso de la muestra (la mayor). Inmediatamente se colocó la muestra pesada en la canastilla y se determina su peso en agua a temperatura ambiente. Al momento de sumergir la muestra, se verificó la eliminación de aire atrapado moviendo cuidadosamente la cesta de alambre.

Finalmente se secó la muestra en horno a una temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Transcurrido este tiempo, se extrae del horno y se dejó enfriar por 2 horas o hasta que sea cómoda al tacto, luego se obtiene su peso. Se tomaron nota de todos los datos y se computan al programa de cálculo elaborado previamente. Se obtuvo el peso específico de masa, peso específico de masa saturada con superficie seca, peso específico aparente y la absorción.

Para garantizar una mayor certeza de los resultados, se repitió el ensayo con distintas muestras en 3 ocasiones. Así, se eligió la muestra más representativa, la cual se ubicaba en medio de los valores máximo y mínimo del trio de ensayos.

3.6.3.4. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

A través de este ensayo se determinó el porcentaje total de humedad evaporable de una muestra de cada tipo de agregado. Se tuvo especial cuidado si es que había partículas mayores a 50 mm, ya que requieren mayor tiempo de secado en el horno, sin embargo, no fue el caso porque se trabajó con TMN de piedra de 3/4".

La humedad evaporable como tal, inmiscuye tanto a la humedad superficial y a la contenida en los poros del agregado. Empero, no se considera el agua combinada químicamente con los minerales que están presentes en algunos agregados. Se siguió

el procedimiento establecido en la NTP 339.185: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

Equipos

- Balanza de capacidad mínima de 2.5 kg y con sensibilidad de 0.1 gramos.
- Recipiente para colocar la muestra en el horno y que soporte altas temperaturas.
Con forma conveniente para que el espesor de la muestra no exceda un quinto de la menor dimensión del recipiente.
- Horno capaz de alcanzar una temperatura constante de 110 ± 5 °C.

Muestra

Las muestras representativas para cada tipo de agregado se realizaron por cuarteo. Se respetó conseguir una masa no menor a lo establecido en la siguiente tabla.

Tabla 24

Peso mínimo de la muestra de agregado

Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulgada)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg
4,75 (0,187) (N°4)	0,5
9,5 (3/8)	1,5
12,5 (1/2)	2,0
19,0 (3/4)	3,0
5,0 (1)	4,0
37,5 (2.1/2)	6,0
50,0 (2)	8,0
63,0 (2.1/2)	10,0
75,0 (3)	13,0
90,0 (3.1/2)	16,0
100,0 (4)	25,0
150 (6)	50,0

Nota: Manual de Ensayo de Materiales (por MTC) Tabla 1, 2016, p.362.

Procedimiento: Luego de seleccionar el peso adecuado para el ensayo de acuerdo a la tabla mostrada para cada tipo de agregado, se realizó la medición de la masa de la muestra en una balanza de precisión del 0.1%. Tanto para la arena como la piedra, fue necesario tomar 3 muestras representativas. Se colocó la muestra en recipientes

adecuados y fueron sometidas al horno para su respectivo secado durante 24 horas a una temperatura constante de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Cuando transcurrió el tiempo de secado, se extrajeron las muestras y se dejaron enfriar por una u hora y media, hasta que estén adecuadas para el tacto. Luego, se pesan cada espécimen y se registraron todos los datos con precisión de centésimas.

Finamente, para el cálculo del contenido de humedad se procedió como sigue:

$$w\% = [(W_h - W_s) / W_s] * 100.$$

Donde;

W_h = Peso húmedo de la muestra o peso inicial (gramos)

W_s = peso seco de la muestra (gramos)

w% = contenido de humedad del ensayo (%).

Luego de obtener los resultados de las 3 muestras, se hizo un promedio simple obteniéndose el contenido de humedad representativo del agregado. En caso de que entre algunos de los 3 ensayos hubiera una dispersión considerable (mayor de 1 o 2 puntos), se descarta el más desfavorable y se repite la prueba.

3.6.4. DISEÑO DE MEZCLAS - MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA

Independientemente del método de diseño de mezcla elegido se han respetado criterios fundamentales y pasos establecidos para garantizar que una proporción de la mezcla satisfaga las propiedades deseadas. Sin embargo, en este estudio, se trabaja con agregado de río, donde el más conveniente fue el diseño por combinación de agregados (Módulo de Fineza) ya que asegura una mejor dosificación de ambos agregados, algunas veces agregados marginales. Además, se realizó diseños de mezcla con el método de Walker, donde comparándolo con el diseño anterior

mencionado, se obtuvo una dosificación muy lejana a la conseguida con el método del Módulo de Fineza. Se sabe que, al tener una dispersión grande entre el volumen de agregados y la cantidad de cemento, la resistencia se verá afectada. Es por ello que se eligió el método que combine eficientemente la gradación de las partículas de los agregados

Se han seguido los procedimientos ya mencionados en el marco teórico para el Método del Módulo de Fineza de la combinación de agregados.

3.6.4.1. RESISTENCIA DE DISEÑO

De acuerdo a las necesidades de este estudio se plantea como resistencias de diseño esperadas a concretos con $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

3.6.4.2. SELECCIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

Para obtener la resistencia de diseño establecida (para concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$). Se tuvo en cuenta el uso de la desviación estándar y el coeficiente de variación, pero al no contar con datos que establezcan estos parámetros, se usaron los valores de la tabla siguiente:

Tabla 25

Resistencia a la Compresión Promedio Requerida

Resistencia especificada	Resistencia promedio requerida
$f'c < 210 \text{ kg/cm}^2$	$f'c + 70 \text{ kg/cm}^2$
$210 \text{ kg/cm}^2 < f'c < 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'c + 84 \text{ kg/cm}^2$
$f'c > 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'c + 98 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Diseño de mezclas, Rivva, E., tabla 7.43, p.63.

Si en caso se contara con datos estadísticos, se debía hacer uso de la siguiente tabla:

Tabla 26
Factor de Modificación para la desviación estándar

Número de ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra
Menos de 15	Usar la tabla 5.3 de E.060
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

Nota: RNE E.060, MVCS, 2009, p.41.

Así mismo si se cuenta con una desviación estándar obtenida de estudios previos se debe usar las fórmulas de a continuación:

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

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

o también puede calcularse directamente o interpolando de la tabla 7.4.1 establecida por Rivva, E., p.65.

Finalmente, correlacionando valores de la **Tabla 25** la resistencia promedio requerida (f'_{cr}) que se obtuvo fue de **245 kg/cm²** y **294 kg/cm²** respectivamente, para cada resistencia de diseño f'_{c} .

3.6.4.3. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

Se consideraron dos conceptos básicos y es fundamental saberlo diferenciar, esto son:

De acuerdo a la contemplación de estos parámetros en el glosario y en consideración de los 3 requisitos mínimos ya señalados que debe cumplir el TMN para un concreto,

se determinó la gradación del agregado grueso haciendo uso de la siguiente tabla correspondiente a la clasificación de la Norma ASTM C 33:

Tabla 27

Requisitos granulométricos ASTM C-33 para agregado grueso en % pasante acumulativo

Malla	Número de identificación de granulometría ASTM C-33						
	1" a 1/2"	1" a 3/8"	1" a N°4	3/4" a 3/8"	3/4" a N°4	1/2" a N°4	3/8" a N°8
TMN							
1 1/2"	100	100	100	-	-	-	-
1"	90 a 100	90 a 100	95-100	100	100	-	-
3/4"	20 a 55	40 a 85	-	90 a 100	90 a 100	100	-
1/2"	0 a 10	10 a 40	25 a 60	20 a 55	-	90 a 100	100
3/8"	0 a 5	0 a 15	-	0 a 15	20 a 55	40 a 70	85 a 100
N° 4	-	0 a 5	0 a 10	0 a 5	0 a 10	0 a 15	10 a 30
N°8	-	-	0 a 5	-	0 a 5	0 a 5	0 a 10
N° 16	-	-	-	-	-	-	0 a 5

Nota: Tomado de Tópicos de tecnología del concreto, Tabla 5.6, por E. Pasquel, 2da Edición, p.105.

De acuerdo a las sugerencias de normas de diseño estructural, establecen que el tamaño máximo nominal debe ser el agregado de menor costo y mayor tamaño posible. Eso sí, debe tenerse en cuenta los 3 criterios establecidos al inicio de este apartado.

En ese sentido, para el diseño de mezclas se eligió utilizar un **TMN de 3/4"** por la facilidad en su obtención de la cantera de río. Además, se garantizó el uso para la mayoría de estructuras posibles de la construcción de la zona.

3.6.4.4. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO (SLUMP)

El asentamiento está definido como la propiedad que determina el grado de humedad de la mezcla. Es conocido como consistencia del concreto y está clasificado como:

- a) Mezclas secas: entre 0 a 50 mm (0 – 2 pulgadas)
- b) Mezclas plásticas: entre 75 mm – 100 mm (3 – 4 pulgadas)
- c) Mezclas fluidas: mayores que 125 mm (>5 pulgadas)

Al no contar con una especificación de que asentamiento utilizar o referidos de estudios anteriores, Rivva (2015, p.76) consideró los siguientes criterios para la selección:

- a) Se debe dosificar el concreto con una consistencia plástica, es decir con un asentamiento de 3 a 4 pulgadas. Si la compactación es por varillado se usará asentamientos menores a 5 pulgadas.
- b) Utilizando la tabla de a continuación, preparada por el comité 211 del ACI, donde se recomienda usarlo cuando se realiza vibración.

Tabla 28
Selección del asentamiento para construcciones más comunes

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

Nota: Diseño de mezclas, Rivva, 2015, p.77.

Por lo tanto, considerando el estudio para uso en general de las estructuras, se eligió un asentamiento plástico o trabajable de **3 a 4 pulgadas**.

3.6.4.5. SELECCIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE

Selección del agua en la mezcla

Consistió en elegir el volumen unitario de agua por unidad cúbica de concreto. Este parámetro está condicionado principalmente a la trabajabilidad (asentamiento) de la mezcla y el TMN del agregado grueso.

Haciendo uso de las tablas elaboradas en base a las recomendaciones por el comité 211 del ACI y la tabla elaborada por el Departamento de Concreto del Laboratorio de Ensayos de Materiales de la UNI se seleccionó el volumen unitario de agua que se debe añadir a la mezcladora para alcanzar la consistencia seleccionada y la resistencia a la compresión del concreto. Esta última tabla considera a la consistencia, el tamaño máximo nominal y el tipo de perfil del agregado.

Tabla 29

Volumen unitario de agua elaborado por el comité 211 del ACI

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

Nota: Tabla elaborada por el comité 211 del ACI citado en Diseño de Mezclas, Rivva, 2015, p.82.

Tabla 30
Volumen Unitario de Agua elaborado por la UNI

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Volumen unitario de agua en lt/m ³ , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso					
	1" a 2"		3" a 4"		6" a 7"	
	Agregado Redondeado	Agregado Angular	Agregado Redondeado	Agregado Angular	Agregado Redondeado	Agregado Angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	97	216
1 1/2"	1	167	163	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Nota: hace referencia al volumen unitario de agua para agregados de río. Adaptado de Diseño de Mezclas, Rivva, 2015, p.83.

Estos valores presentados garantizan seguridad en la estimación primaria de las proporciones de una mezcla de concreto. Así mismo, están sujetas a correcciones de acuerdo a los ensayos realizados en laboratorio. Si se desea incrementar la cantidad de agua debe ser obligatoriamente proporcional a la cantidad de cemento, con la finalidad de asegurar la relación agua-cemento.

Para esta investigación se realizaron los diseños preliminares usando ambas tablas antes mencionadas, es decir, utilizando **185 Lt/m³** respetando el perfil del agregado de tipo redondeado (de río) y **205 Lt/m³** considerando a la piedra y arena como un agregado angular. De acuerdo a los ensayos preliminares (muestras de prueba) se comprobó que, al utilizar las proporciones obtenidas del diseño con el volumen de agua necesario como agregado redondeado para alcanzar el slump esperado, se debía

añadir una mayor cantidad de este líquido en relación a la otra dosificación. Por esta razón, para los diseños de mezcla se ha optado por considerar únicamente esta selección del parámetro como si el agregado fuera de contorno angular.

Selección del contenido de aire en la mezcla

Por otro lado, el aire en las mezclas se puede presentar de dos formas: aire atrapado o natural es aquel que se produce por las operaciones del proceso de elaboración de la mezcla y aire incorporado es aquel que ha sido añadido intencionalmente a la pasta.

Las burbujas de aire atrapado son caracterizadas por bordear un diámetro de aproximadamente 1mm y con perfil irregular. Esto se debe al aporte de los materiales, preparación, granulometría y tamaño máximo del agregado.

Tabla 31

Contenido de Aire atrapado o Natural

Tamaño Máximo Nominal	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 ½"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Nota: Diseño de Mezclas, Rivva, 2015, p.89.

Está demostrado que a mayor presencia de aire en las mezclas tiende a reducir la resistencia a la compresión del concreto, puesto que la porosidad aumenta. Sin embargo, favorece significativamente para concretos que estén expuestos al congelamiento del agua presente en los poros capilares.

La norma NTP 400.037 (ASTM C 33) dentro de sus requisitos para concretos sin aire incorporado presenta el porcentaje aproximado de aire atrapado para diferentes tamaños máximos nominales del agregado grueso.

Con la información presentada en la **Tabla 31** se seleccionó el valor de **2% de aire** atrapado en la mezcla de concreto, correspondiente para un TMN de 3/4” del agregado grueso.

3.6.4.6. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO

La relación agua-cemento es un criterio determinante para la obtención de propiedades deseables del concreto en estado endurecido. Se puede seleccionar de 2 maneras, tanto por resistencia como por durabilidad y/o requisitos de acabado si los hubiera. A la cantidad de agua que se utilizará en la pasta cuando los materiales están en estado saturado superficialmente seco (SS), se le llama relación agua-cemento de diseño, ya que, de esta forma, no aportan ni absorben agua. En cambio, la relación agua-cemento efectiva es la cantidad de agua que interviene en la mezcla considerando las condiciones de humedad de los agregados.

Como se deseaba elegir este parámetro por estos 2 aspectos, primero se usó la tabla que brinda la relación a/c por durabilidad y en seguida la de resistencia, y luego de compararlas se eligió el menor valor de estos. Prevalciendo la premisa de que a menor relación agua-cemento se alcanzan mayores resistencias del concreto.

Para este trabajo, no existieron condiciones especiales a las que deba estar expuesto el concreto, en tal sentido se descarta el uso de las tablas por durabilidad. Prevalció el uso de agua-cemento por resistencia.

Tabla 32
Relación Agua- Cemento por Resistencia

f'cr (28 días) kg/cm ²	Relación agua-cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	-
450	0.38	-

Nota: Esta tabla es una adaptación a la elaborada por el comité 211 del ACI. Adaptado de Diseño de Mezclas, Rivva, 2015, p.95.

La relación agua-cemento de diseño se definió realizando una interpolación entre los valores inferiores y superiores de concretos sin aire incorporado de la tabla anterior. Se obtuvo un valor de **0.56** para el concreto f'cr = 294 kg/cm² y **0.63** para el concreto f'c = 245 kg/cm².

3.6.4.7. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

Habiéndose obtenido el volumen unitario de agua por unidad de volumen para la mezcla y la relación agua-cemento, la cantidad de cemento se calculó dividiendo la cantidad de agua (expresada en litros por metro cúbico) entre la proporción a/c. Se obtuvo la medida de cemento en kilos por metro cúbico de concreto, así como se muestra en la ecuación.

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

Relacionando los parámetros de volumen unitario de agua con la relación agua-cemento se obtuvo:

Para concreto $f'_{cr} = 294 \text{ kg/cm}^2$

Contenido de Cemento = $(205 \text{ Lt/m}^3) / 0.56 = 367.12 \text{ kg/m}^3 / 42.5 \text{ kg} = 8.64 \text{ bls/m}^3$

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

Contenido de Cemento = $(205 \text{ Lt/m}^3) / 0.63 = 326.43 \text{ kg/m}^3 / 42.5 \text{ kg} = 7.68 \text{ bls/m}^3$

3.6.4.8. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO Y FINO

Este componente del diseño de mezclas es primordial, puesto que, los agregados componen aproximadamente los 2/3 de la pasta. La granulometría de los agregados deseable es obtener la cantidad mínima de vacíos entre partículas. Está demostrado que la granulometría ideal es muy difícil de determinar, puesto que se garantiza el uso de la menor cantidad de pasta que se mezcla con los agregados para alcanzar las propiedades mínimas del concreto proyectado.

Para el método de diseño de mezclas del ACI se calcula primero el volumen necesario de agregado grueso y por diferencia se halla el agregado fino. En el caso del diseño de mezclas por el método de Módulo de Fineza, sucede lo contrario y como sigue:

Se determinó el volumen absoluto de la pasta entre cemento, agua añadida para la mezcla, porcentaje de aire. La diferencia entre la unidad cúbica y este volumen de pasta calculado, nos arroja el volumen de agregados entre grueso y fino.

Con el resultado del cálculo del factor cemento, se ingresó a la **Tabla 33** que se muestra para interpolar y calcular el módulo de la combinación de agregados (denotado por “m”).

Luego, el porcentaje de agregado fino respecto al volumen absoluto de los agregados se hizo con la fórmula siguiente:

Tabla 33
Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados

TMN	Modulo Fineza de la combinación de agregados*			
	6.00	7.00	8.00	9.00
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

Nota: Muestra los valores del módulo de fineza de la combinación de agregados que mejora las condiciones de trabajabilidad para contenidos de cemento en sacos/metro cúbico.

Adaptado de Diseño de Mezclas, Rivva, 2015, p.123.

* Se consideran valores para agregados de perfil angular adecuadamente graduados.

$$\% A.F. = \frac{M_g - m}{M_g - M_f} \text{ donde;}$$

Mg: es el módulo de fineza del agregado grueso

Mf: es el módulo de fineza del agregado fino

m: es el módulo de la combinación de agregados.

El valor del módulo de fineza de la combinación de agregados “m” se obtuvo interpolando en la **Tabla 33**. Ingresando con el valor del TMN y la cantidad de bolsas de cemento por metro cúbico. Para el diseño de mezcla del concreto $f'_{cr} = 294$ kg/cm² fue de **5.16** con un porcentaje de **42.2%** de agregado fino, y para el concreto $f'_{cr} = 245$ kg/cm² fue **5.09** con **44.1%** de arena.

La cantidad de agregado fino (m³) se obtuvo multiplicando el porcentaje calculado por el volumen absoluto de los agregados.

La diferencia entre el volumen absoluto de los agregados y el volumen de agregado fino nos dio el volumen del agregado grueso.

Para obtener los pesos secos de los agregados (kg/m^3) se multiplicó los volúmenes determinados con su peso específico de masa respectivo.

Por último, se establecen los valores de diseño obtenidos con la aplicación del Método del Módulo de Fineza como pesos secos, tales como: cantidad de cemento (kg/m^3), agua de diseño (lt/m^3), agregado fino (kg/m^3) y agregado grueso (kg/m^3). Así como se muestra en el **Anexo 03** de diseños de mezcla.

3.6.4.9. CORRECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Los agregados que se utilizan en la mezcla de un concreto muy pocas veces se encuentran en estado seco totalmente. Por ello, se debe tomar en cuenta la humedad de los mismos.

Para que el agua de mezclado que se incorpora a la mezcladora sea algebraicamente reducida en un volumen igual a la humedad superficial, se restó el contenido de humedad menos el porcentaje de absorción, para cada agregado según corresponda.

Estos dos últimos parámetros fueron calculados mediante los ensayos de materiales enumerados en este capítulo, tanto para el agregado grueso y para el agregado fino.

Cálculo de agua efectiva

La humedad superficial es positiva cuando los agregados aportan agua la mezcla, y esta cantidad es disminuida del agua de diseño, obteniéndose el agua efectiva. En contraste, puede ser negativa en caso el agregado tome agua de la mezcla para

alcanzar su estado saturado superficialmente seco. Entonces, se debe agregar esta cantidad al agua de diseño.

$$\text{Agua AG} = \text{Peso del AG} * \left(\frac{\% w - \% Abs}{100} \right). \quad \dots \text{tl} / \text{m}^3$$

$$\text{Agua AF} = \text{Peso del AF} * \left(\frac{\% w - \% Abs}{100} \right). \quad \dots \text{tl} / \text{m}^3$$

Entonces, el agua efectiva resultó de:

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

Finalmente, se actualizaron los valores de la dosificación del concreto. Ver **Anexo 03** de diseños de mezcla.

3.6.5. ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN EL LABORATORIO

El control minucioso durante el proceso de elaboración del concreto y el curado de las probetas determinan también las propiedades del concreto. De esta manera se controla la dosificación más idónea del diseño de mezcla empleado.

Este apartado está sujeto a las indicaciones de la norma NTP 339.183 (ASTM C 192) Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.

Tras haber obtenido las cantidades de los ingredientes del diseño de mezcla ya mencionado, se procedió a elaborar y curar los testigos de concreto con el cuidado que establecen las normativas. El curado se realizó en la poza establecida del laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNS, saturándose completamente hasta cada edad requerida del ensayo respectivo.

Equipos y materiales

Equipos

- *Moldes*: fueron de tipo cilíndricos y de acero reutilizables, verificándose que no reaccionen en contacto con la mezcla. Las dimensiones fueron de 150mm de diámetro y 300 mm de altura, y sus tolerancias están dentro del rango: en diámetro ± 2 mm y en altura hasta ± 6 mm. Todo esto de acuerdo con la especificación ASTM C 470 "Molds For Forming Concrete Test Cylinders Vertically". Así mismo, el laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNS cuenta con moldes más pequeños de 100 mm y 200 mm, diámetro y altura respectivamente.
- *Varilla Compactadora*: de acero, con forma cilíndrica sólida y con su extremo compactador hemisférico con radio igual al de la varilla. Se contó con 2 varillas: una larga con diámetro de 5/8" (16 mm) y longitud aproximada de 600 mm; y otra corta con diámetro igual a 3/8" (10 mm) y longitud aproximada de 300 mm. De acuerdo al tamaño del molde utilizado, se optó por la primera. Solo para el caso de elaborar moldes más pequeños se usó la varilla de 3/8.
- *Martillo o mazo de goma*: de caucho con peso que oscila entre 0.578 ± 0.23 kg (1.25 ± 0.5 lb).
- *Cono para medir asentamiento*: cumplió con los requisitos de la norma MTC E 705.
- *Recipientes para muestreo y mezcla*: se utilizó una carretilla de fondo plano, metálico, impermeable, de profundidad adecuada y de suficiente capacidad. Se utilizó para recibir la tanda que se descarga de la mezcladora.

- *Balanzas*: se usaron con precisión del 0.30% para determinar la masa de las muestras de concreto.
- *Mezcladora de concreto*: se utilizó una mezcladora mecánica. Para no utilizar otro tipo de mezcladora se corrigió la dosificación de la mezcla alcanzando asentamientos con mezclas trabajables.
- *Equipo misceláneo*: Tamices, palas, palustres, reglas, guantes de caucho, planchas, etc.
- *Termómetro*: Cumplió con los requisitos de a norma ASTM C 1064.

Materiales

Los materiales estaban preferentemente mantenidas a condiciones de temperatura ambiente que oscilaba los $\pm 18^{\circ}\text{C}$.

- *Cemento*: se adquirió del proveedor en bolsas cerradas y herméticas, luego de usarse se ha colocado en recipientes con tapas garantizando que se mantengan secas y no expuestas a la humedad.
- *Agregados*: para evitar la segregación de los agregados, se dividió en porciones pequeñas, de proporción adecuada para utilizar en el mezclado y antes de echar a la mezcladora se revolvió nuevamente todo y obtener el peso exacto. Se verificó que cuando una fracción de tamaño está presente en cantidad superior al 10%, el cociente entre el tamaño del tamiz superior y el del inferior no debe exceder de 2,0. Ambos agregados se mantuvieron a condición natural o húmeda colocándolos en recipientes sellados.
- *Aditivos*: se utilizó un aditivo en polvo para el concreto, libre de sales higroscópicas. Fue pesado como una proporción del cemento y

posteriormente agregado a la mezcladora. El trato fue similar al del cemento, respetando el orden de ingreso de los insumos al trompo.

Muestra

Las muestras cilíndricas utilizadas fueron de dimensiones 150 mm x 300 mm (6''x12''). Con estos, se pudo realizar los controles necesarios para el cemento fresco como el control del asentamiento, temperatura, contenido de aire y factor de compactación. Con los moldes más grandes se obtuvo muestras para medir la resistencia a la compresión a distintas edades (7 y 28 días). Los testigos elaborados para medir la absorción fueron de 100 mm x 200 mm (4''x8'').

Para comprobación del diseño de mezcla patrón se han realizado 2 muestras para cada edad de rotura, así como, para cada resistencia. Tras ellos, se fabricaron probetas con adiciones de ceniza de carbón mineral en distintos porcentajes, para distintas edades y para ambas resistencias a la compresión.

Cabe resaltar que esta norma MTC E 702 resalta que los ensayos a compresión se hacen generalmente a edades de 7 y 28 días.

Procedimiento

Como control saliente se verificó que, de acuerdo a la normativa, la mezcla o tanda de concreto deje un 10% de residuo después de haberse moldeado los especímenes de cada ensayo.

El mezclado con máquina mecánica se realizó de la siguiente manera:

Cuando se encontró la mezcladora seca para la primera tanda se humecta las paredes interiores echándole agua. Luego, se dejó escurrir a la carretilla para que no quede agua contenida y tampoco se pierda agua de la tanda por absorción de la máquina.

Antes de encender la máquina se introdujo el agregado grueso con aproximadamente la mitad del agua de mezcla.

Se puso en funcionamiento, y una vez se encuentre dando unas cuantas revoluciones, se añade el agregado fino, seguido el cemento y agua restante. La mezcladora debe seguir funcionando mientras se echa los insumos, salvo haya algún inconveniente y se requiera pararlo.

Estando todos los materiales dentro, se controla el tiempo de mezclado por 3 minutos. Al cabo de esto, se apagó la mezcladora por 3 minutos más y se puso en funcionamiento nuevamente por los últimos 2 minutos. Se trató de mantener cubierto el extremo abierto con bolsa plástica para evitar la evaporación durante el reposo de la mezcla.

Trascurrido los 8 minutos del mezclado, se recibió el concreto en la carretilla limpia ligeramente seca con el diseño de no perder agua del diseño.

Además, se realizó ambas sugerencias de la norma para obtener las proporciones finales correctas del concreto. El embadurnado se hizo en dos ocasiones cuando la mezcladora se usaba por primera vez en el día y la sobre proporción de la mezcla se hizo en la mayor parte de los ensayos iniciales del día.

3.6.5.1. MOLDEADO DE LOS TESTIGOS DE CONCRETO

El Manual de Ensayos de Materiales (MTC,2016) especifica que la elaboración de testigos de concreto se debe efectuar lo más cerca posible desde el contenedor total al molde y/o al lugar donde se va a almacenar para su fraguado por un intervalo de 24 horas aproximadamente.

Con la mezcla ya contenida en la carretilla se comprobó que los moldes estén en buenas condiciones, es decir limpios, nuevos o seminuevos, si tienen pintura que esta

no se desprenda y correctamente humectadas de petróleo (o similar) con el objetivo de facilitar el desmoldado al día siguiente.

Se colocaron los moldes en el lugar definitivo (sobre una superficie plana, rígida y que no pueda generar vibraciones). Posteriormente se vertió el concreto al interior de los moldes utilizando la cuchara para concreto y/o palustre, eludiendo el desperdicio de mezcla por los bordes. La mezcla de la carretilla fue removida continuamente evitando así la segregación de los agregados.

El número de capas específicas se determinó de acuerdo a la tabla siguiente presentada por el Manual de ensayos de materiales.

Tabla 34
Número de capas requeridas en la elaboración de muestras

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

Nota: Manual de ensayo de materiales, MTC, 2016, p.777.

El método de compactación utilizado fue el apisonado (varillado). Sin embargo, aconseja usar el método del apisonado para asentamientos mayores a 75 mm (3”), los métodos de vibración o apisonado para asentamientos comprendidos entre 25 mm a 75 mm (1” – 3”) y solo será necesario vibración para mezclas con un slump menor

a 25 mm (1”). No es recomendable aplicación vibración interna para muestras con diámetro inferior a 100 mm.

La compactación de cada capa se hizo utilizando la parte redondeada de la varilla de 5/8”. Se llenó proporcionalmente en 3 capas toda la altura del cilindro. La primera capa se comienza apisonando con la varilla hasta el fondo sin ejercer mucha presión. Se utilizaron 25 golpes repartidos uniformemente, comenzando desde los bordes al centro de forma circular. Una vez culminado el apisonado, se dio ligeros golpes a las paredes externas del molde con el mazo de goma, con el propósito de eliminar el aire contenido en la mezcla.

El número de golpes para el apisonado se eligió de acuerdo a la **Tabla 35**.

Tabla 35

Diámetro de varilla compactadora 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 ² (pulg ²)	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 ² (1 pulg ²) de área
350 (50) o más	16 (5/8)	1 por cada 14 cm ² (2 pulg ²) de área

Nota: Manual de ensayo de materiales, MTC, 2016, p.778.

La segunda capa se compacta calculando que la varilla penetre toda la capa y aproximadamente 125 mm (1/2 pulgada) de la capa inicial cuando la capa tiene un espesor menor de 100 mm; cuando la capa es de mayor altura, se penetrará a la capa

anterior aproximadamente 25mm (1 pulgada). De la misma manera se procede a dar los golpes externos con el mazo hasta crear una película uniforme en la superficie de la mezcla. Para la tercera capa se procede de la misma manera que la segunda, siempre agregando una porción de mezcla extra que sirve para el enrasado.

El acabado de las muestras se realizó con las manipulaciones mínimas, utilizando una plancha de albañil, dejando una superficie plana y pareja evitando depresiones o protuberancias mayores a 3.2 mm (1/8”).

Se tapó las muestras con bolsas plásticas herméticas para prevenir la evaporación prematura del agua de la mezcla y se deja reposar hasta el día siguiente para su respectivo desencofrado. No se dejó que el plástico quede en contacto con el acabado de la probeta.

3.6.5.2. DESENCOFRADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO

Luego de la elaboración de los testigos, se esperaron aproximadamente 24 horas \pm 4 horas para desencofrarlos, pudiendo aceptarse hasta las 48 horas según el manual. Se removieron cuidadosamente cada muestra de su molde sin provocar daños en los filos.

3.6.5.3. CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO

Inmediatamente después de retirar los testigos de sus moldes se sumergieron en una poza curadora con agua del laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNS. Contaba con un área de forma triangular de 2.6 m² y altura de agua de 36 cm. Se mantuvieron las condiciones de humedad a una temperatura de 23° C \pm 2°C desde el momento del moldeo hasta el momento del ensayo. Con la poza curadora, se protegió las primeras 48 horas como dicta el manual, quedando libre de vibraciones que afecten el curado.

No se permitió exponerse los especímenes a condiciones de goteo o de corrientes de agua que puedan afectar su estado.

Se evitó el secado de las paredes de cada probeta de concreto luego de cumplir su periodo de curado, así fueron sometidos al ensayo de compresión lo más rápido posible. De esta manera, se garantizó un estado hidratado al momento de realizar la prueba. Además, durante el proceso de esta investigación, al dejar mucho tiempo reposando los testigos luego de ser sacados de la poza, su resistencia puede disminuir significativamente.

3.6.6. ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (NTP 339.035 / ASTM C 143)

El asentamiento (slump o consistencia) del concreto es la capacidad para mantener su estado plástico sin deformarse. Es por ello que puede adaptarse a los encofrados o moldes cilíndricos. Su unidad de medida normalmente es en pulgadas. Esta prueba propuesta por Duft Abrams, fue adoptada en 1921 por el ASTM y analizada finalmente en 1978.

Como consideraciones generales se tuvo presente que, si el concreto moldeado se inclinaba pronunciadamente, sufría segregaciones o algún tipo de corte, entonces se repetía el ensayo. Además, este método no es aplicable para concretos con asentamientos inferiores a 1/2 pulgada (125 mm).

De acuerdo al diseño de mezclas se eligió un tipo de mezcla plástica con asentamiento de 3” a 4” garantizando que el concreto estudiado pueda emplearse de forma general.

Equipos y materiales

- *Cono de Abrams y plancha metálica rígida:* molde metálico, inatacable por el concreto, con espesor de lámina no menor a 1.14 mm (0.045”). Las

dimensiones del diámetro de la base mayor fueron 203 ± 2 mm ($8'' \pm 1/8''$), de la base menor 102 ± 2 mm ($4'' \pm 1/8''$) y de altura 305 ± 2 mm ($12'' \pm 1/8''$). Las bases estaban abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. Además, el molde tenía agarraderas y plancha metálica rígida con sujetadores para el cono.

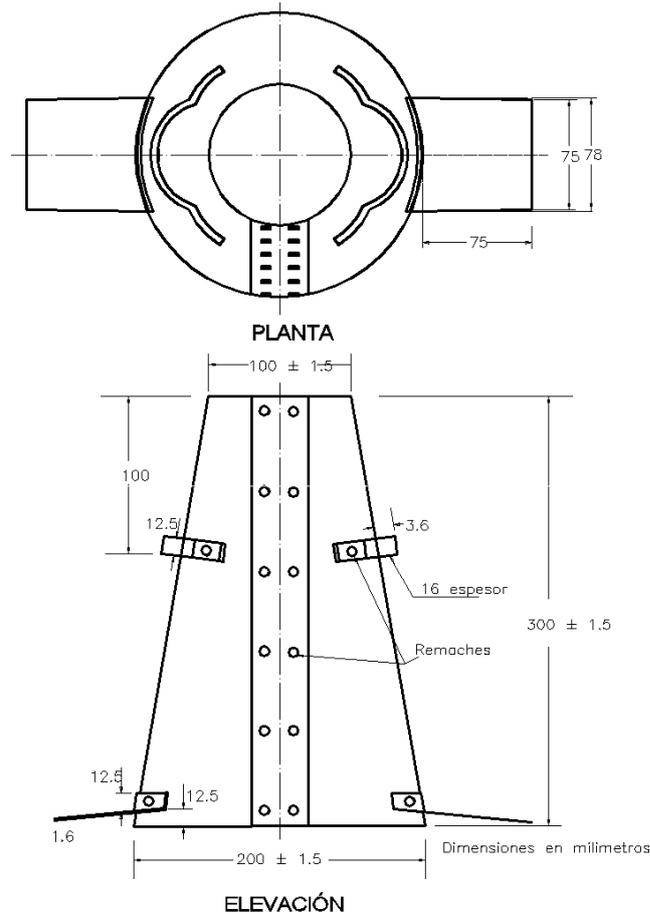


Figura 6
Molde para medir el asentamiento del concreto

Nota: El gráfico muestra al cono de Abrams visto en planta y en altura. Tomado de Manual de Ensayos de Materiales, MTC, 2016 (p.802).

- *Varilla compactadora:* de acero liso, de forma cilíndrica con diámetro de 16 mm ($5/8''$) y longitud de 600 mm ($24''$) aproximadamente. En su extremo preparado para compactar debe ser hemisférico con radio de 8 mm ($5/16''$).
- Cucharón para mezcla, badilejo, wincha y/o regla metálica.

Procedimiento

Previamente se limpió el molde de los restos de concreto que había. Se humedece y se coloca todo el equipo sobre una superficie plana, lo suficientemente rígida y no absorbente. Se pisó sobre las manecillas de seguridad de la plancha con ambos pies y se llenó la muestra de concreto en tres capas. Cada capa representa un tercio del volumen del aparato cónico, la primera con una altura aproximada de 67 mm y la segunda 155 mm.

Cada capa fue compactada con 25 golpes de la varilla, con una distribución uniforme sobre la superficie transversal y en todo su espesor, dando casi la mitad de los golpes por el perímetro y los restantes avanzan al centro en forma de espiral. La varilla se inclinó levemente cuando se compactó la primera capa. Para la capa posterior y última se introdujo ligeramente la varilla con cada golpe en la capa inmediatamente anterior.

Cuando se llenó la última capa se colocó mezcla excedente antes de compactar para garantizar un correcto enrasado. De ser necesario, se añadió mezcla quedando siempre mezcla sobre su superficie. Se enrasa con la varilla.

Inmediatamente se retiró el molde cuidadosamente y lo más vertical posible, sin hacer movimientos de torsión. Este tiempo estará bordeando los 5 ± 2 segundos. Además, el tiempo que se demoró desde el llenado el molde hasta su retiro no sobrepasó de 2 minutos 30 segundos. No pasó más de 5 minutos después de tomada la muestra para hacer el ensayo.

Se midió el asentamiento, mediante el valor de la diferencia entre la altura del molde y la parte superior de la muestra (centro original de la base y la parte superior del espécimen).

Formas que puede adoptar la mezcla al retirar el molde:

- a) Asentamiento cercano a cero: pueden ocurrir cuando se trabaje con agregados que alteren el agua de la mezcla y se presencia una mezcla seca y compacta. Mediadas que bordean las 0 pulgadas.
- b) Asentamiento normal: concreto que presenta una excelente trabajabilidad y su valor está entre las 2 y 7 pulgadas.
- c) Asentamiento por cortante: cuando un concreto está desproveído de plasticidad y cohesión, puede presentar aberturas notorias.
- d) Colapso en el asentamiento: se presenta normalmente en concretos con un alto porcentaje de agregados gruesos o muestras muy húmedas, se presenta la segregación.

El ensayo de revenimiento puede tener distintas causas que la alteren, entre ellos están: agua de diseño, tamaño máximo de agregados, granulometría, forma y textura, etc. Así mismo, esta propiedad está ligada intrínsecamente a la temperatura.

3.6.7. TEMPERATURA DE LA MEZCLA DE CONCRETO (NTP 339.114)

Esta característica del concreto en estado fresco se evaluó porque influye directamente en las propiedades del concreto en estado endurecido y de acuerdo a las especificaciones de este estudio.

Equipos y materiales

- *Recipiente*: se utilizó como contenedor el depósito que recibió la tanda de concreto mezclado. Compuesto de un material no absorbente y se garantizó un recubrimiento de por lo menos 3 pulgadas (75 mm) en todas las direcciones alrededor del sensor que mide la temperatura. Del mismo modo,

el recubrimiento del concreto alcanzó más de 3 veces el tamaño máximo del agregado grueso.

- *Medidor de temperatura:* fue un termómetro para concreto, calibrado con la tanda reciente de concreto y variación de ± 0.5 °C entre 0° y 50° C. El sensor que mide la temperatura es de tipo metálico y obligatoriamente se sumergió al menos 3 pulgadas en el lapso que marca la temperatura. Se han utilizado 2 tipos de termómetros, de tipo agujas y digital.

La calibración del termómetro de concreto se verificó que estuviera calibrado por no más de un año. La medida de la temperatura se hizo después de haberse introducido el sensor a la mezcla, luego que pasó por lo menos dos minutos y cuando se establezca la temperatura.

Muestra

La porción de concreto utilizado se encontraba sobre la carretilla que transportaba el concreto fresco recién preparado y sacado de la mezcladora. El sensor estuvo rodeado mínimamente por 3 pulgadas a su alrededor.

Procedimiento

Una vez que la mezcla estaba dentro del contenedor mencionado, se verificó que el volumen prevea el recubrimiento adecuado para el ensayo. Se insertó el termómetro dentro de la mezcla, el extremo del sensor quedó dentro al menos 3 pulgadas de profundidad. No quedó expuesto una longitud considerable del sensor para eludir algún efecto adverso de la temperatura ambiente.

En un lapso de 2 a 3 minutos se esperó a que la temperatura se establezca y se registró. Para tomar una segunda lectura, se hizo inmediatamente en los 5 minutos ulteriores.

3.6.8. DENSIDAD DE PRODUCCIÓN Y CONTENIDO DE AIRE (Gravimétrico)

(NTP 339.046)

La masa por unidad de volumen (densidad) fue llamado inicialmente como peso unitario. A través de este ensayo se determina la densidad del concreto en estado fresco y que a través de fórmulas se calculó el rendimiento, contenido de cemento y contenido de aire.

Equipos y materiales

- *Balanza*: contó con una precisión de aproximadamente el 0.3% (45 g, 0.1 lb) del peso del ensayo. Se consideró desde el medidor vacío hasta el mismo con su contenido, considerándose un peso unitario de 2600 kg/m³.
- *Varilla Compactadora*: de tipo cilíndrica y metálica con un diámetro de 16 mm (5/8") y una longitud cercana a 600 mm (24") y demás parámetros señalados para ensayos anteriores.
- *Medidor*: se utilizó un recipiente cilíndrico de acero, impermeable y con rigidez suficiente que mantienen su forma y volumen calibrado hasta de forma brusca. El borde superior han sido lisos y planos en 0.25 mm (0.01"). La capacidad se ajustó a lo especificado en la tabla posterior.

Tabla 36

Capacidad mínima de los medidores para ensayo de densidad

Tamaño nominal máximo del agregado grueso*		Capacidad del medidor, mínimo**	
mm	pulg	dm ³	ft ³
25,0	1	6	0,2
37,5	1½	11	0,4
50	2	14	0,5
75	3	28	1,0
114	4½	71	2,5
152	6	99	3,5

Nota: Esta tabla permite elegir la capacidad mínima del molde cilindro a utilizar en este ensayo. Adaptado de Manual de Ensayo de Materiales, MTC, 2016 (p. 841).

* El agregado de un TMN puede retener hasta el 10% de partículas en el tamiz de este tamaño.

** Para tener en cuenta el desgaste, las medidas son aceptables hasta en 5% menos.

- *Placa enrasadora*: De forma rectangular y metálica con un espesor de al menos 6 mm (1/4”), tenía un ancho y largo superiores en 50 mm (2”) respecto al diámetro del medidor.
- *Equipo de Calibración*: Placa de vidrio de al menos 6 mm (1/4”) de espesor y mínimamente superior en 25 mm (1”) al diámetro del medidor. Se utilizó grasa colocada sobre el borde del recipiente, evitando derrames.
- *Martillos*: Tenía cabeza de caucho con una masa aproximadamente de 600 ± 200 g (1.25 ± 0.5 lb) para medidores de 14 dm^3 (0.5 pies^3) o menos. Se utilizó un depósito de dimensiones $30\text{cm} \pm 4 \text{ mm}$ de alto y radio de $15\text{cm} \pm 2 \text{ mm}$ que bordeaba los 0.021 m^3 (0.75 pies^3), superior al mínimo requerido para TMN de 3/4”.

Símbolos empleados

A = Contenido de aire (porcentaje de vacíos) en el concreto.

N = Real de cemento, kg/m^3 ó lb/yd^3 ; Nt = Masa del cemento en la tanda, kg o lb.

Ry = Rendimiento relativo.

T = Masa teórica del concreto, suponiendo la no presencia de aire, kg/m^3 o lb/pie^3 .

V = Volumen total absoluto de los ingredientes que componen la tanda, m^3 o pies^3 .

W = Densidad o Masa unitaria del concreto, Kg/m^3 o lb/pie^3 .

W_1 = Masa total de todos los materiales de la tanda, Kg o lb (suma de masas de todos los ingredientes utilizados de concreto.).

Y = Volumen de concreto producido por tanda, m^3 o yd^3 .

Yd = Volumen de concreto que, por diseño, debería producir la tanda, m^3 o yd^3 .

La densidad teórica se determina en el laboratorio, al emplear los mismos componentes en iguales proporciones, esta se mantiene. Se determina por:

$$T = W_1 / V$$

Procedimiento

Se realizó la calibración del medidor y se determinó el factor a ser usado en la conversión de la masa en kg (lb) de su contenido a masa unitaria kg/m^3 (lb/pe^3).

Apisonado: se colocó el concreto en el medidor en tres capas aproximadamente iguales. Se realizó 25 golpes con la varilla compactadora, ya que el recipiente no sobrepasaba los 0.28 m³, y de hacerlo, se debió golpear 50 veces. Se tienen las mismas consideraciones como para la elaboración de testigos. Después de que cada capa fue compactada se golpeó los costados del molde con el martillo de goma entre 10 a 15 veces para eliminar los vacíos atrapados dentro de la mezcla. No se realizó la vibración interna.

Acabado la compactación no se dejó en exceso la mezcla que sobresalga por encima de los 3 mm (1/8 pulg) contados desde el nivel de borde del molde. Está permitido añadir una pequeña cantidad para corregir algún tipo de deficiencia. Si hay mucho exceso se retira con la cuchara de concreto. Luego, se realizó el enrasado superficial con la placa enrasadora. Fue adecuado presionar la placa enrasadora sobre la superficie del medidor, para cubrir los 2/3 de la superficie aproximadamente, y se iba retirando con movimiento de sierra. Tras ello, se coloca la placa cubriendo los 2/3 originales, y se avanza la placa con una presión vertical y un movimiento de sierra para cubrir toda la superficie. Para darle un mejor acabado, se puede dar pequeños golpes con el extremo inclinado de la placa, caso contrario puede utilizarse una plancha de albañil.

Luego del acabado, se limpió los residuos o excesos de concreto que hayan caído sobre el molde o su placa y se determinó la masa neta del concreto. Así mismo se tomó lectura de las dimensiones exactas del medidor obteniendo su volumen y peso vacío.

Los parámetros señalados se calculan con el uso de las siguientes fórmulas:

a) Densidad del concreto en estado fresco

$$W = \frac{Mc - Mm}{Vm};$$

Mc es la masa del medidor lleno de concreto, Mm es la masa del

medidor vacío y Vm es el volumen del medidor.

b) Rendimiento

$$Y = \frac{W_1}{W};$$

rendimiento expresado en m³.

c) Rendimiento relativo

$$Ry = \frac{Y}{Yd};$$

donde un valor superior a 1.00 significa que el concreto se está produciendo

en exceso, mientras que un valor inferior denota que la tanda es pequeña para su volumen de diseño.

d) Contenido de cemento

$$N = \frac{Nt}{Y};$$

indicó la cantidad de cemento está presente en la mezcla.

e) Contenido de aire

$$A = \frac{Y - V}{Y} \quad \text{ó} \quad A = \frac{T - W}{T}$$

3.6.9. REFRENTADO DE CILINDROS DE CONCRETO (NTP 339.037 / ASTM C 617)

Tabla 37
Esfuerzo de compresión y máximo espesor de la capa de refrentado

Esfuerzo de compresión del cilindro	Esfuerzo mínimo del material de refrentado	Máximo espesor promedio del refrentado	Máximo espesor de cualquier parte del refrentado
3,5 – 50 Mpa (500 – 7000psi)	35 Mpa (5000 psi)	6mm (0,25’’)	8 mm (0,31’’)
> 50 Mpa (7000 psi)	Resistencia a la compresión no menor que la del cilindro	3mm (0,125’’)	5 mm (0,20’’)

Nota: Manual de ensayo de materiales, MTC, 2016 (p. 781).

Consiste en la colocación de una capa de espesor mínimo para mejorar el acabado de la muestra antes de someterse al ensayo de compresión. Cuando se refrenta cilindros de concreto fresco se hacen con cemento puro, para cilindros con concreto endurecido se refrentan con yeso de alta resistencia o mortero de azufre.

Esta capa debe ser tan fuerte como la muestra de concreto a refrentar. La superficie lograda debe ser plana con tolerancia de 0.05 mm (0.002’’). La resistencia del mortero de refrentado y el espesor de la capa se hizo de acuerdo a la **Tabla 37**.

Equipos y Materiales

Equipos

- *Placas para refrentado:* se utilizó el mismo plato de metal que se emplea para el mortero de azufre. La profundidad dentro de la placa para el refrentado tenía un espesor menor de 12mm. No se usó la olla de fundición para mortero con azufre.

- *Dispositivo de alineación:* se usaron niveles de ojo para asegurar la perpendicularidad del eje del espécimen cilíndrico, con tolerancia de 0.5° (3.2 mm en 305 mm).

Materiales

- Mortero de alta resistencia: se utilizó cemento y yeso con relación a/c adecuada. Se realizaron los ensayos de calificación elaborando cubos de 50 mm de lado. La relación agua/yeso – cemento se manejó dentro del rango de 0.26 a 0.30. el uso de esta relación baja genera resistencias de hasta 35 MPa a las edades de una o 2 horas.

Procedimiento

Antes del refrentado, se verificó si es que alguno de los extremos presenta imperfecciones, superficie aceitosa o cerosa, se eliminó con un cepillado ligero (cepillo de acero) para facilitar la adherencia de la pasta. Las bases de los cilindros deben ser lo más perpendiculares a su eje en no más de 3mm.

Se mezcló la pasta de cemento-yeso con una relación de a/c de 0.28. El cemento y el yeso estaban en relación de 2 a 1. El espesor promedio colocado fue de 6 mm, y como máximo de 8 mm en alguna parte de la superficie del cilindro. La placa se removió luego de 45 minutos aproximadamente. La resistencia desarrollada a edades de 1 o 2 horas alcanza los 35 MPa.

Antes de realizar el ensayo de compresión se verificó la planitud de la superficie del refrentado y el espesor de las capas, de presentar imperfecciones se debía retirar la capa y volverla a construir. Se mantuvieron curando en humedad los cilindros refrentados hasta realizar el ensayo de compresión.

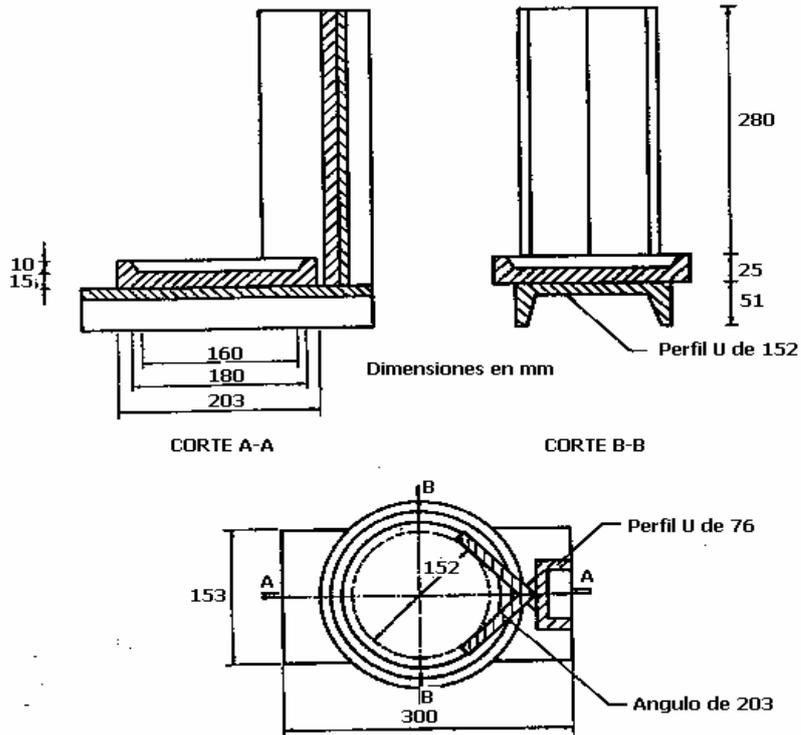


Figura 7

Equipo para refrentado de cilindros de concreto endurecido

Nota: Adaptado del manual de ensayos de materiales, MTC, 2016 (p.785).

Para este caso, se esperó hasta 3 o 4 horas que endure la mezcla aplicada del refrentado.

3.6.10. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILÍNDRICOS (NTP 339.034)

Consiste en medir el máximo esfuerzo axial que es capaz de soportar el concreto sin presentar fallas o sin romperse, a una velocidad constante. La resistencia a la compresión se determinó dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen.

Es una de las propiedades más importantes del concreto endurecido, la cual es utilizada generalmente para discutir su calidad y aceptación en obra. Así mismo, se

evaluó y controló la efectividad del aditivo (cenizas de carbón mineral de cocina) utilizado en la mezcla de concreto.

Se ha empleado los ensayos de acuerdo a la NTP 339.034, tanto para las muestras patrón como para las probetas cilíndricas con adiciones en diferentes porcentajes y para ambas resistencias a la compresión establecidas para el estudio.

Equipos y materiales

- *Máquina de Ensayo:* Máquina eléctrica que aplica la carga de manera continua e intermitente sin choques. Tenía la suficiente capacidad de carga para el ensayo y reunía las condiciones de velocidad para seleccionar y permanecer constantes. Se verificó que la máquina esté calibrada de acuerdo a la norma ASTM E-4, donde por lo menos se haga anualmente. La precisión de los resultados brindados por la máquina no excedió del $\pm 1\%$ de la carga indicada.
- *Equipamiento de la máquina:* Constaba de dos bloques de carga de acero y caras lisas, pero en una de ellas lleva amortiguadores de caucho que estarán en contacto con el concreto en ambos extremos. El indicador de carga fue digital.

Muestra

No se ensayaron las muestras que de cualquier diámetro individual difiere con otro en más del 2%. Si alguna probeta no tenía una superficie plana en su extremo en 0.05 mm (0.002”) obligatoriamente debía ser refrentado.

El diámetro de cada cilindro sobrepasó el mínimo requerido, el cual debe ser mayor de tres veces el tamaño máximo nominal del agregado.

Para obtener el resultado de un ensayo se sometieron a la máquina de compresión 2 probetas de la misma edad y del mismo tipo de concreto, el promedio da el valor de la resistencia obtenida.

Procedimiento

Al cumplir cada edad de curado, se removieron las probetas de la poza e inmediatamente se procedió a realizar el ensayo en la máquina de compresión. Es decir, deben estar en condición húmeda y sin permitir que se seque la superficie exterior. Se respetaron los rangos de tolerancia de la Tabla que se muestra.

Tabla 38

Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes

Edad del Ensayo	Tolerancias del Ensayo
12 horas	0,25 o 2,1%
24 horas	± 0,5 horas o 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 ö 2,2%

Nota: Obtenido de Manual de Ensayo de Materiales, MTC, 2016 (p.794).

Colocación de la muestra: Se verificó que ambos bloques de carga estén limpios y sin residuos. El bloque de carga inferior se colocó sobre a plataforma de la máquina de ensayo junto con el espécimen. Luego, se colocó el segundo en forma de tapa y se empuja hasta que calce y coincida verticalmente con el eje de ambas plataformas. El bloque con rótula se rotó antes de proceder con el ensayo. Habiendo verificado que los dígitos de la pantalla estén en cero, se procede al ensayo.

Velocidad de Carga: Se aplicó una carga continua y sin golpes a una velocidad constante, comprendida en el rango de 0.25 ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 psi/s).

Aplicación de la carga: Se aplicó hasta que el indicador de la pantalla se estabilice o cuando el cilindro fallaba emitiendo el sonido de rotura. Al no refrentar los testigos se corre el riesgo de que se produzca una fractura en las esquinas antes de alcanzar la carga última.

Finalmente, se registró la carga máxima soportada por el cilindro y se anotó el patrón de falla de acuerdo a la siguiente clasificación:

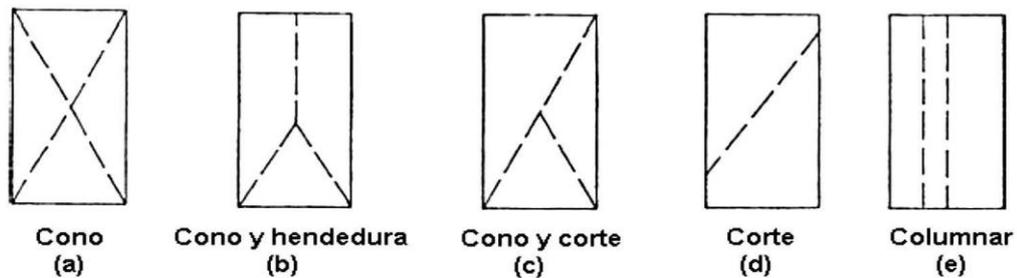


Figura 8
Tipos de falla en rotura de cilindros de concreto

Nota: Adaptado del Manual de Ensayo de Materiales, MTC, 2016 (p.796).

La precisión de los resultados se manejó de acuerdo a las siguientes especificaciones para cilindros de 15 cm por 30 cm y con valores de resistencias entre 15 MPa y 55 MPa.

Tabla 39
Variación en la precisión de resultados

Un solo operador	Coeficiente variación	Rango aceptado	
		2 resultados	3 resultados
Condiciones en laboratorio	2.37%	6.60%	7.80%
Condiciones de campo	2.87%	8%	9.50%

Nota: Adaptado del MEM, MTC.

3.6.11. PARÁMETROS DE ABSORCIÓN DEL CONCRETO

El ensayo de absorción se elaboró bajo las especificaciones de la norma NTP 339.232 y la IRAM 1781. Método de ensayo para determinar la velocidad de absorción de agua en concretos de cemento Portland. Está determinado por la succión capilar, la cual es una herramienta muy importante para evaluar la calidad del concreto en lo que concierne a su durabilidad. Al tener mayor capacidad de absorción, significaría que el concreto será vulnerable ante el ingreso interior de agentes que dañan al concreto. Ahí radica lo importante de comprobar la estructura porosa de una muestra. Con la realización de este procedimiento se han obtenido 2 indicadores: la velocidad de succión capilar y la capacidad de succión capilar. La primera, mide la rapidez con la que el fluido ingresa a la superficie capilar (porosa) del concreto y la segunda, calcula la cantidad de agua necesaria para que el concreto se sature.

Equipos y materiales

- *Recipiente*: de superficie plana en la base, con tapa hermética y que se puedan apoyar las probetas. Este producto de plástico o metal garantizó el contacto mínimo del agua con el concreto.
- *Bolsas y películas de polietileno*; para cubrir las muestras de la intemperie y/o humedad.
- *Balanza*: con una precisión de 0.1 gramo.
- *Horno*: capaz de controlar una temperatura promedio de $50\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.
- *Pintura impermeabilizante*: para el sellado de la superficie del perímetro circular exterior.

Muestras

Se elaboraron 8 muestras, correspondientes a cada caso en evaluación del concreto. Es decir, para la muestra patrón y las 3 adiciones en distintos porcentajes para cada resistencia elegida.

Las dimensiones de las probetas se obtuvieron mediante cortes transversales con la finalidad de obtener especímenes cilíndricos de 50 ± 2 mm y 100 ± 2 mm de diámetro. Estas medidas se deben a que el agregado grueso utilizado pasó por el tamiz IRAM 26.5 mm. Caso contrario se utilizarían muestras con diámetro de 150 mm cuando la totalidad del agregado pase por el tamiz IRAM 37.5 mm.

Procedimiento

Las probetas elaboradas fueron de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura, luego se aserraron. El primer corte se hizo preferentemente a los 30 mm del extremo inferior de la probeta como indica la **Figura 9**.

De esta manera se aseguró que el fondo no presente el efecto de obturación de los poros debido al engrasado del molde.

Se obtuvo las dimensiones de las muestras cortadas como el diámetro y el área de la sección transversal. Luego, se procedió a impermeabilizar los bordes laterales con la pintura a dos manos. Tras el secado de la pintura, las muestras se introdujeron en un depósito con agua que las cubría completamente durante 72 horas y posteriormente ser sometidas al secado en horno a una temperatura promedio de 50 ± 2 °C hasta obtener un peso constante y con una variación no mayor de 0.1%. Se pesó a las siguientes 24 horas, y luego a las 48 horas, si en caso excedía la variación máxima, se dejaba un día más.

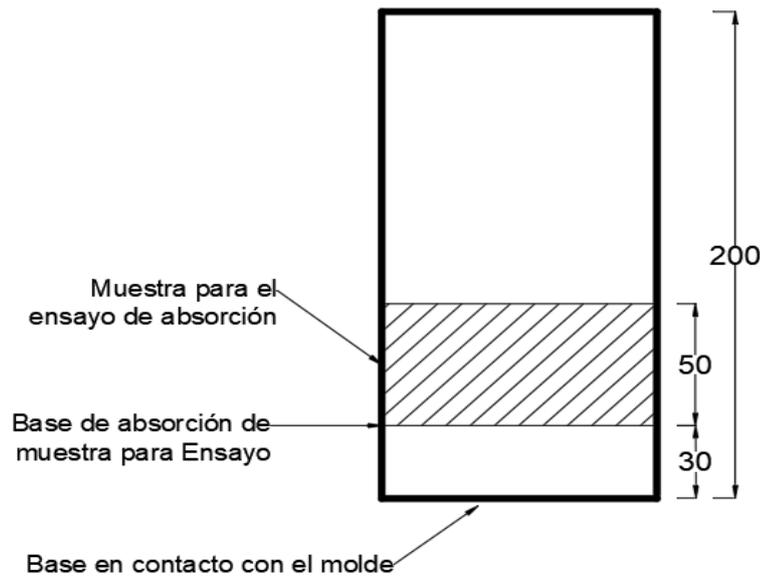


Figura 9

Consideraciones para el corte de muestras para el Ensayo de Absorción (mm).

Nota: La figura muestra el corte correcto de la muestra obtenida para el ensayo de absorción con medidas expresadas en mm. Elaboración propia.

Se retiran las muestras del horno y se dejan enfriar hasta que sean aptas para el tacto. Se determina su peso seco y se cubre con bolsas de polietileno durante 24 horas. Al término de este tiempo fueron introducidas en un depósito con agua hasta una altura de 3 ± 1 mm contando desde la base de absorción del testigo. La temperatura bordeaba los 20 ± 2 °C. Inmediatamente inicia el tiempo 0 ($t=0$) del ensayo. Se recomienda mantener cerrado el recipiente para evitar los efectos por evaporación.

Las lecturas y mediciones de las masas se realizaron a los tiempos de: 30 min, 1 hora, 2, 3, 4, 5, 6, 24 y 48 horas. Si en caso la variación entre las dos últimas pesadas varía en más del 0.1% se debe dejar un día más, realizando mediciones a cada 24 horas.

$$Cit(\text{gr} / \text{mm}^2) = \frac{M_{hit} - M_{si}}{A_i}$$

Cit = Incremento de la masa por unidad de área de la sección (i) en el instante de lectura (t), al ser dividido por la densidad del agua se obtiene solamente en mm.

M_{hit} = Masa húmeda de la muestra (i) en cada instante (t) de lectura.

M_{si} = Masa seca de la probeta (i)

A_i = Área de la sección transversal de la probeta (i) en mm^2 .

Por último, los parámetros mencionados como resultado del ensayo se obtienen de la siguiente manera:

Para la capacidad de succión del concreto (C) en gr/mm^2 se promedió la capacidad de succión capilar de cada probeta de la serie de ensayo C_i .

Para la velocidad de succión capilar del concreto (S) es la pendiente de la recta que se logra con un ajuste de mínimos cuadrados de la serie de puntos, expresado en $gr/mm^2 * S^{1/2}$.

Para la norma NTP 339.232 la absorción I, es el cambio de masa dividido entre el producto del área de la sección transversal del espécimen del ensayo y la densidad del agua ($0.001gr/mm^3$).

$$I = Mt/(axd)$$

Donde;

Mt = cambio de masa del espécimen en gramos, en el tiempo t.

d = área expuesta mm^2 , y

d = densidad del agua en gr/mm^3 .

Velocidad Inicial de Absorción

La velocidad inicial de absorción de agua en ($mm/s^{1/2}$) es la pendiente de la línea que se ajusta con el método de mínimos cuadrados (análisis de regresión lineal) entre la absorción y la raíz cuadrada del tiempo. Se usan los puntos comprendidos únicamente entre 1 min y 6 horas.

Velocidad Secundaria de Absorción

Se define como la pendiente de la línea que es el mejor ajuste para plotear I contra la raíz cuadrada del tiempo expresado en $\text{mm/s}^{1/2}$. Se consideran los puntos comprendidos entre 1d y 7 d o más.

3.6.12. DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL CONCRETO ENDURECIDO NTP 339.187

Se han utilizado las pautas determinadas en la norma NTP 339.187 Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos del concreto endurecido. Dentro de los parámetros imprescindibles para evaluar la calidad del concreto se encuentran estos 3 abordados en el presente ensayo. Si un concreto presenta un porcentaje alto de absorción, provocaría una debilidad ante agentes extraños cuando esté expuesto en obra. Del mismo modo, la cantidad de vacíos influye en la densidad del concreto y, por ende, está ligado a otras propiedades como la resistencia a la compresión.

EQUIPOS Y MATERIALES

- **Balanza:** con una aproximación del 0.025% del peso del espécimen.
- **Contenedor:** lo suficientemente apropiado para sumergir las muestras y una canastilla para sumergirlo en el agua.
- **Depósito para hervir:** se utilizó una olla de capacidad adecuada para las muestras.
- **Horno:** con una variación de temperatura en 100 a 110 °C.

MUESTRAS

La muestra consistió en 3 porciones de concreto aserrado de una probeta de dimensiones 100 mm de diámetro por 200 mm de altura. Para cada tipo de concreto y cada resistencia se ensayó por separado.

La porción obtenida fue una pieza cilíndrica de 100 mm \pm 3mm y 140 mm \pm 3mm de altura. Siempre se tuvo cuidado obtener muestras con volumen no menor de 350 cm³ y/o mayor de 800 gramos para concretos normales. No presentaron fisuras, grietas o bordes astillados.

PROCEDIMIENTO

Determinación del peso seco A

Se pesó las muestras al inicio y luego fueron colocadas en el horno para su secado a temperaturas de 100 a 110 °C por un tiempo no menor de 24 horas. Se retiró los especímenes y se dejó enfriar al aire hasta que sea apto para el tacto del operador a una temperatura de 20 a 25°C y se anotó el peso. Comparando ambos pesos, debían estar con valores muy cercanos (menor del 0.5% respecto al peso más pequeño), para el caso opuesto se dejaba secando por otras 24 horas, hasta conseguir la mínima variación entre los 2 últimos pesos. Al peso seco obtenido se denotó como “A”.

Determinación del peso saturado después de la inmersión B

Tras la realización del paso anterior. Se introdujeron las muestras en agua a una temperatura aproximada de 20°C. Se determinó su peso luego de por lo menos 48 horas y hasta que dos pesadas consecutivas con superficie seca a intervalos de 24 horas, muestre un incremento no mayor del 0.5% del mayor valor.

La humedad o películas de agua visible se removió con paños y se determinó el peso como “B”.

Determinación del peso saturado después del hervido C

Se colocaron las muestras en un recipiente adecuado quedando totalmente cubiertas con agua. Se utilizó preferentemente agua potable y limpia. Se hizo hervir por lo menos durante 5 horas. Posteriormente se deja enfriar por pérdida natural de calor bordeando las 14 horas mínimamente a una temperatura de alrededor de 20°C.

Finalmente se remueve la humedad de la superficie con ayuda de un paño y se obtuvo el peso saturado hervido superficialmente seco anotándose como “C”.

Determinación del peso aparente sumergido

Al cabo de finalizar los ensayos de inmersión y hervido, se suspendió uno por uno los especímenes en la canastilla apropiada en determinar el peso sumergido en agua. A este dato se nombró como “D”.

FÓRMULAS UTILIZADAS

Absorción después de la inmersión (g) → %Ai = [(B-A) / A]x100

Absorción después de la inmersión y hervido (g) → %Ah = [(C-A)/A]x100

Densidad seca (Mg/m³) → Ds = [A/(C-D)]ρ

Densidad después de la inmersión → Di = [B/(C-D)]ρ

Densidad después de la inmersión y hervido → Dih = [C/(C-D)]ρ

Densidad aparente (Mg/m³) → Da = [A/(A-D)]ρ

Volumen de poros permeables (vacíos) → % V = (Da-Ds)/Da ó (C-A)/(C-D)x100

Donde ρ es la densidad del agua (1gr/cm³ o 1 Mg/m³)

CAPÍTULO IV:

**RESULTADOS Y
DISCUSIONES**

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

Agregado Fino

Tabla 40

Propiedades Físicas del Agregado Fino

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	
Peso Específico	2.58	gr/cm ³
Absorción	2.5	%
Contenido de Humedad	1.63	%
Módulo de Fineza	2.93	
Peso Unitario Suelto	1540	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1671	Kg/m ³

Nota: Elaboración propia.

Agregado Grueso

Tabla 41

Propiedades Físicas del Agregado Grueso

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	
Tamaño Máximo Nominal	3/4"	pulg
Peso Específico	2.61	gr/cm ³
Absorción	1.11	%
Contenido de Humedad	0.59	%
Módulo de Fineza	6.79	
Peso Unitario Suelto	1570	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1690	Kg/m ³

Nota: Elaboración propia.

4.2. ANÁLISIS DE LA CENIZA DE CARBÓN MINERAL DE COCINA

Composición Química

Tabla 42

Composición Química de la Ceniza Expresado en Óxidos

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS, %	MÉTODO UTILIZADO
Óxido de aluminio,	51.722	
Óxido de silicio,	36.448	
Óxido de potasio,	4.326	
Óxido de hierro,	4.2987	
Óxido de titanio,	1.456	
Óxido de calcio, CaO	1.171	
Óxido de fósforo,	0.354	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (*)
Óxido de azufre, SO ₃	0.127	
Óxido de vanadio,	0.055	
Óxido de zinc, ZnO	0.045	
Óxido de cobre, CuO	0.008	

Nota: Ensayo realizado en el laboratorio "LABICER UNI", febrero del 2022.

* Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X.

Tamizado por vía húmeda (Fineza)

Tabla 43

Finura de la Ceniza expresado como el porcentaje retenido en el tamiz N° 325

Factor de corrección calculado (C) =	-11.64 %
Residuo de la muestra de ensayo	0.35270 g
Residuo corregido, Rc =	31.16 %
Cantidad corregida que pasa por F = 100 - Rc =	68.84 %
% retenido en el tamiz N° 325	31.16 %

Nota: Elaboración propia.

4.3. DISEÑO DE MEZCLA

4.3.1. DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN

Se ha utilizado el método de diseño de mezcla del Módulo de Fineza de la combinación de agregados. Al realizar los ensayos de prueba se verificó la trabajabilidad del concreto, en caso no sea el seleccionado en el diseño, se corrige la dosificación. Para el concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ se corrigió el asentamiento (slump) obtenido, pasando de 1 pulg a ser superior de 3 pulgadas y para el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ se obtuvo un slump superior a 3 pulgadas y no requirió un reajuste. Como resultado se muestra en la siguiente tabla de dosificación para los concretos Patrón, es decir, sin adición de ceniza de carbón mineral de cocina:

Tabla 44

Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Descripción	Pesos secos (kg/m ³)	Corrección por humedad (kg/m ³)	Proporción en peso inicial	Corrección por Slump (kg/m ³)	Proporción en peso Final	Tanda por 6 Probetas (Kg)*
Cemento	367.12	367.12	1.00	383.57	1.00	15.34
Agregado fino	708.77	720.32	1.96	696.84	1.82	27.87
Agregado Gruoso	982.03	987.83	2.69	987.99	2.58	39.52
Agua	205 Lt	216.3 Lt	0.589	225.87	0.589	9.03
Aire	2%		25.04 Lt/bls		25.0 Lt/bls	
Total	2262.92	2291.54		2294.27		91.77

Nota: En la tanda está considerado el 10% de mezcla sobrante garantizada como exige el MEM-MTC (2016) por tanda para ensayos de laboratorio.

Elaboración propia.

Tabla 45
Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Descripción	Pesos secos (kg/m ³)	Corrección por humedad (kg/m ³)	Proporción en peso final	Tanda por 6 Probetas (Kg)*
Cemento	326.43	326.43	1.00	12.770
Agregado fino	756.34	768.67	2.35	30.070
Agregado Grueso	969.78	975.50	2.99	38.161
Agua	205 Lt	216.62	0.66	8.474
Aire	2%		28.20 Lt/bls	
Total	2257.55	2287.23		89.474

Nota: Para este caso no se corrigió por slump. Elaboración propia.

4.3.2. DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN + 5% DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL DE COCINA

Se han elaborado de acuerdo al método de diseño del Módulo de fineza de la combinación de agregados. La dosificación obtenida para los concretos Patrón ha sido afectada por un porcentaje del 5% de cenizas de carbón mineral de cocina respecto del peso del cemento, tal como se evidencia a continuación:

Tabla 46
Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 5\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina

Descripción	Pesos secos (kg/m ³)	Corrección por humedad (kg/m ³)	Proporción en peso inicial	Corrección por Slump (kg/m ³)	Proporción en peso Final	Tanda por 6 Probetas (Kg)
Cemento	367.12	367.12	1.00	383.57	1.00	15.34
Agregado fino	708.77	720.32	1.96	696.84	1.82	27.87
Agregado Grueso	982.03	987.83	2.69	987.99	2.58	39.52
Agua	205.00	216.27	0.589	225.87	0.589	9.03
Aire	2%		25.04 Lt/bls		25.0 Lt/bls	
CCMC* 5% del Cemento (kg)		18.356		19.18		0.77
Total	2262.92	2309.89		2313.45		92.54

Nota: Cenizas de carbón mineral de cocina (CCMC). Elaboración propia.

Tabla 47

Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 5\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina

Descripción	Pesos secos (kg/m ³)	Corrección por humedad (kg/m ³)	Proporción en peso final	Tanda por 6 Probetas (Kg)*
Cemento	326.43	326.43	1.00	12.770
Agregado fino	756.34	768.67	2.35	30.070
Agregado Grueso	969.78	975.50	2.99	38.161
Agua	205 Lt	216.62	0.66	8.474
Aire	2%		28.20 Lt/bls	
CCMC* 5% del Cemento (kg)		16.322		0.638
Total	2257.55	2303.55		90.113

Nota: Elaboración propia.

4.3.3. DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN + 10% DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL DE COCINA

Se han elaborado de acuerdo al método de diseño del Módulo de fineza de la combinación de agregados. La dosificación obtenida para los concretos Patrón ha sido afectada por un porcentaje del 10% de cenizas de carbón mineral de cocina respecto del peso del cemento, tal como se evidencia a continuación:

Tabla 48

Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 10\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina

Descripción	Pesos secos (kg/m ³)	Corrección por humedad (kg/m ³)	Proporción en peso inicial	Corrección por Slump (kg/m ³)	Proporción en peso Final	Tanda por 6 Probetas (Kg)*
Cemento	367.12	367.12	1.00	383.57	1.00	15.34
Agregado fino	708.77	720.32	1.96	696.84	1.82	27.87
Agregado Grueso	982.03	987.83	2.69	987.99	2.58	39.52
Agua	205.00	216.27	0.589	225.87	0.589	9.03
Aire	2%		25.04 Lt/bls		25.0 Lt/bls	
CCMC* 10% del Cemento (kg)		36.712		38.36		1.53
Total	2262.92	2328.25		2332.63		93.31

Nota: Elaboración propia.

Tabla 49

Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 10\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina

Descripción	Pesos secos (kg/m ³)	Corrección por humedad (kg/m ³)	Proporción en peso final	Tanda por 6 Probetas (Kg)*
Cemento	326.43	326.43	1.00	12.770
Agregado fino	756.34	768.67	2.35	30.070
Agregado Grueso	969.78	975.50	2.99	38.161
Agua	205 Lt	216.62	0.66	8.474
Aire	2%		28.20 Lt/bls	
CCMC* 10% del Cemento (kg)		32.643		1.277
Total	2257.55	2319.87		90.751

Nota: Elaboración propia.

4.3.4. DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN + 15% DE CENIZA DE CARBÓN

MINERAL DE COCINA

Tabla 50

Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 15\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina

Descripción	Pesos secos (kg/m ³)	Corrección por humedad (kg/m ³)	Proporción en peso inicial	Corrección por Slump (kg/m ³)	Proporción en peso Final	Tanda por 6 Probetas (Kg)*
Cemento	367.12	367.12	1.00	383.57	1.00	15.34
Agregado fino	708.77	720.32	1.96	696.84	1.82	27.87
Agregado Grueso	982.03	987.83	2.69	987.99	2.58	39.52
Agua	205.00	216.27	0.589	225.87	0.589	9.03
Aire	2%		25.04 Lt/bls		25.0 Lt/bls	
CCMC* 15% del Cemento (kg)		55.068		57.54		2.30
Total	2262.92	2346.61		2351.81		94.07

Nota: Elaboración propia.

Tabla 51

Dosificación del Concreto Patrón $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 15\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina

Descripción	Pesos secos (kg/m ³)	Corrección por humedad (kg/m ³)	Proporción en peso final	Tanda por 6 Probetas (Kg)*
Cemento	326.43	326.43	1.00	12.770
Agregado fino	756.34	768.67	2.35	30.070
Agregado Grueso	969.78	975.50	2.99	38.161
Agua	205 Lt	216.62	0.66	8.474
Aire	2%		28.20 Lt/bls	
CCMC* 15% del Cemento (kg)		48.965		1.915
Total	2257.55	2336.19		91.390

Nota: Elaboración propia.

Se elaboraron de acuerdo al método de diseño del Módulo de fineza de la combinación de agregados. La dosificación obtenida para los concretos Patrón ha sido afectada por un porcentaje del 15% de cenizas de carbón mineral de cocina respecto del peso del cemento, tal como se evidencia en las **Tablas 50 y 51**.

4.3.5. DISEÑO DE MEZCLA CON EL % ÓPTIMO DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL DE COCINA

Una vez conocidos los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de todos los concretos con distintos porcentajes de adición, se determinó el porcentaje óptimo de ceniza para cada resistencia. Ver ítems **4.6.1.1 y 4.6.2.1**. Las dosificaciones corregidas para un slump con una adecuada trabajabilidad de la mezcla son:

Tabla 52

Dosificación del Concreto Óptimo $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 10\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina

Descripción	Pesos secos (kg/m ³)	Corrección por humedad (kg/m ³)	Proporción en peso inicial	Corrección por Slump (kg/m ³)	Proporción en peso Final	Tanda por 30 Probetas (Kg)*
Cemento	367.12	367.12	1.00	394.29	1.00	70.972
Agregado fino	708.77	720.32	1.96	710.31	1.80	127.856
Agregado Grueso	982.03	987.83	2.69	987.99	2.51	177.839
Agua	205.00	216.27	0.589	231.99	0.59	41.758
Aire	2%		25.04 Lt/bls		25.04 Lt/bls	
CCMC* 10% del Cemento (kg)		36.71		39.43		7.10
Total	2262.92	2328.25		2364.02		425.523

Nota: Elaboración propia.

Tabla 53

Dosificación del Concreto Óptimo $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 11\%$ de Ceniza de Carbón Mineral de Cocina

Descripción	Pesos secos (kg/m ³)	Corrección por humedad (kg/m ³)	Proporción en peso inicial	Corrección por Slump (kg/m ³)	Proporción en peso Final	Tanda por 30 Probetas (Kg)*
Cemento	326.43	326.43	1.00	335.52	1.00	60.394
Agregado fino	756.34	768.67	2.35	785.05	2.34	141.309
Agregado Grueso	969.78	975.50	2.99	971.71	2.90	174.908
Agua	205.00	216.62	0.66	223.12	0.66	40.162
Aire	2%		28.20 Lt/bls		28.26 Lt/bls	
CCMC* 11% del Cemento (kg)		35.91		36.91		6.64
Total	2257.55	2323.13		2352.31		423.415

Nota: Elaboración propia.

4.4. ENSAYO DE CONSISTENCIA

Para obtener resultados más fidedignos se sacaron dos ensayos de consistencia y poder determinar el slump o asentamiento del concreto para cada tipo de adición de cenizas, incluyendo la muestra patrón de diseño.

Se respetaron los procedimientos descritos en el capítulo anterior, colocando directamente la tanda del concreto al buggy con los tiempos adecuados y se procedió a llenar el molde cónico en 3 capas y su respectivo varillado. Al retirar el molde se midió el asentamiento obtenido de la siguiente manera mostrado en la **Tabla 54**:

Al adicionarle 5% de ceniza de carbón mineral a la tanda de ambas resistencias, disminuye significativamente el slump alcanzando 2.8 pulgadas en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y 2.3 pulgadas en concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$. Con el 10% de adición es más notorio la reducción respecto a la muestra patrón, alcanzando las 2 pulgadas aproximadamente en ambos concretos. Para un 15% de adición el asentamiento se reduce hasta 1.5 pulgadas en promedio en ambas resistencias, siendo inferior para el

concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$. Por tanto, si se requiere trabajar con un asentamiento igual a la muestra patrón se deberá corregir el agua. Así se hizo para los diseños de los porcentajes óptimos en cada resistencia.

Tabla 54

Asentamiento para cada tipo de concreto y su Porcentaje de adición de Ceniza

Resistencia/%adición	ASENTAMIENTO (cm)				
	0 %	5 %	10 %	15 %	%
	CCM	CCM	CCM	CCM	ÓPTIMO
175	7.7	6	4.7	3.5	7.5
	7.5	5.5	4.3	3.2	7.3
Promedio	7.6	5.75	4.5	3.35	7.4
Prom. (pulg)	3.0	2.3	1.8	1.3	2.9
210	7.4	7.2	5.2	4.5	7.8
	7.6	6.9	4.8	4.2	7.6
Promedio	7.5	7.05	5	4.35	7.7
Prom. (pulg)	3.0	2.8	2.0	1.7	3.0

Nota: Elaboración propia.

4.5. ENSAYO DE TEMPERATURA

Teniendo la tanda de concreto preparado sobre el contenedor se inyectó el termómetro de lectura instantánea digital, garantizando que el pistón sumergido tenga un recubrimiento mínimo de 3 pulgadas en todas las direcciones.

Para una mayor precisión se tomaron 2 lecturas de la temperatura.

El comportamiento de la temperatura en estas muestras es:

Para las adiciones del 5% y 10% de cenizas de carbón mineral de cocina se incrementan alcanzando un valor máximo de $22.47 \text{ }^\circ\text{C}$ en concretos de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $22.07 \text{ }^\circ\text{C}$ en concretos de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$. Sin embargo, para un porcentaje del 15%, en ambas resistencias del concreto, la temperatura desciende por debajo del

valor obtenido en el concreto patrón para la menor resistencia en estudio y ligeramente superior para la segunda resistencia.

Tabla 55

Temperatura del Concreto (°C) para cada adición de ceniza y tipo de concreto

Resistencia/%adición	TEMPERATURA (°C)				
	0 %	5 %	10 %	15 %	%
	CCM	CCM	CCM	CCM	ÓPTIMO
175 kg/cm ²	21.82	22.02	22.22	21.52	22.32
	21.72	21.82	21.92	21.92	22.22
Promedio	21.77	21.92	22.07	21.72	22.27
210 kg/cm ²	21.8	22.22	22.42	22.02	22.52
	22	22.32	22.52	21.92	22.52
Promedio	21.9	22.27	22.47	21.97	22.52

Nota: Elaboración propia.

Se evidencia que las cenizas de carbón mineral de cocina incrementan el calor de hidratación del concreto, debido a la presencia de sílice y aluminio en su composición. Del mismo modo, de acuerdo a la norma NTP 334.104 exige que el porcentaje máximo retenido para clasificarse como una ceniza volante de clase F es del 34%. Entonces, se ratifica la actividad puzolánica de las cenizas como se obtuvo en el ensayo de finura que el 31.16% queda retenido en la malla N° 325 (45 micras) (68.84% pasa). Ver **Anexo 06**.

En la siguiente figura se aprecia que la mayor temperatura alcanzada del concreto en estado fresco corresponde al adicionado con 10% de CCM en ambas resistencias f'c. La temperatura mínima alcanzada en el concreto f'c = 210 kg/cm² fue para la muestra patrón, ligeramente por debajo del concreto adicionado con el 15% de CCM y para un f'c = 175 kg/cm² se evidencia una menor temperatura en el concreto adicionado con el 15% de CCM.

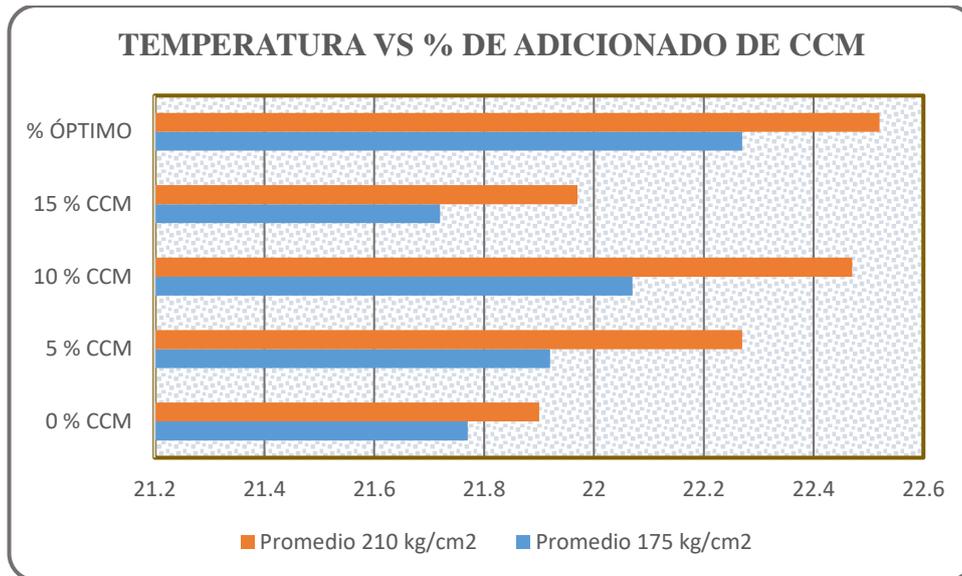


Figura 10

Temperatura del concreto fresco para diferentes % de adición de CCM en ambas resistencias $f'c$

Nota: Elaboración propia.

4.6. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Estas pruebas se han realizado para ambos tipos de concreto y en distintos porcentajes de ceniza añadida. El método de diseño de mezclas ejecutado fue el Módulo de Fineza de la combinación de agregados. Las edades de los ensayos para cada espécimen fueron a los 7 y 28 días en las dos resistencias respectivas.

4.6.1. RESULTADOS PARA CONCRETOS $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 56

Resistencias a la compresión a los 7 días con el 0%, 5%, 10% y 15% de ceniza de carbón mineral de cocina en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$				
N° Probetas	% Adición de Ceniza de CMC (Kg/cm^2) / Edad			
	0% CCM	5% CCM	10% CCM	15% CCM
7 días				
1	132.74	130.45	133.38	128.04
2	122.29	127.94	136.70	131.96
Promedio	127.51	129.19	135.04	130.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 57

Resistencias a la compresión a los 28 días con el 0%, 5%, 10% y 15% de ceniza de carbón mineral de cocina en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$				
N° Probetas	% Adición de Ceniza de CMC (Kg/cm^2) / Edad			
	0% CCM	5% CCM	10% CCM	15% CCM
	28 días			
1	185.56	197.53	205.54	204.66
2	172.06	191.07	219.73	215.82
Promedio	178.81	194.30	212.64	210.24

Nota: Elaboración propia.

Comparación de resistencias promedio por edad del concreto.

Tabla 58

Resistencia Promedio con diferentes porcentajes de ceniza de carbón mineral de cocina a los 7 días y porcentaje alcanzado en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Ceniza añadida	Resistencia	% Resistencia
	Promedio	alcanzada
0% CCM	174.12	0
5% CCM	178.38	101.3%
10% CCM	188.45	105.9%
15% CCM	191.14	102.0%

Nota: La tabla muestra los porcentajes obtenidos por las adiciones de ceniza de carbón mineral de cocina respecto al valor alcanzado por la muestra patrón (0%CCM). Elaboración propia.

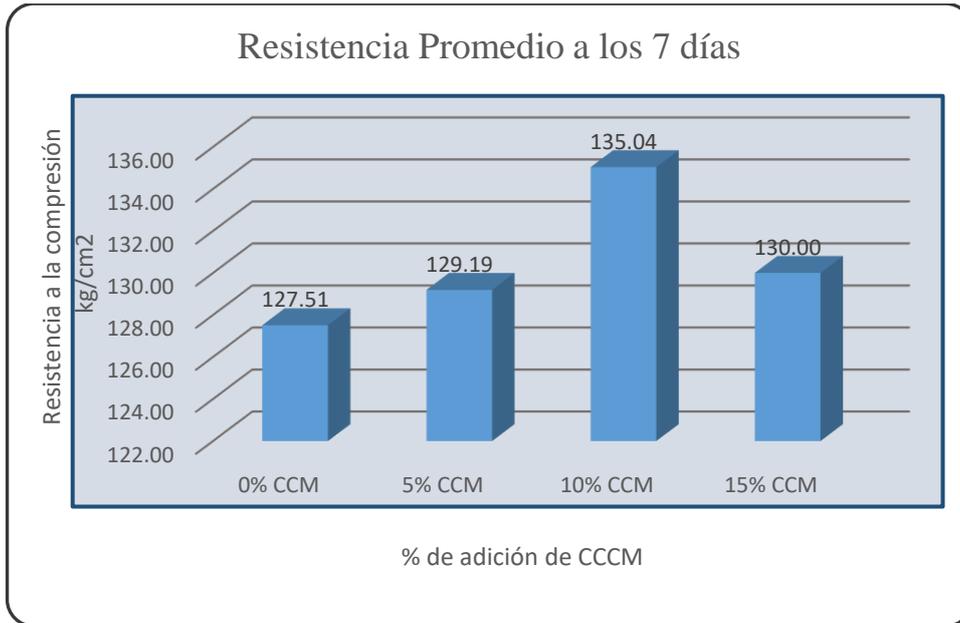


Figura 11

Porcentaje de ceniza de carbón mineral vs Resistencia Promedio a los 7 días en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

En la **Figura 11** se aprecia que a la edad de siete días el concreto adicionando con 5% de ceniza alcanzó un valor de 129.19 kg/cm^2 representando el 1.3% de incremento respecto a la muestra patrón, con 10% de ceniza se obtuvo 135.04 kg/cm^2 equivalente al 5.9% de aumento, siendo el mayor valor, y para un 15% de ceniza adicionada se logró 130 kg/cm^2 igual al 2% mayor que la muestra sin adición.

Tabla 59

Resistencia Promedio con diferentes porcentajes de ceniza de carbón mineral de cocina a los 28 días y porcentaje alcanzado en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Ceniza añadida	Resistencia Promedio	% Resistencia alcanzada
0% CCM	178.81	0
5% CCM	194.30	108.7%
10% CCM	212.64	118.9%
15% CCM	210.24	117.6%

Nota: Elaboración propia.

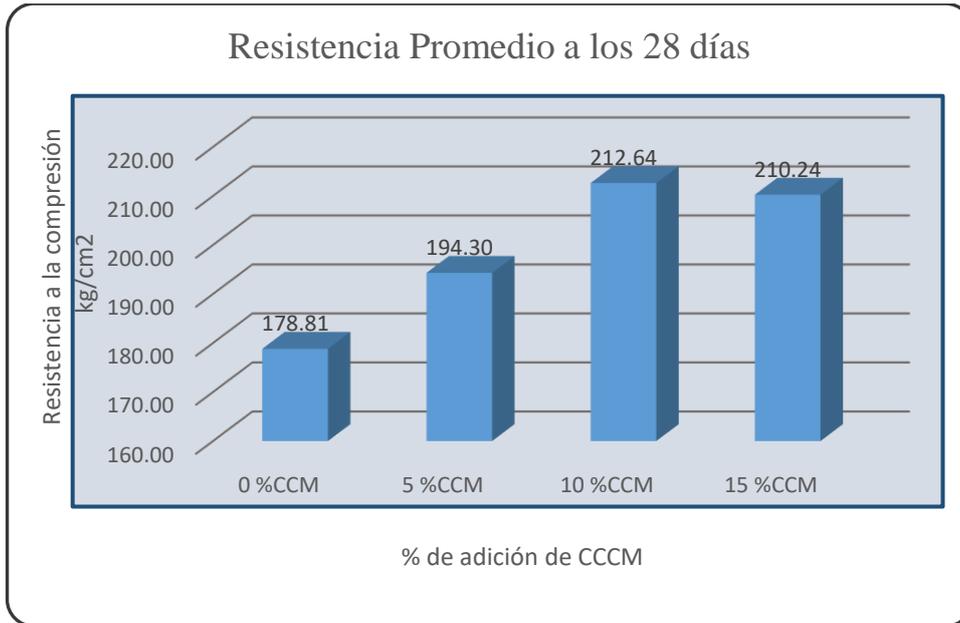


Figura 12

Porcentaje de ceniza de carbón mineral vs Resistencia Promedio a los 28 días en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

Se evidencia que a la edad de 28 días el concreto adicionando con 5% de ceniza alcanzó un valor de 194.30 kg/cm² representando el 8.7% de incremento respecto a la muestra patrón, con 10% de ceniza añadida se obtuvo 212.64 kg/cm² equivalente al 18.9% de aumento, siendo el mayor valor, y para un 15% de ceniza adicionada se logró 210.24 kg/cm² igual al 17.6% mayor que la muestra sin adición.

Con estos resultados, se demuestra que al adicionar ceniza de carbón mineral de cocina en los porcentajes del 5%, 10% y 15%, a la edad de 28 días suben considerablemente las resistencias a la compresión, respecto a la muestra patrón. Por lo tanto, contribuye a la mejora de la resistencia a la compresión, incluso a edades tempranas de 7 días para el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$. El porcentaje que tiene un mejor comportamiento alcanzando la mayor resistencia para este tipo de concreto es el 10% de adición.

4.6.1.1. PORCENTAJE ÓPTIMO DE ADICIÓN DE CENIZA PARA CONCRETOS

$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Haciendo uso de los datos de la **Tabla 58**, se elabora la siguiente figura.

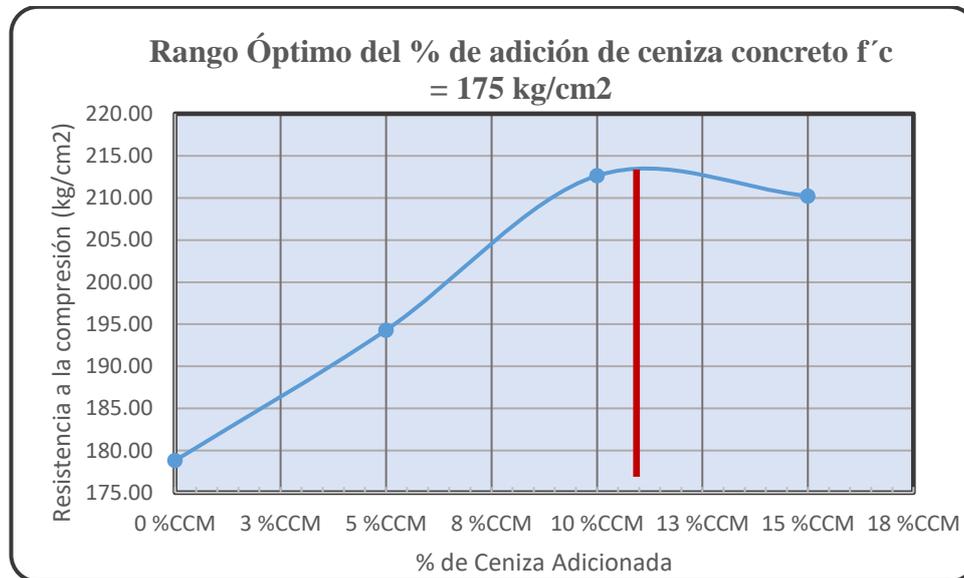


Figura 13

Rango Óptimo del % de Adición de Ceniza en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

De la figura se puede discernir que el rango óptimo de adición de cenizas de carbón mineral para un concreto con $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ es del 11%. Esto garantiza lograr la máxima resistencia a la compresión como consecuencia de añadir la cantidad más satisfactoria de ceniza optimizando la mayor resistencia. Este porcentaje fue evaluado en el análisis estadístico presentado en los posteriores apartados.

4.6.2. RESULTADOS PARA CONCRETOS $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 60

Resistencias a la compresión a los 7 días con el 0%, 5%, 10% y 15% de ceniza de carbón mineral de cocina en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$				
N° Probetas	% Adición de Ceniza de CMC (Kg/cm ²) / Edad			
	0% CCM	5% CCM	10% CCM	15% CCM
	7 días			
1	174.99	179.68	182.47	190.05
2	173.24	177.07	194.44	192.23
Promedio	174.12	178.38	188.45	191.14

Nota: Elaboración propia.

Tabla 61

Resistencias a la compresión a los 28 días con el 0%, 5%, 10% y 15% de ceniza de carbón mineral de cocina en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$				
N° Probetas	% Adición de Ceniza de CCM (Kg/cm^2) / Edad			
	0% CCM	5% CCM	10% CCM	15% CCM
	28 días			
1	230.55	264.33	280.29	263.36
2	238.65	258.20	272.57	262.64
Promedio	234.60	261.26	276.43	263.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 62

Resistencia Promedio con diferentes porcentajes de ceniza de carbón mineral de cocina a los 7 días y porcentaje alcanzado en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Ceniza añadida	Resistencia	% Resistencia
	Promedio	alcanzada
0% CCM	174.12	0
5% CCM	178.38	102.4%
10% CCM	188.45	108.2%
15% CCM	191.14	109.8%

Nota: La tabla muestra los porcentajes obtenidos por las adiciones de ceniza de carbón mineral de cocina respecto al valor alcanzado por la muestra patrón (0%CCM).

Elaboración propia.

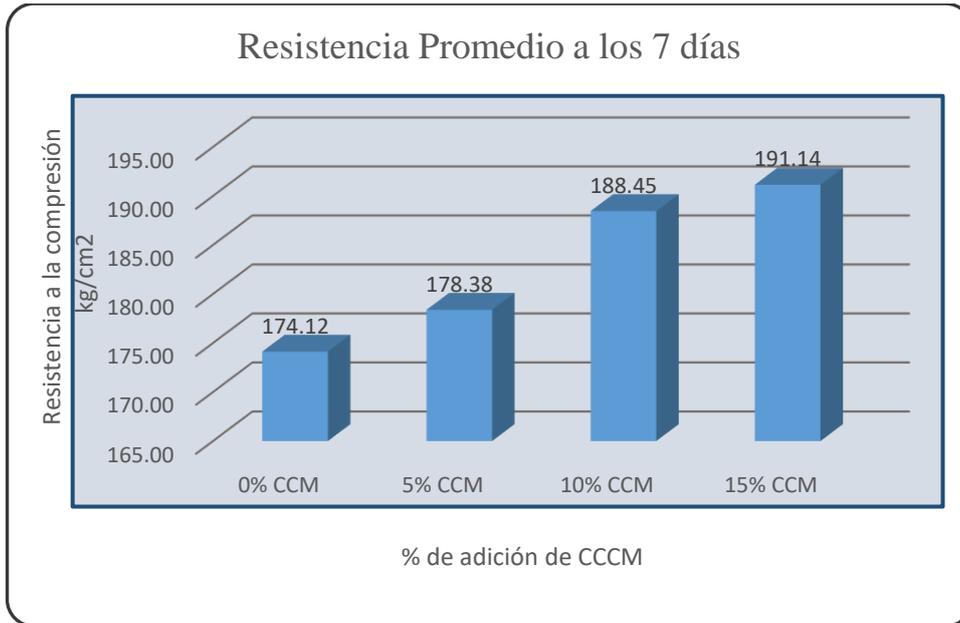


Figura 14

Porcentaje de ceniza de carbón mineral vs Resistencia Promedio a los 7 días en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

Se observa en la **Figura 14** que a la edad de siete días el concreto adicionando con 5% de ceniza alcanzó un valor de 178.38 kg/cm^2 representando el 2.4% de incremento respecto a la muestra patrón para esa edad, con 10% de ceniza se obtuvo 188.45 kg/cm^2 equivalente al 8.2% de aumento, y para un 15% de ceniza adicionada se logró 191 kg/cm^2 igual al 9.8% mayor que la muestra sin adición, siendo el mayor valor de los 3.

Tabla 63

Resistencia Promedio con diferentes porcentajes de ceniza de carbón mineral de cocina a los 28 días y porcentaje alcanzado en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Ceniza añadida	Resistencia Promedio	% Resistencia alcanzada
0% CCM	234.60	0
5% CCM	261.26	111.4%
10% CCM	276.43	117.8%
15% CCM	263.00	112.1%

Nota: Elaboración propia.

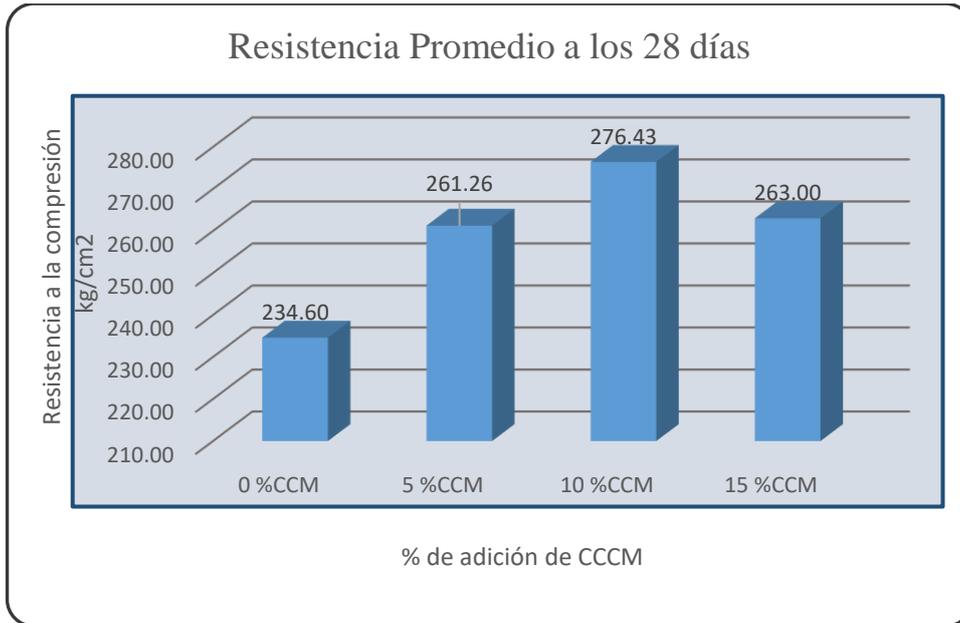


Figura 15

Porcentaje de ceniza de carbón mineral vs Resistencia Promedio a los 28 días en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

De la **Figura 15** se interpreta que para la edad de 28 días el concreto adicionando con 5% de ceniza alcanzó un valor de 261.26 kg/cm^2 representando el 11.4% de incremento respecto a la muestra patrón, con 10% de ceniza añadida se obtuvo 276.43 kg/cm^2 equivalente al 17.8% de aumento, siendo el mayor valor, y para un 15% de ceniza adicionada se logró 263.0 kg/cm^2 igual al 12.1% mayor que la muestra sin adición.

Con estos resultados, se comprueba que al adicionar ceniza de carbón mineral de cocina en los porcentajes del 5%, 10% y 15%, a la edad de 28 días ascienden considerablemente las resistencias a la compresión, respecto a la muestra patrón. Por lo tanto, contribuye a la mejora de la resistencia a la compresión, incluso a edades tempranas de 7 días para el concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. El porcentaje que tiene un mejor comportamiento alcanzando la mayor resistencia para este tipo de concreto es el 10% de adición.

4.6.2.1. PORCENTAJE ÓPTIMO DE ADICIÓN DE CENIZA PARA CONCRETOS

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

Haciendo uso de los datos de la **Tabla 62**, se elabora la siguiente figura.

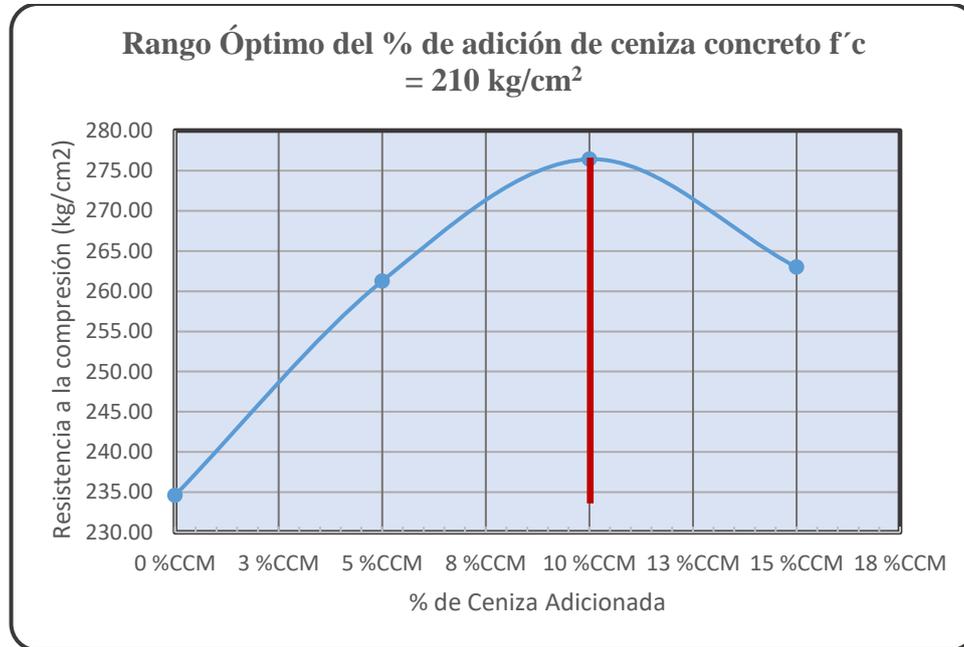


Figura 16

Rango Óptimo del % de Adición de Ceniza en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

Mediante el análisis visible de la figura se acredita que el rango óptimo de adición de cenizas de carbón mineral para un concreto con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ es del 10%. Esto garantiza alcanzar la máxima resistencia a la compresión como consecuencia de añadir la cantidad más satisfactoria de ceniza para optimizar la mayor resistencia de rotura por esfuerzos de compresión. Este porcentaje fue evaluado en el análisis estadístico presentado en el siguiente apartado.

4.7. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA PARA AMBOS CONCRETOS ÓPTIMOS

De los resultados del ensayo a la compresión realizados para cada edad y distinto porcentaje de ceniza en cada tipo de concreto, se determinó el óptimo porcentaje de

este aditivo. Quedando el 11% para el concreto con $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y el 10 % para concretos con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Para evaluar estadísticamente un grupo de resultados para un determinado tipo concreto (una resistencia $f'c$ específica) se calculó la desviación estándar y las probabilidades de ocurrencia para cada ensayo obtenido. Un ensayo es considerado a la resistencia promedio a la compresión de la rotura de 2 probetas del mismo tipo de concreto, que hayan tenido las mismas consideraciones y cuidados de elaboración y curado (para este caso a los 28 días) en el laboratorio.

4.7.1. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA PARA EL CONCRETO $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ ÓPTIMO CON 11% DE CCM

Promedio general

Este parámetro se obtuvo realizando la suma aritmética de los resultados de ensayos. Además, cabe enfatizar que un ensayo consiste en el resultado del promedio de dos valores de resistencia a la compresión de testigos consecutivos.

Por otro lado, en la **Tabla 64**, se aprecia el promedio de 3 ensayos consecutivos que servirá para evaluar los dos criterios exigidos por el ACI - 318, así como de los valores para calcular la desviación estándar.

Tabla 64

Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para evaluación estadística del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ optimizado

Nº de Ensayo	Valor Promedio de 2 probetas (Kg/cm2)	Promedio de 3 ensayos	Xi-X	(Xi-X) ²
E - 1	210.8		-2.18	4.74
E - 2	214.4		1.41	1.99
E - 3	211.3	212.2	-1.75	3.05
E - 4	214.0	213.2	0.97	0.95
E - 5	216.9	214.0	3.84	14.77
E - 6	213.2	214.7	0.18	0.03
E - 7	218.2	216.1	5.21	27.17
E - 8	212.0	214.5	-1.02	1.05
E - 9	209.0	213.1	-4.00	15.98
E - 10	213.5	211.5	0.49	0.24
E - 11	219.7	214.1	6.66	44.31
E - 12	205.8	213.0	-7.21	51.94
E - 13	216.7	214.1	3.67	13.47
E - 14	211.5	211.3	-1.48	2.19
E - 15	208.2	212.1	-4.80	23.09
Suma	3195.3			204.98

Nota: Elaboración propia.

La resistencia promedio o media está determinado como el cociente de la suma de los 15 ensayos y la cantidad de estos (n).

$$X = \mu = \frac{\sum \text{Resistencias de ensayos}}{n}$$

$$X = 3195.3 / 15 = 213.02 \text{ kg/cm}^2$$

Desviación Estándar

Este indicador mide la dispersión de los datos o ensayos obtenidos, alrededor del valor medio. Cuando se quiere garantizar la menor frecuencia de resultados en este

tipo de pruebas, la desviación estándar debe ser la mínima posible. Se ha calculado de la siguiente forma:

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

La suma de los valores al cuadrado de la diferencia entre cada ensayo y el promedio, se presenta en la última columna de la **Tabla 64**. Entonces, el valor obtenido es:

$$s = Ds = 3.83 \text{ kg/cm}^2.$$

Tabla 65

Valores de dispersión en el control estadístico del concreto

DISPERSIÓN TOTAL					
CLASE DE OPERACIÓN	Desviación Estándar para diferentes grados de control (kg/cm ²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> a 24.6
DISPERSIÓN ENTRE TESTIGOS					
CLASE DE OPERACIÓN	Coeficiente de Variación para diferentes grados de control (%)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> a 6.0
Concreto en Laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	> a 5.0

Nota: Tópicos de Tecnología del concreto, Pasquel (1999, 2da Ed, p.161)

De acuerdo a esta tabla, y habiendo obtenido un valor de $Ds = 3.83 \text{ kg/cm}^2$, la calificación es de Excelente.

Coeficiente de variación entre testigos

Es otro factor muy importante para evaluar estadísticamente una muestra de concreto y está dad por:

$$V = \frac{D_s}{\mu} \times 100$$

$$V = 1.80 \%$$

De acuerdo a la **Tabla 65**, es un coeficiente de variación excelente.

Criterios del Reglamento ACI – 318 para el cálculo de $f'cR$

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

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

Para obtener el valor de α , se ingresa a la tabla 51 en la fila del número de ensayos de esta evaluación.

Tabla 66

Incremento de valores de desviación estándar cuando se tienen menos de 30 ensayos

Ceniza añadida	Factor de Incremento
Menos de 15	Usar tabla 8.4*
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1

Nota: Tópicos de Tecnología del concreto, Pasquel (1993, p 164). *Tabla que se encuentra en la misma página del libro.

Entonces, se elige un valor de **1.16** porque se contó con 15 ensayos.

$$f'cR = 175 + 1.34 * 1.16 * 3.83 = 180.9 \text{ kg/cm}^2$$

b) Ningún ensayo de resistencia a la compresión (Promedio de dos testigos) debe ser menor de $f'c$ en más de 35 kg/cm^2 .

Se cumple esta condición puesto que ninguno de los 13 ensayos promedio de tres, es menor que $f'c$ en menos de 35 kg/cm^2 .

$$f'cR = f'c - 35 + 2.33 * \alpha * Ds$$

$$F'cR = 175 - 35 + 2.33 * 1.16 * 3.83 = 150.3 \text{ kg/cm}^2$$

De los valores calculados en a y b, se elige el mayor como $f'cR$, el cual es 181.5 kg/cm^2 .

Parámetros para estadística descriptiva

- **El Rango “R”**

Se obtiene de la diferencia entre los valores máximo y mínimo de los datos.

$$R = X_{\text{Máx}} - X_{\text{Mín}} = 219.68 - 205.11 = 13.87$$

- **Número de intervalos “k”**

$$k = 1 + 3.322 * \log N$$

$$K = 1 + 3.322 * \log (15) = 4.78 \cong 5.$$

- **Amplitud “A”**

$$A = R / k$$

Es el cociente entre el rango y el número de intervalos, entonces $A = 2.77$

A continuación, se presenta el resumen de los valores necesarios para la estadística descriptiva y su distribución normal.

Tabla 67

Resumen de parámetros para estadística descriptiva de Ensayos de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con adición de CCM

Parámetros de estadística descriptiva	
Media	213.02 kg/cm^2
Desviación Estándar	3.83 kg/cm^2
Coefficiente de Variación	1.80 %
Mínimo	205.81 kg/cm^2
Máximo	219.68 kg/cm^2
Muestra	15
Número de intervalos (k)	5
Amplitud (A)	2.77

Nota: Elaboración propia.

Tabla 68

Frecuencia de ensayos de resistencia a la compresión de concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con adición de CCM

INTERVALO	FRECUENCIA
[205.81 - 208.58>	2
[208.58 - 211.36>	3
[211.36 - 214.13>	5
[214.13 - 216.91>	3
[216.91 - 219.68>	2
total (N)	15

Nota: Elaboración propia.

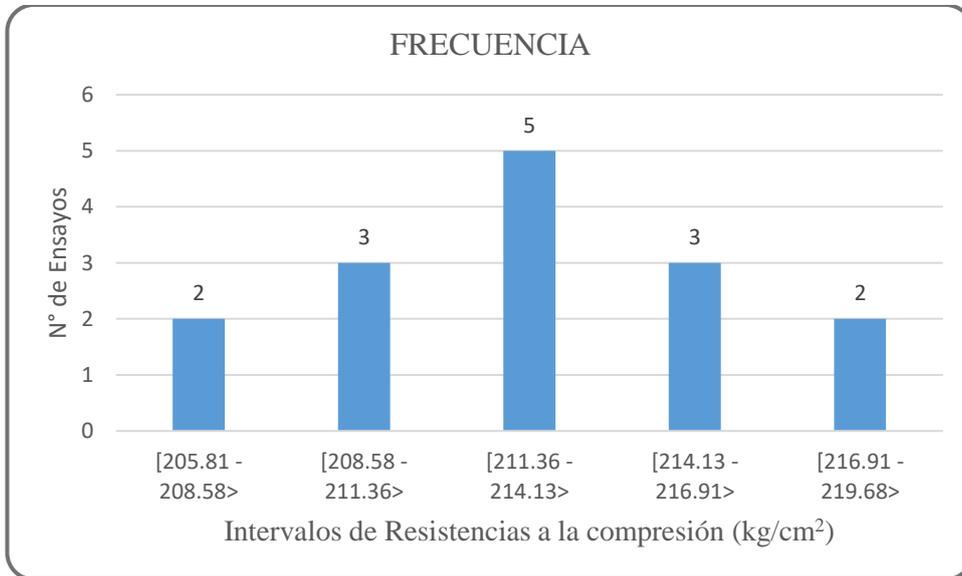


Figura 17

Histograma de Ensayos de resistencia a la compresión en concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ optimizado

Nota: Elaboración propia.

Del gráfico se observa que, en el intervalo central, se concentran el mayor valor de la frecuencia, aspecto que influye principalmente a obtener una menor dispersión de datos, y que, de manera favorable se encuentran concentrados uniformemente en ambos extremos respecto al valor de la media. Por lo tanto, nos brinda una mayor confiabilidad en obtener resultados que bordean al valor de la resistencia promedio.

Distribución normal o campana de Gauss

Los resultados de la resistencia a la compresión de un concreto en específico tienen una distribución de frecuencias que se ajusta a una distribución normal. Por ello, es muy útil para evaluar la distribución de probabilidad de una variable continua que se rigen en torno a un valor central.

El área bajo la curva de distribución normal representa el 100% de los resultados, donde el eje de las abscisas es aproximadamente 6 veces la desviación estándar (6Ds). Con este conocimiento, se determinan rangos incrementado la desviación estándar al valor central para obtener los distintos porcentajes de ocurrencia de resultados. La ecuación que rige esta distribución está dada por:

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

Donde:

Ds: es la desviación estándar

X: cada valor del ensayo en su posición i

Xprom = valor medio o promedio de los ensayos

Tabla 69
Valores de Distribución Normal para concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ Optimizado

Nº de Ensayo	Valor Promedio de 2 probetas (Kg/cm ²)	Y	Escalado por 300
E - 1	210.8	0.089	26.605
E - 2	214.4	0.097	29.222
E - 3	211.3	0.094	28.180
E - 4	214.0	0.101	30.280
E - 5	216.9	0.063	18.889
E - 6	213.2	0.104	31.245
E - 7	218.2	0.041	12.365
E - 8	212.0	0.101	30.178
E - 9	209.0	0.060	18.124
E - 10	213.5	0.103	31.018
E - 11	219.7	0.023	6.888
E - 12	205.8	0.018	5.307
E - 13	216.7	0.066	19.744
E - 14	211.5	0.097	29.020
E - 15	208.2	0.047	14.219

Nota: Los valores de los ensayos (columna 2) utilizados se deben ordenar de forma ascendente para conseguir esbozar una correcta campana de Gauss. Elaboración propia.

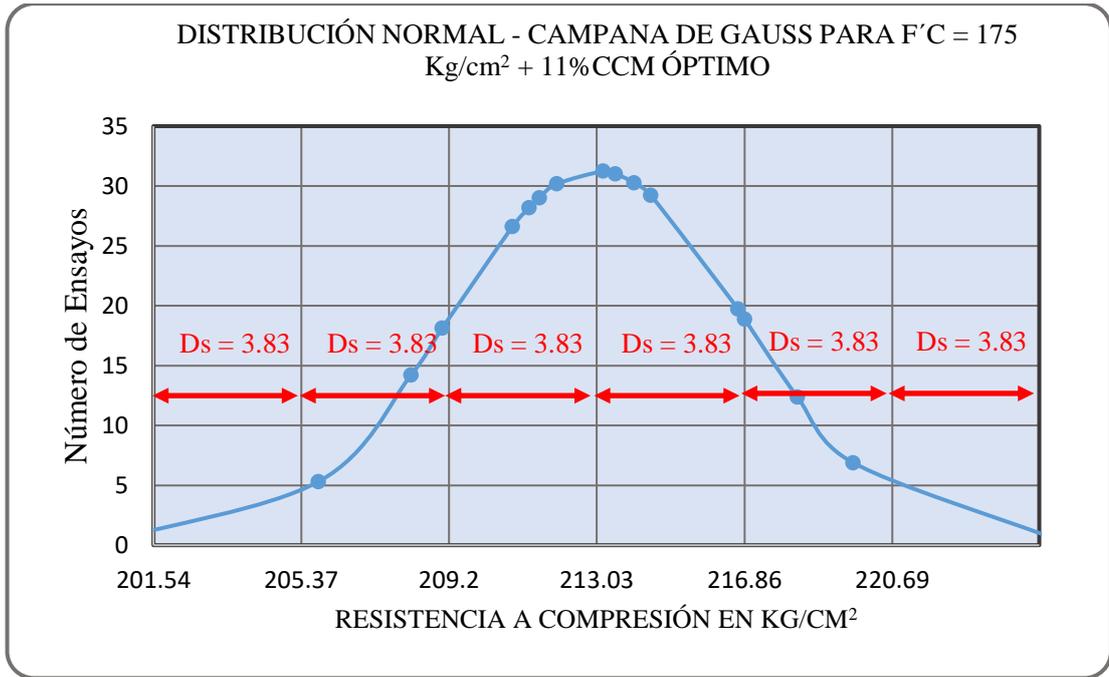


Figura 18

Distribución Normal - Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ Optimizado con 11% CCM

Nota: Elaboración propia.

Con la interpretación visual de la **Figura 18** anterior se puede precisar lo siguiente:

- Hay una probabilidad de ocurrencia del 68.3% que los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para un concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con el 11% de adición de cenizas de carbón mineral de cocina, presenten un valor de resistencia a la compresión que oscila entre 209.02 kg/cm^2 y 216.86 kg/cm^2 a la edad de 28 días.
- Existe una probabilidad de ocurrencia del 95.2% que los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para un concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con el 11% de adición de cenizas de carbón mineral de cocina, alcancen un valor de resistencia a la compresión que oscila entre 205.37 kg/cm^2 y 220.69 kg/cm^2 a la edad de 28 días.
- Hay una probabilidad de ocurrencia del 100% que los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para un concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

optimizado con el 11% de adición de cenizas de carbón mineral de cocina, presenten un valor de resistencia a la compresión que oscila entre 201.54 kg/cm² y 224.52 kg/cm² a la edad de 28 días.

Se da por validada la hipótesis, puesto que la adición de cenizas de carbón mineral de cocina en concreto $f'c = 175\text{kg/cm}^2$ influye significativamente en la resistencia a la compresión alcanzando resistencias superiores a 201.54 kg/cm² con un 100% de confiabilidad. Esto se logró con una adición óptima de ceniza al 11% respecto al peso del cemento de la dosificación de diseño o muestra patrón.

4.7.2. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA PARA EL CONCRETO $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ÓPTIMO CON 10% DE CCM

Promedio general

Este parámetro se obtuvo realizando la suma aritmética de los resultados de ensayos. Además, es importante resaltar que un ensayo consiste en el resultado del promedio aritmético de dos valores de la resistencia a la compresión de testigos consecutivos. Por otro lado, en la **Tabla 70**, se aprecia el promedio de 3 ensayos consecutivos que servirá para evaluar los dos criterios exigidos por el ACI - 318, así como de los valores para calcular la desviación estándar.

Tabla 70

Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para evaluación estadística del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ optimizado

Nº de Ensayo	Valor Promedio de 2 probetas (Kg/cm2)	Promedio de 3 ensayos	Xi-X	(Xi-X) ²
E - 1	270.0		-5.25	27.59
E - 2	275.2		-0.12	0.01
E - 3	277.2	274.1	1.89	3.57
E - 4	276.4	276.3	1.13	1.29
E - 5	279.9	277.8	4.56	20.78
E - 6	276.2	277.5	0.88	0.77
E - 7	273.4	276.5	-1.91	3.64
E - 8	272.7	274.1	-2.56	6.56
E - 9	268.5	271.5	-6.84	46.84
E - 10	275.9	272.4	0.62	0.38
E - 11	278.1	274.2	2.81	7.88
E - 12	271.7	275.2	-3.63	13.16
E - 13	281.5	277.1	6.19	38.27
E - 14	274.1	275.8	-1.16	1.34
E - 15	278.7	278.1	3.40	11.54
Suma	4129.5			183.62

Nota: Elaboración propia.

La resistencia promedio o media está determinado como el cociente de la suma de los 15 ensayos y la cantidad de estos (n).

$$X = \mu = \frac{\sum \text{Resistencias de ensayos}}{n}$$

$$X = 4129.5 / 15 = 275.30 \text{ kg/cm}^2$$

Desviación Estándar

Este indicador mide la dispersión de los datos o ensayos obtenidos, alrededor del valor medio. Cuando se quiere garantizar la menor frecuencia de resultados en este

tipo de pruebas, la desviación estándar debe ser la mínima posible. Se ha calculado de la siguiente forma:

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

La suma de los valores al cuadrado de la diferencia entre cada ensayo y el promedio, se presenta en la última columna de la **Tabla 70**. Entonces, el valor obtenido es:

$$s = D_s = 3.62 \text{ kg/cm}^2$$

De acuerdo a la **Tabla 65** de valores de dispersión, y habiendo obtenido un valor de $D_s = 3.62 \text{ kg/cm}^2 < 14.1$, la calificación es de Excelente.

Coefficiente de variación entre testigos

Es otro factor muy importante para evaluar estadísticamente una muestra de concreto y está dada por:

$$V = \frac{D_s}{\mu} \times 100 \rightarrow V = 1.32 \%$$

De acuerdo a la **Tabla 65**, $1.32\% < 2$ y es un coeficiente de variación excelente.

Criterios del Reglamento ACI – 318 para el 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 $f'c$:

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

Para obtener el valor de α , se ingresa a la **Tabla 66** en la fila del número de ensayos de esta evaluación. De forma similar a la evaluación del concreto anterior el valor de $\alpha = 1.16$ correspondiente para 15 ensayos.

$$f'cR = 210 + 1.34 * 1.16 * 3.62 = 215.6 \text{ kg/cm}^2$$

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

Se cumple esta condición puesto que ninguno de los 13 ensayos promedio de tres, es menor que $f'c$ en menos de 35 kg/cm^2 .

$$f'cR = f'c - 35 + 2.33 * \alpha * Ds$$

$$F'cR = 210 - 35 + 2.33 * 1.16 * 3.62 = 184.8 \text{ kg/cm}^2$$

De los valores calculados en a y b, se elige el mayor como $f'cR$, el cual es 215.6 kg/cm^2 .

Parámetros para estadística descriptiva

- El Rango "R"

Se obtiene de la diferencia entre los valores máximo y mínimo de los datos.

$$R = X_{\text{Máx}} - X_{\text{Mín}} = 268.46 - 281.49 = 13.03$$

- Número de intervalos "k"

$$k = 1 + 3.322 * \log N$$

$$K = 1 + 3.322 * \log (15) = 4.78 \cong 5.$$

- Amplitud "A"

$$A = R / k$$

Es el cociente entre el rango y el número de intervalos, entonces $A = 2.61$

A continuación, se presenta el resumen de los valores necesarios para la estadística descriptiva y su distribución normal.

Tabla 71

Resumen de parámetros para estadística descriptiva de Ensayos de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con adición de CCM

Parámetros de estadística descriptiva	
Media	275.30 kg/cm^2
Desviación Estándar	3.62 kg/cm^2
Coefficiente de Variación	1.32 %
Mínimo	268.46 kg/cm^2
Máximo	281.49 kg/cm^2
Muestra	15
Número de intervalos (k)	5
Amplitud (A)	2.61

Nota: Elaboración propia.

Tabla 72

Frecuencia de ensayos de resistencia a la compresión de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con adición de CCM

INTERVALO	FRECUENCIA
[205.81 - 208.58>	2
[208.58 - 211.36>	3
[211.36 - 214.13>	5
[214.13 - 216.91>	3
[216.91 - 219.68>	2
total (N)	15

Nota: Elaboración propia.

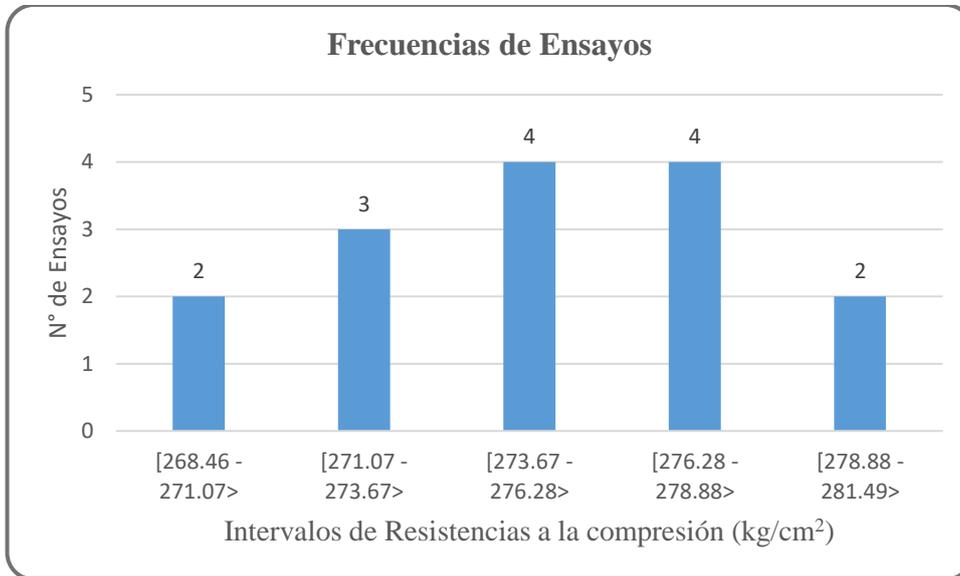


Figura 19

Histograma de Ensayos de resistencia a la compresión en concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ optimizado

Nota: Elaboración propia.

Del gráfico se observa que en los intervalos 3 y 4, se concentran la mayoría de ensayos, aspecto que influye principalmente a obtener una menor dispersión de datos, y que, de forma favorable se encuentran concentrados de forma más cercana al valor de la media. Por lo tanto, nos brinda una mayor confiabilidad en obtener resultados superiores al valor de la resistencia promedio.

Distribución normal o campana de Gauss

Los resultados de la resistencia a la compresión de un concreto en específico tienen una distribución de frecuencias que se ajusta a una distribución normal. De forma similar a lo calculado en el ítem 4.7.1 para el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, se han realizado para el concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con la ceniza de carbón mineral. Los datos el análisis de distribución normal para este tipo de concreto se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 73

Valores de Distribución Normal para concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ Optimizado

Nº de Ensayo	Valor Promedio de 2 probetas (Kg/cm2)	Y	Escalado por 350
E - 1	270.0	0.038	13.469
E - 2	275.2	0.110	38.536
E - 3	277.2	0.096	33.647
E - 4	276.4	0.105	36.708
E - 5	279.9	0.050	17.461
E - 6	276.2	0.107	37.439
E - 7	273.4	0.096	33.554
E - 8	272.7	0.086	30.027
E - 9	268.5	0.018	6.466
E - 10	275.9	0.109	38.002
E - 11	278.1	0.082	28.546
E - 12	271.7	0.067	23.350
E - 13	281.5	0.026	8.963
E - 14	274.1	0.105	36.632
E - 15	278.7	0.071	24.835

Nota: Los valores de los ensayos (columna 2) utilizados se deben ordenar de forma ascendente para conseguir esbozar una correcta campana de Gauss. Elaboración propia.

Con la interpretación de la **Figura 20** anterior se puede afirmar lo siguiente:

- Hay una probabilidad de ocurrencia del 68.3% que los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con el 10% de adición de cenizas de carbón mineral de cocina, presenten un valor de resistencia a la compresión que oscila entre 271.68 kg/cm^2 y 278.92 kg/cm^2 a la edad de 28 días.
- Existe una probabilidad de ocurrencia del 95.2% que los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con el 10% de adición de cenizas de carbón mineral de cocina, alcancen un valor de resistencia a la compresión que oscila entre 268.06 kg/cm^2 y 282.54 kg/cm^2 a la edad de 28 días.

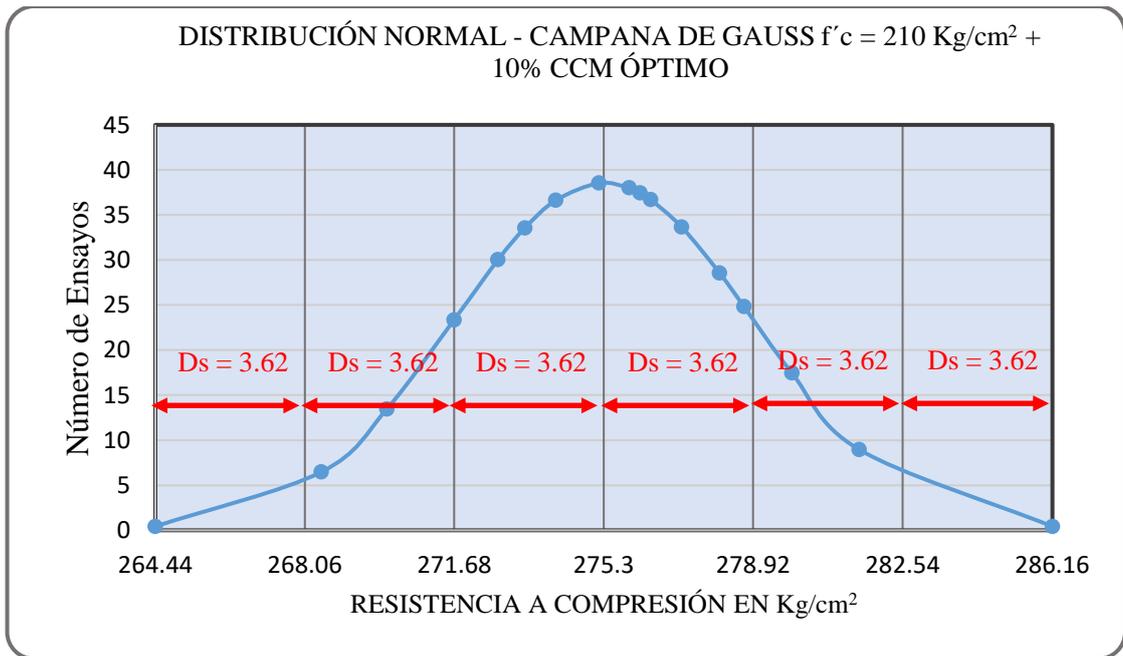


Figura 20

Distribución Normal - Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ Optimizado con 10% CCM

Nota: Elaboración propia.

- Hay una probabilidad de ocurrencia del 100% que los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con el 10% de adición de cenizas de carbón mineral de cocina,

presenten un valor de resistencia a la compresión que oscila entre 264.44 kg/cm² y 286.16 kg/cm² a la edad de 28 días.

Se da por validada la hipótesis, puesto que la adición de cenizas de carbón mineral de cocina en concreto $f'c = 210$ kg/cm² influye significativamente en la resistencia a la compresión alcanzando resistencias superiores a 264.44 kg/cm² con un 100% de confiabilidad. Esto se logró con una adición óptima de ceniza del 10% respecto al peso del cemento de la dosificación de diseño.

4.8. PESO UNITARIO (DENSIDAD) Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO (GRAVIMÉTRICO)

La selección adecuada de las proporciones para la unidad cúbica de concreto garantiza óptimas condiciones para su colocación, densidad, resistencia, durabilidad, entre otras propiedades. En este acápite se aborda la densidad y los vacíos (% de aire) de los concretos en estudio durante la preparación (en estado fresco). Aplicando el procedimiento de la norma NTP.339.046 / MTC-714 (ver a detalle **Anexo 04**) se han obtenido los siguientes resultados:

4.8.1. EN CONCRETOS $f'c = 175$ Kg/cm²

Tabla 74

Densidad (Peso unitario) y % de vacíos para concretos adicionados $f'c = 175$ kg/cm² en estado fresco

% de Ceniza	Densidad (Kg/m ³)	Aire o vacíos (%)	F.C.
0 % Adición	2328.5	1.81	0.987
5 % Adición	2321.7	1.43	0.960
10 % Adición	2300.1	0.55	0.915
11 % Adición OP	2303.8	0.94	0.984
15 % Adición	2279.0	0.31	0.861

Nota: Elaboración Propia. *Hace referencia al Factor de Compactación del concreto

Observando las **Figuras 21 y 22**, para los concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ adicionados, podemos afirmar lo siguiente:

- La densidad del concreto fresco decrece ligeramente a medida que el porcentaje de adición de cenizas de carbón mineral de cocina aumenta. El mayor valor fue de la muestra patrón con 2328.5 Kg/m^3 y el mínimo valor de 2279 kg/m^3 con el 15% de CCM. Para el concreto optimizado, la densidad sufre un pequeño incremento debido a la corrección del asentamiento y, por consiguiente, aumenta el contenido de cemento dando origen a un mayor peso de la tanda. (**Figura 21**)

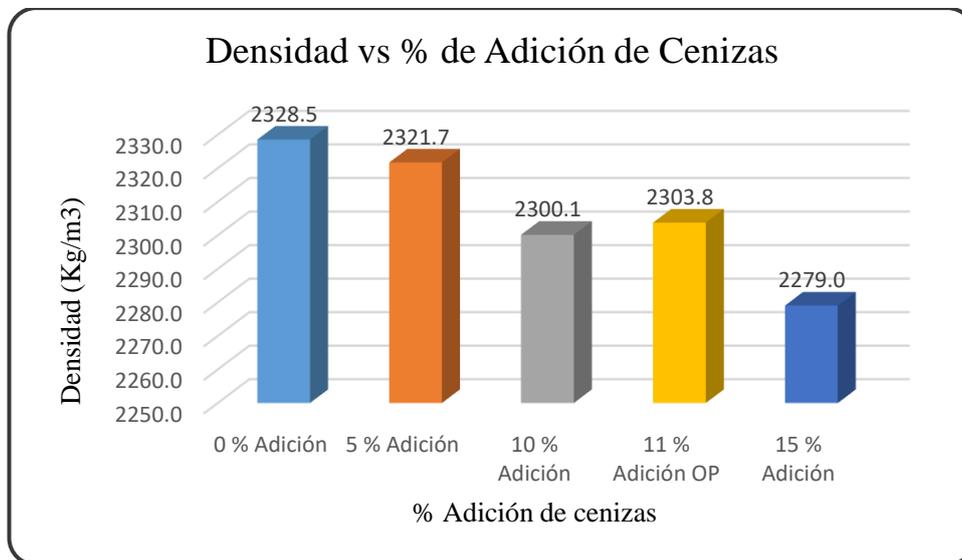


Figura 21

Histograma de comparación de densidad unitaria en concretos frescos adicionados $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

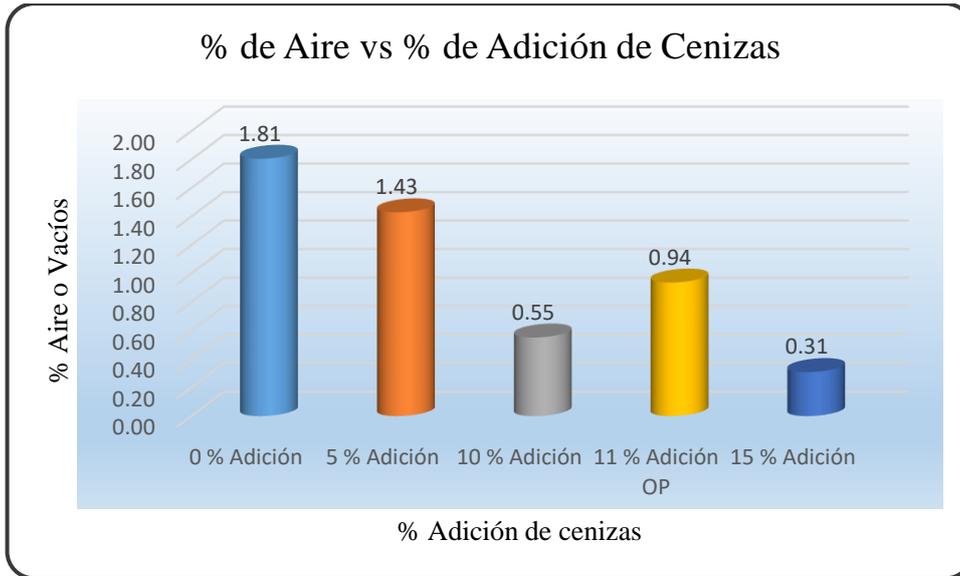


Figura 22

Histograma de comparación del % de vacíos en concretos frescos adicionados $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

- Existe una variación evidente del porcentaje de vacíos presentes en la mezcla del concreto fresco. De forma proporcional a la densidad, el contenido de aire se va abrogando conforme ascienda la cantidad de cenizas añadidas a la tanda. El mayor valor fue de 1.81% obtenida por la muestra sin adición de ceniza y el mínimo fue 0.31% alcanzado por la muestra con el 15% de CCM. (**Figura 22**)

4.8.2. EN CONCRETOS $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Tabla 75

Densidad (Peso unitario) y % de vacíos para concretos adicionados $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en estado fresco

% de Ceniza	Densidad (Kg/m^3)	Aire o vacíos (%)	F.C.
0 % Adición	2341.2	2.05	0.989
5 % Adición	2320.8	1.64	0.986
10 % Adición	2300.8	0.84	0.946
10 % Adición OP	2308.1	1.33	0.983
15 % Adición	2286.5	0.28	0.912

Nota: Elaboración propia.

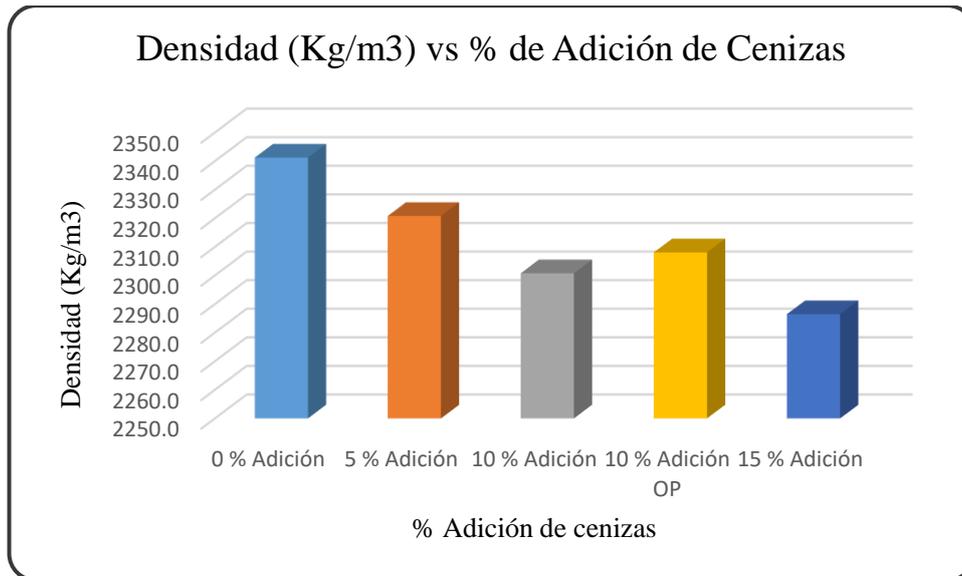


Figura 23

Histograma de comparación de densidad unitaria en concretos frescos adicionados $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a las **Figuras 23 y 24**, para los concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionados, podemos afirmar lo siguiente:

- La densidad del concreto fresco decrece ligeramente a medida que el porcentaje de adición de cenizas de carbón mineral de cocina aumenta. El mayor valor fue de la muestra patrón con 2341.2 Kg/m^3 y el mínimo valor de 2286 kg/m^3 con el 15% de CCM. Para el concreto optimizado, la densidad sufre un pequeño incremento debido a la corrección del asentamiento y, por consiguiente, aumenta el contenido de cemento dando origen a un mayor peso de la tanda. (**Figura 23**).

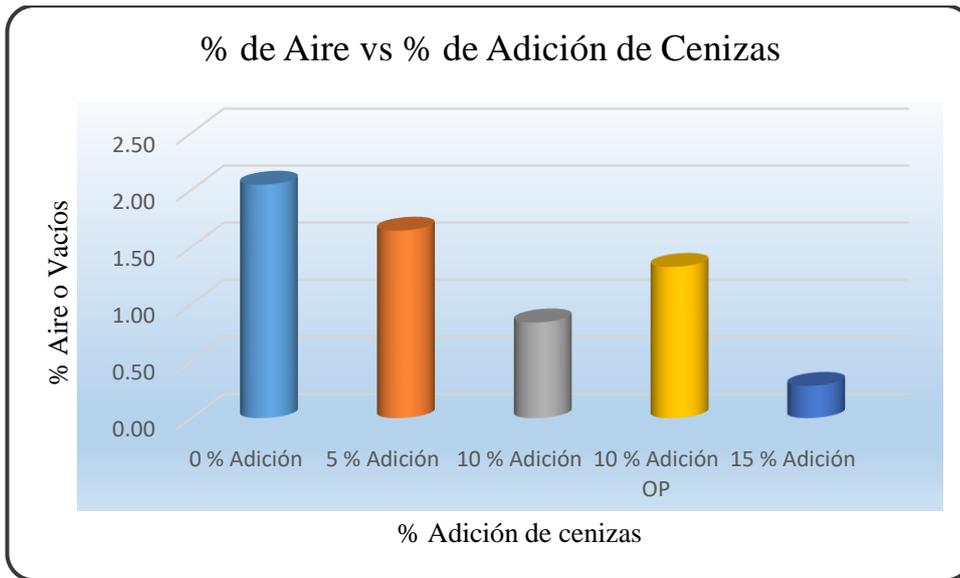


Figura 24

Histograma de comparación del % de vacíos en concretos frescos adicionados $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

- Existe una variación evidente del porcentaje de vacíos presentes en la mezcla del concreto fresco. De forma proporcional a la densidad, el contenido de aire se va eliminando conforme la cantidad de cenizas añadidas a la tanda ascienda. El mayor valor fue de 2.05% obtenida por la muestra sin adición de ceniza y el mínimo fue 0.28% alcanzado por la muestra con el 15% de CCM. (**Figura 24**)

4.9. DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL CONCRETO ENDURECIDO

De acuerdo a la norma NTP 339.187 se ha elaborado el ensayo para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos del concreto endurecido. Se presentan los cuadros comparativos y gráficos del análisis para el concreto patrón y las adiciones de ceniza de carbón mineral, tanto para el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

4.9.1. EN CONCRETOS $F'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

La principal consideración a tener en cuenta fue que los pesos finales obtenidos no deben variar en más del 0.5% respecto a la medida anterior o menor medida obtenida.

Resultados finales

Con los datos obtenidos para ambas muestras de cada porcentaje, se ha promediado cada parámetro calculado, es decir: porcentaje de absorción por inmersión (%Ai), porcentaje de absorción por inmersión y hervido (%Ah), densidad seca (Ds), densidad por inmersión (Di), densidad por inmersión y hervido (Dh), densidad aparente (Da) y el porcentaje de vacíos permeables (%V). Esto se evidencia en la tabla subsecuente:

Tabla 76

Valores finales de la densidad, absorción y porcentaje de vacíos de concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

CALCULO PROMEDIO DE DENSIDAD (gr/cm^3), ABSORCIÓN (%) Y PORCENTAJE DE VACÍOS (%)				
PESO	0 % CCM	5 % CCM	10 % CCM	15 % CCM
%Ai	9.66%	9.61%	8.54%	8.50%
%Ah	9.71%	9.62%	8.57%	8.55%
Ds	2.120	2.117	2.154	2.157
Di	2.325	2.320	2.338	2.340
Dih	2.326	2.321	2.338	2.341
Da	2.669	2.659	2.641	2.644
%V	20.58%	20.37%	18.45%	18.43%

Nota: Elaboración propia.

De la **Figura 25** se deduce que, no existe un incremento considerable en la cantidad de poros permeables luego de hervir las muestras, demostrando que los poros permeables en altas temperaturas (ebullición del agua) son mínimos para los 4 tipos de concretos. Sin embargo, el mayor incremento de estos se da en 0.05% para las muestras con 0% y 15% de adición de cenizas de carbón mineral de cocina (CCM). De los 4 concretos, el que presenta la menor absorción por inmersión es el adicionado con 15% de CCM y ligeramente por encima el concreto con 10% de CCM, en cambio, los otros dos concretos restantes son los que presentan mayor absorción.

Entonces, los concretos adicionados con 10% y 15% de CCM garantizarán una menor exposición del concreto ante agentes agresivos y dañinos, respecto a la muestra patrón y el añadido con 5% de CCM.

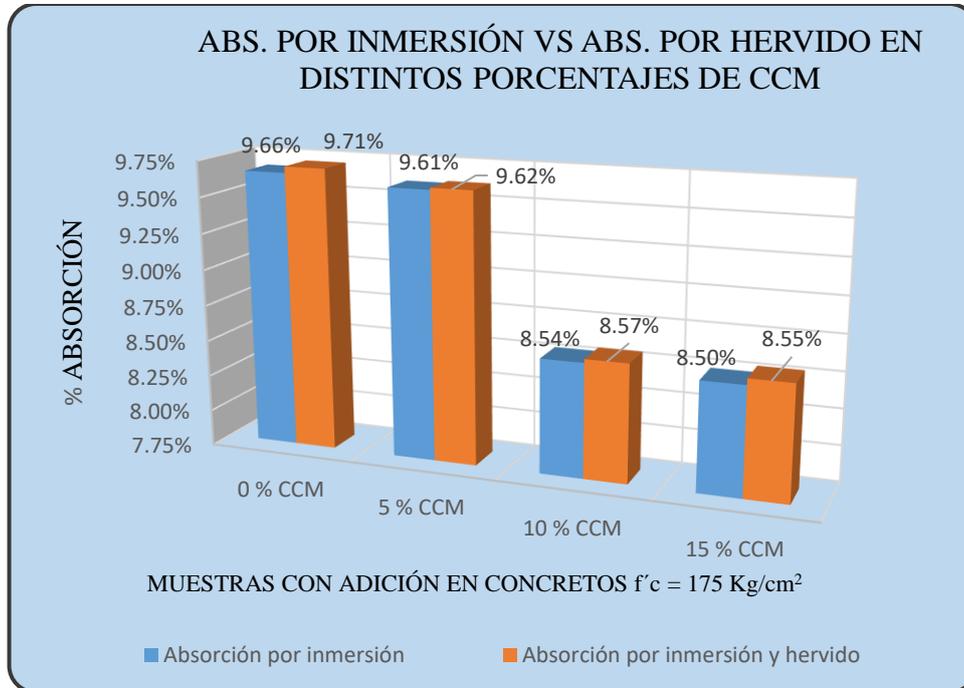


Figura 25

Gráfico de barras de Absorción por inmersión vs por hervido para concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

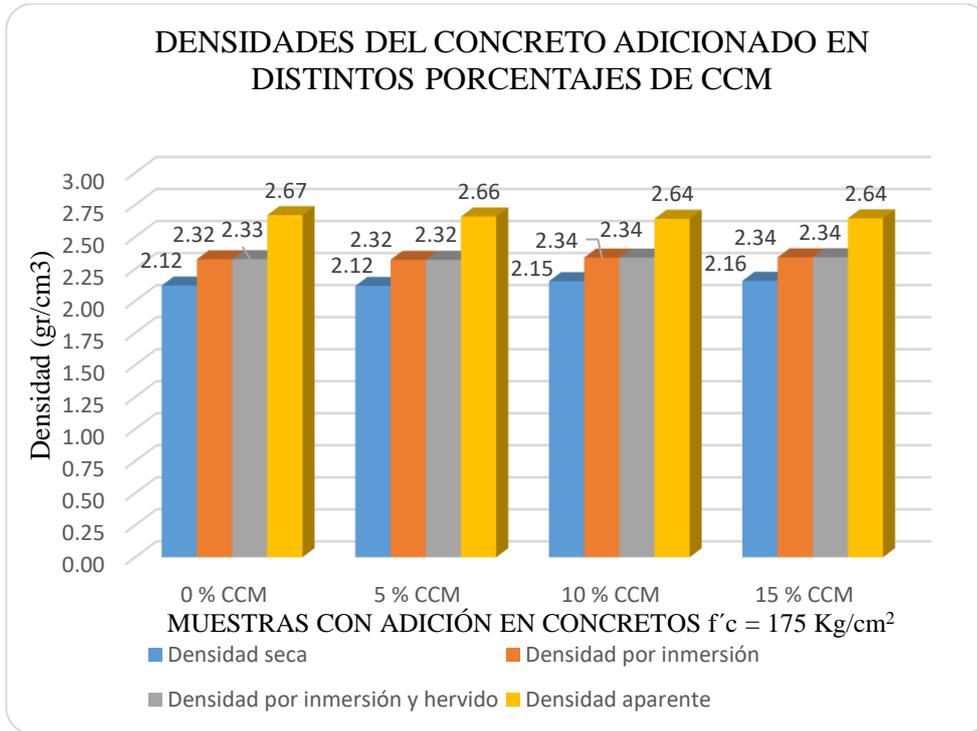


Figura 26
Gráfico de barras de Densidades de los concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

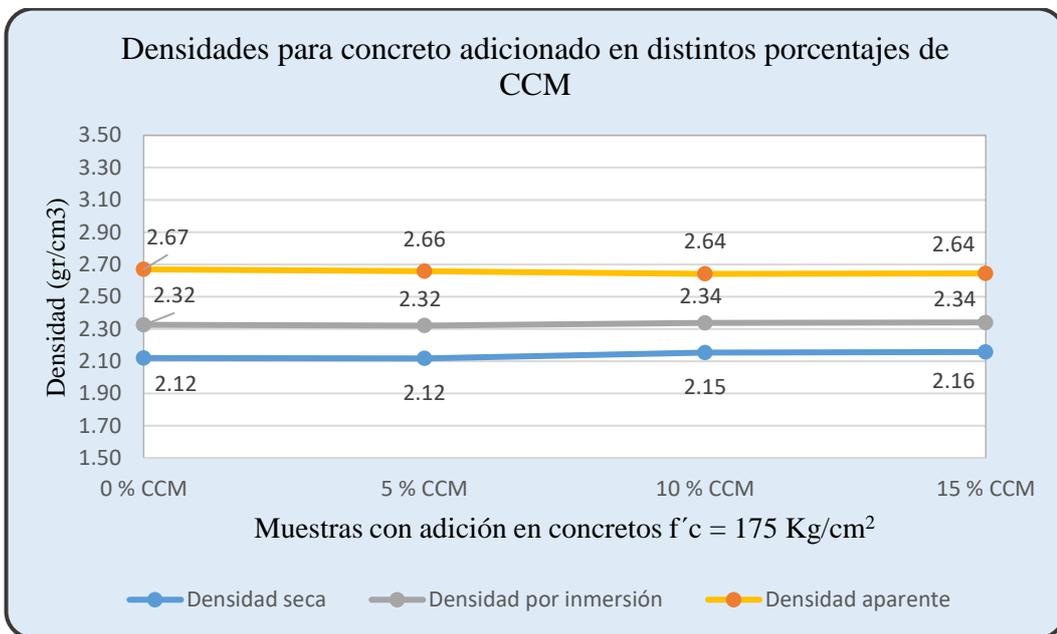


Figura 27
Gráfico de dispersión de Densidades de los concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: La dispersión de la densidad por inmersión y hervido posee valores similares a la densidad por inmersión, solo se diferencian por milésimas y no se muestran aquí. Elaboración propia.

Las **Figuras 26 y 27** demuestran las siguientes afirmaciones:

- La densidad aparente de la muestra patrón con 0% de CCM es mayor a los demás resultados obtenidos con las muestras adicionadas. Además, la menor densidad aparente se ha alcanzado en los porcentajes adicionados con el 10% y 15% de ceniza.
- Las densidades obtenidas por inmersión y luego de hervirlas son similares, la diferencia radica sólo en milésimas, tal como se observa en la **Figura 26**.
- La densidad seca se incrementa de acuerdo al aumento de la adición de cenizas de carbón mineral. Para concretos con 0% y 5% de CCM la densidad seca es 2.12 gr/cm^3 , para una adición del 10% se obtuvo 2.15 gr/cm^3 y para una adición del 15% se tiene 2.16 gr/cm^3 siendo el mayor valor de las cuatro muestras. Entonces, el concreto óptimo con el 10% de CCM es uno de los que alcanza mayor densidad seca, lo cual indica que el concreto adquiere mayor masa respecto al mismo volumen y/o una menor cantidad de poros permeables.

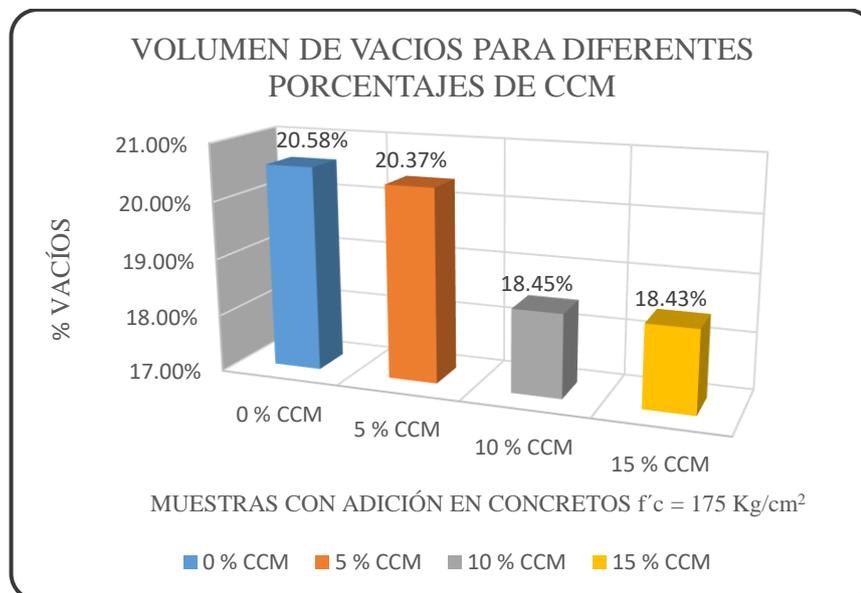


Figura 28

Gráfico de barras del % de vacíos permeables de los concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

El **gráfico 28** denota que el mayor porcentaje de absorción alcanzó la muestra con el 0% de adición de ceniza logrando un 20.58% de absorción, ligeramente por debajo le sigue el concreto adicionado con el 5% del aditivo, y de forma muy notoria se reduce el porcentaje de vacíos para los concretos adicionados con el 10% y 15% de ceniza, arrojando valores de absorción de 18.45% y 18.43% respectivamente. Esto repercute y afianzan los resultados de una mayor densidad seca y por inmersión, puesto que la cantidad de poros permeables es menor en estos 2 concretos.

Con estas comparaciones y cálculos, se determinó que los concretos con el 10% y 15% de cenizas de carbón mineral de cocina reducen el porcentaje de poros permeables respecto a la muestra patrón, así mismo, las densidades: seca, por inmersión y por hervido son mayores respecto a la muestra patrón (0% CCM). Por lo tanto, se puede confirmar la mejora de las propiedades del concreto optimizado $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

4.9.2. EN CONCRETOS $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Resultados finales

Con los datos obtenidos para ambas muestras de cada porcentaje, se ha promediado cada parámetro calculado, es decir: porcentaje de absorción por inmersión (%Ai), porcentaje de absorción por inmersión y hervido (%Ah), densidad seca (Ds), densidad por inmersión (Di), densidad por inmersión y hervido (Dh), densidad aparente (Da) y el porcentaje de vacíos permeables (%V). Esto se evidencia en la tabla subsecuente:

Tabla 77

Valores finales de la densidad, absorción y porcentaje de vacíos de concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

CALCULO PROMEDIO DE DENSIDAD (gr/cm^3), ABSORCIÓN

(%) Y PORCENTAJE DE VACÍOS (%)

PESO	0 % CCM	5 % CCM	10 % CCM	15 % CCM
%Ai	9.54%	9.69%	8.93%	8.43%
%Ah	9.67%	9.77%	9.02%	8.48%
Ds	2.110	2.114	2.126	2.149
Di	2.311	2.319	2.316	2.330
Dih	2.314	2.320	2.318	2.331
Da	2.651	2.664	2.630	2.627
%V	20.40%	20.66%	19.18%	18.22%

Nota: Elaboración propia.

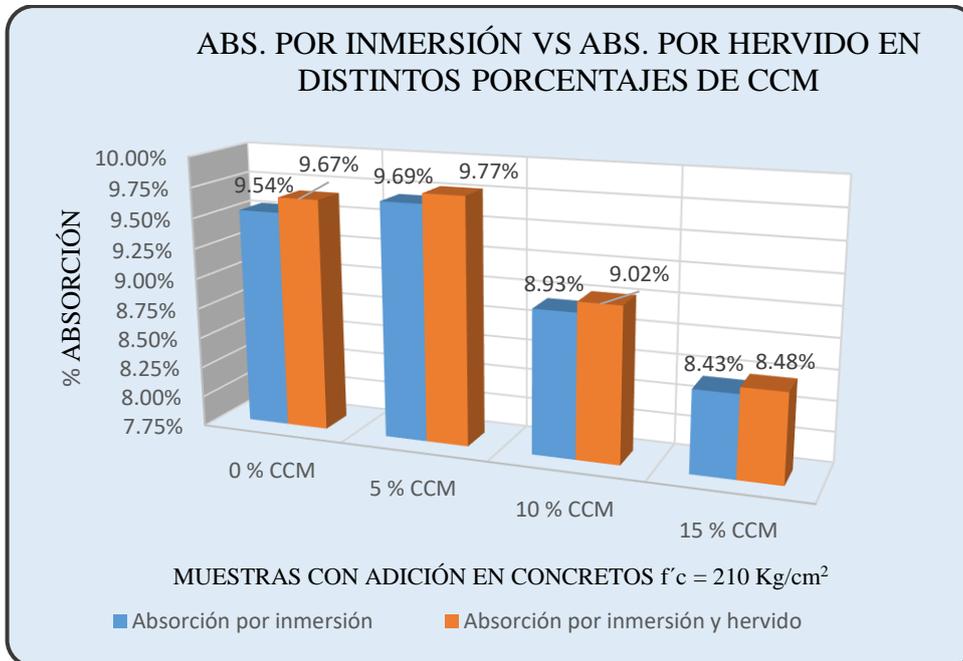


Figura 29

Gráfico de barras de Absorción por inmersión vs por hervido para concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

Del **gráfico de barras 29** se infiere que, no existe un incremento considerable en la cantidad de poros permeables luego de hervir las muestras, demostrando que los poros permeables en altas temperaturas (ebullición del agua) son mínimos para los 4 tipos de concretos. Sin embargo, el mayor incremento de estos se da en 0.13% para las muestras con 0%, y un valor de 0.08% para las muestras con el 15% de adición de cenizas de carbón mineral de cocina (CCM). Además, de los cuatro concretos, el que presenta la menor absorción por inmersión es el adicionado con 15% de CCM y ligeramente por encima el concreto con 10% de CCM, en cambio, los otros dos concretos restantes son los que presentan mayor absorción.

Entonces, los concretos adicionados con 10% y 15% de CCM garantizarán una menor exposición del concreto ante agentes agresivos y dañinos, respecto a la muestra patrón y el añadido con 5% de CCM.

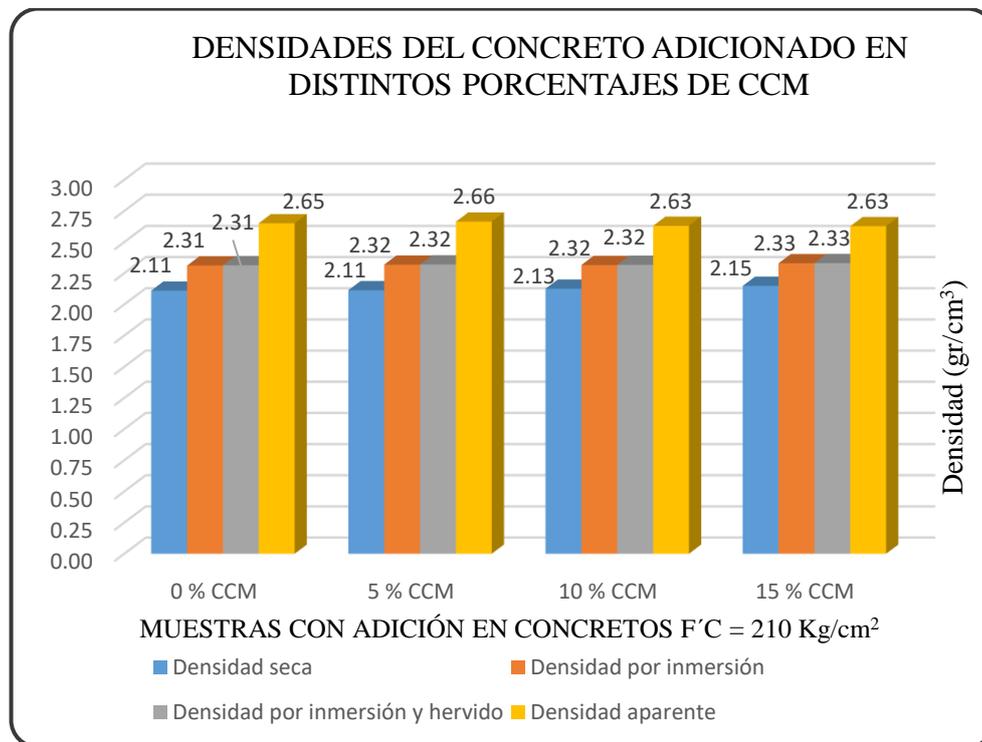


Figura 30

Gráfico de barras de Densidades de los concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

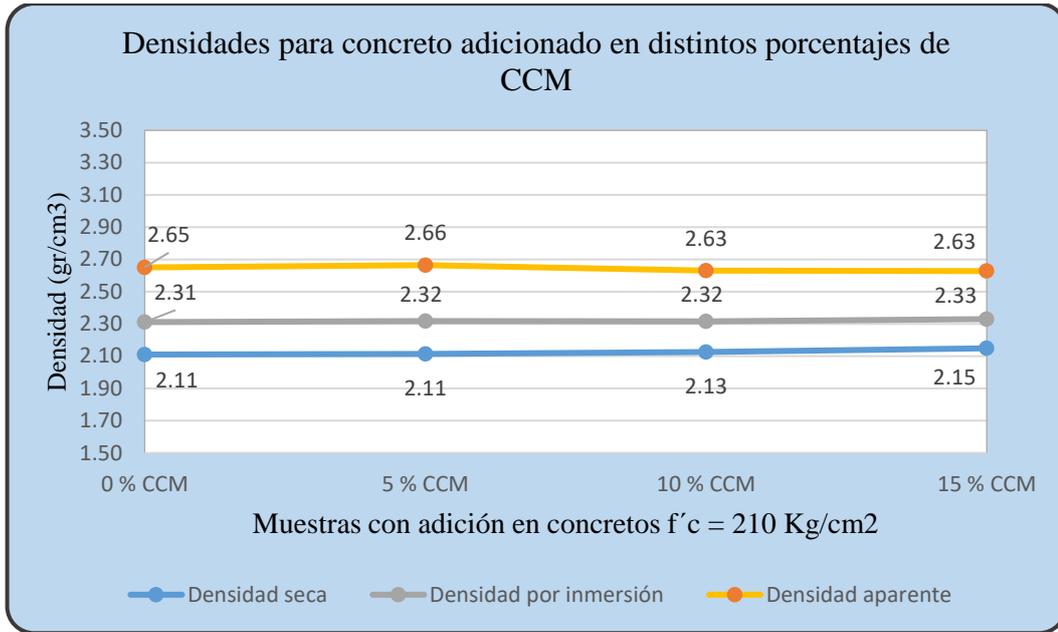


Figura 31

Gráfico de dispersión de Densidades de los concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

Las Figuras 30 y 31 demuestran las siguientes aseveraciones:

- La densidad aparente de la muestra con 5% de CCM es mayor a los demás resultados, seguido de la muestra patrón con un valor de 2.65 gr/cm^3 , obtenidos con las muestras adicionadas. Además, la menor densidad aparente se ha alcanzado en los porcentajes adicionados con el 10% y 15% de ceniza, con un valor idéntico en ambas muestras de 2.63 gr/cm^3 .
- Las densidades obtenidas por inmersión y luego de hervirlas son similares, la diferencia radica sólo en milésimas, tal como se observa en la Figura 30.
- La densidad seca se incrementa de acuerdo al aumento de la adición de cenizas de carbón mineral. Para concretos con 0% y 5% de CCM la densidad seca es 2.11 gr/cm^3 , para una adición del 10% se obtuvo 2.13 gr/cm^3 y para una adición del 15% se tiene 2.15 gr/cm^3 siendo el mayor valor de las cuatro muestras. Entonces, el concreto óptimo con el 10% de CCM es uno de los que alcanza

mayor densidad seca, lo cual indica que el concreto adquiere mayor masa respecto al mismo volumen y/o una menor cantidad de poros permeables.

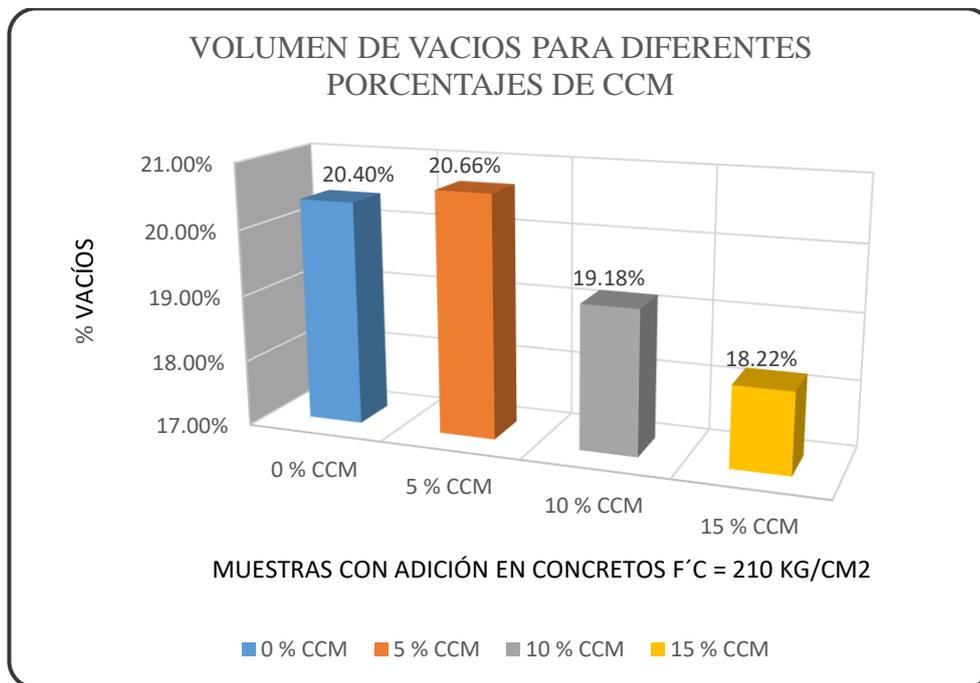


Figura 32

Gráfico de barras del % de vacíos permeables de los concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

El la **Figura 32** se denota que el mayor porcentaje de absorción alcanzó la muestra con el 5% de adición de ceniza logrando un 20.66% de absorción, ligeramente por debajo le sigue el concreto adicionado con el 0% del aditivo (muestra patrón), y de forma muy notoria se reduce el porcentaje de vacíos para los concretos adicionados con el 10% y 15% de ceniza, arrojando valores de absorción de 19.18% y 18.22% respectivamente. Esto repercute y afianzan los resultados de una mayor densidad seca y por inmersión, puesto que la cantidad de poros permeables es menor en estos 2 concretos.

Con estas comparaciones y cálculos, se determinó que los concretos con el 10% y 15% de cenizas de carbón mineral de cocina reducen el porcentaje de poros permeables respecto a la muestra patrón, así mismo, las densidades: seca, por

inmersión y por hervido son mayores respecto a la muestra patrón (0% CCM). Por lo tanto, se puede asegurar la mejora de las propiedades del concreto optimizado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con una adición del 10% de CCM.

4.10. CAPACIDAD Y VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

Los resultados procesados en este ensayo se realizaron en cuadros comparativos y gráficos para una mejor comprensión de la información. Las muestras fueron elaboradas con distintos porcentajes de cenizas de carbón mineral de cocina (CCM) sometidas al ensayo a la edad de 28 días. Los procedimientos a detalle de todas las muestras se presentan en el **Anexo 05**.

4.10.1. ABSORCIÓN EN CONCRETOS $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

Capacidad de Absorción

Tabla 78

Capacidad promedio de absorción en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Tiempo	Seg ^(1/2)	CCM 0%	CCM 5%	CCM 10%	CCM 15%
t = 0	0.000	0.000	0	0	0
t = 1 min	7.746	0.734	0.734	0.784	0.634
t = 5 min	17.321	0.988	0.979	1.042	0.788
t = 10 min	24.495	1.195	1.166	1.154	0.883
t = 20 min	34.641	1.382	1.340	1.357	0.983
t = 30 min	42.426	1.531	1.448	1.477	1.086
t = 1 hora	60.000	1.710	1.764	1.780	1.281
t = 2 horas	84.853	2.050	2.083	2.046	1.509
t = 3 horas	103.923	2.311	2.336	2.303	1.688
t = 4 horas	120.000	2.510	2.527	2.452	1.775
t = 5 horas	134.164	2.647	2.643	2.569	1.862
t = 6 horas	146.969	2.751	2.764	2.780	1.941
t = 24 horas	293.939	4.104	4.050	3.685	2.633
t = 48 horas	415.692	4.780	4.689	4.158	2.981
t = 72 horas	509.117	5.403	5.311	4.652	3.313
t = 96 horas	587.878	5.660	5.606	4.846	3.525
t = 120 horas	657.267	5.735	5.660	4.900	3.583

Nota: Elaboración propia.

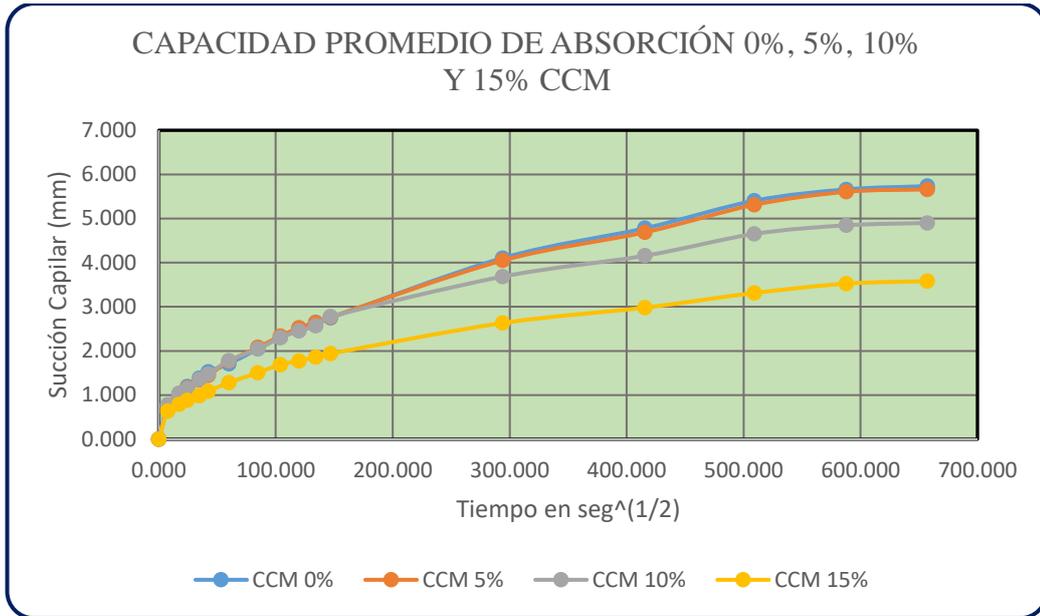


Figura 33

Gráfico de dispersión de Capacidad promedio de Absorción en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

En este gráfico de dispersión se observa una relación inversamente proporcional, puesto que la capacidad promedio de absorción decrece en tiempo a medida que aumenta el porcentaje de CCM en el concreto.

La capacidad de succión capilar es el máximo valor de la absorción promedio de cada tipo de concreto adicionado en estudio.

Tabla 79

Capacidad de Succión capilar en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Adición % CCM	Capacidad de succión capilar en mm del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$
0%	5.735
5%	5.660
10%	4.900
15%	3.583

Nota: Elaboración propia.

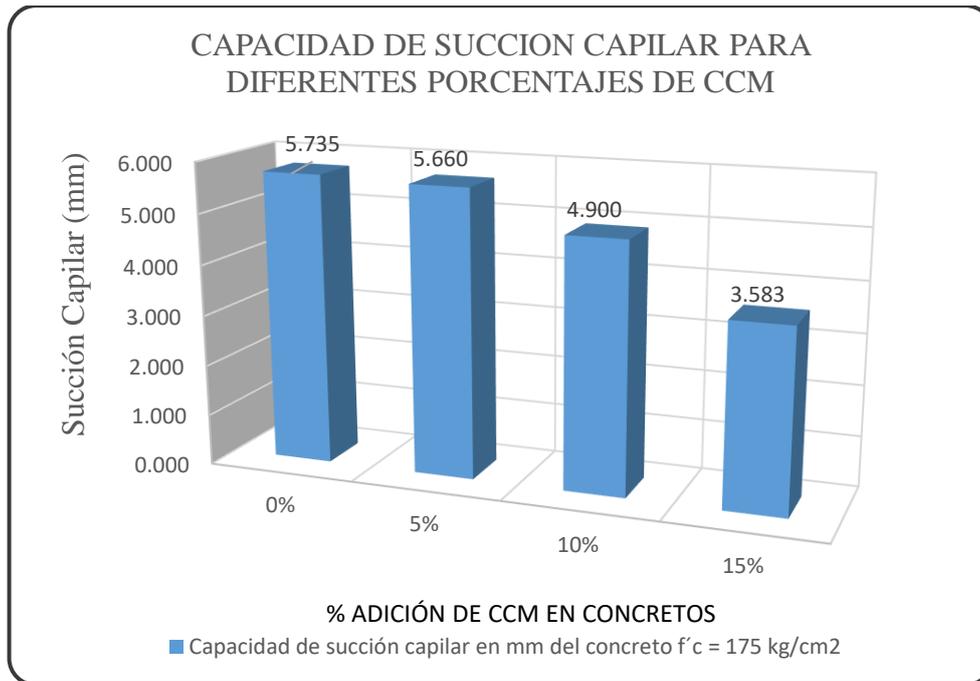


Figura 34

Histograma de capacidad de succión capilar en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

De la **Figura 34** se puede afirmar que la capacidad de succión del concreto adicionado con 5% de ceniza de carbón mineral de cocina disminuye en 1.3% respecto a la muestra patrón, para un 10% de adición se reduce un 14.55% y para un 15% decrece hasta un 37.53%. Por lo tanto, la capacidad de succión capilar merma considerablemente al adicionar en mayor porcentaje la ceniza de carbón en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

Velocidad de Absorción

Está determinada por la pendiente de la aproximación lineal de la recta de capacidad promedio de absorción. Esto se evidencia en la **Figura 35** y su resumen de valores calculados en la **Tabla 80**.

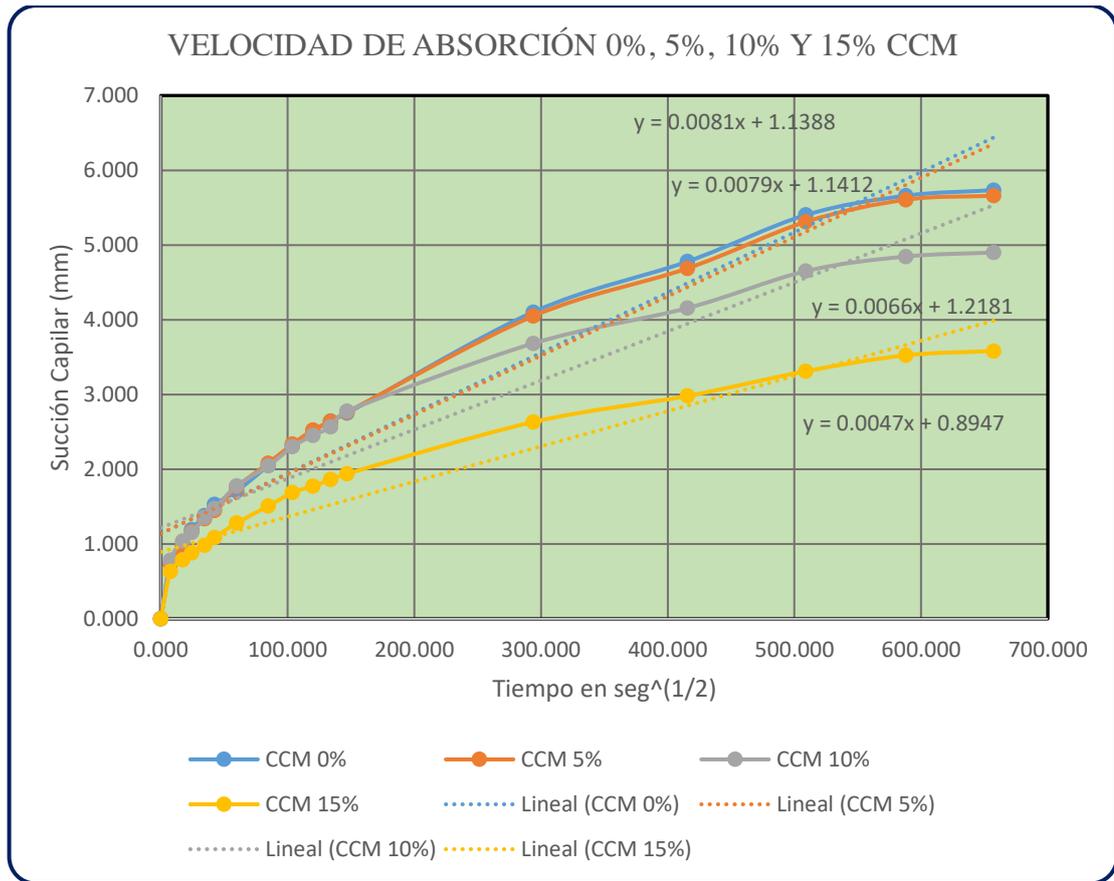


Figura 35

Velocidad de absorción por Aproximación lineal de concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

Tabla 80

Velocidad de Absorción en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Adición % CCM	Velocidad de Absorción $\text{mm} \cdot \text{s}^{(1/2)}$ del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$
0%	0.0081
5%	0.0079
10%	0.0066
15%	0.0047

Nota: Elaboración propia.

En la **Figura 36**, se observa que la velocidad de absorción disminuye en un 2.47% para el concreto adicionado con el 5% de CCM, en 18.52% para el 10% de CCM y en 41.98% para concretos con el 15% de adición de ceniza.

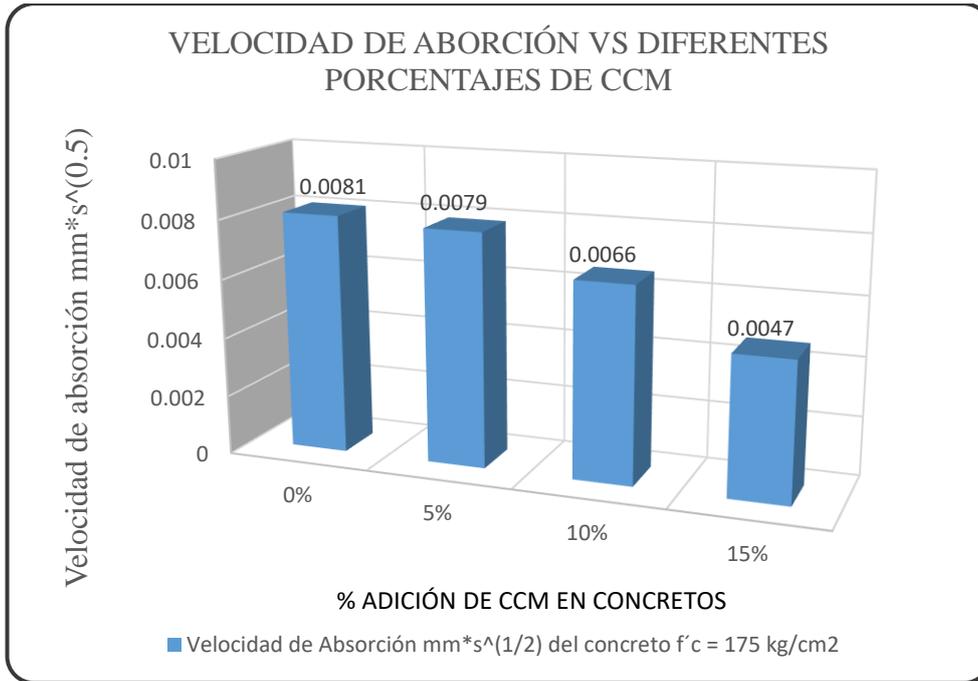


Figura 36

Histograma de Velocidad de Absorción en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

Velocidad de Absorción Inicial (V_i)

Consiste en la pendiente de la recta aproximada linealmente de los puntos de la capacidad de absorción en el rango de las 6 primeras horas del tiempo de ensayo. Las aproximaciones de las rectas se encuentran en el **Anexo 05**.

Tabla 81

Velocidad de Absorción Inicial en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Adición % CCM	Velocidad de Absorción Inicial $mm \cdot s^{(1/2)}$ del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$
0%	0.0157
5%	0.016
10%	0.0154
15%	0.0107

Nota: Elaboración propia.

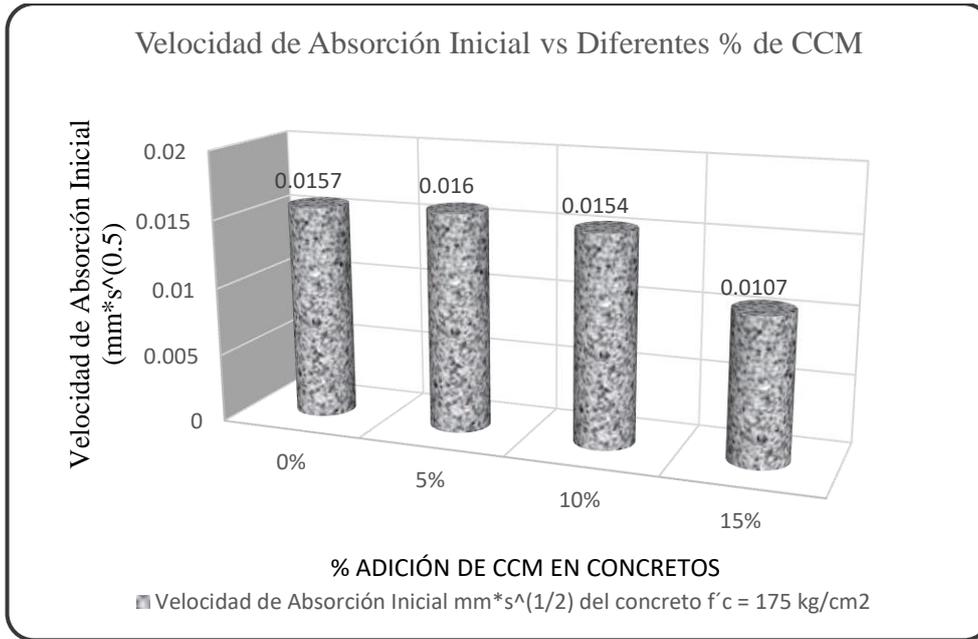


Figura 37

Histograma de Velocidad de Absorción Inicial en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

Se puede evidenciar en la figura que la velocidad de absorción inicial del concreto adicionado con el 5% de CCM aumenta ligeramente en 1.91%, mientras que para un concreto con el 10% de ceniza disminuye en 1.91% y para el 15% de ceniza decrece notoriamente en 31.85% respecto a la muestra patrón (0%CCM).

Velocidad de Absorción Secundaria (Vs)

Es la pendiente de la recta aproximada linealmente de los puntos de la capacidad de absorción en el rango de 24 – 120 horas del tiempo de ensayo. Las aproximaciones de las rectas se encuentran en el **Anexo 05**.

Se puede observar en la **Figura 38** que la velocidad de absorción secundaria del concreto adicionado con el 5% de CCM no presenta un incremento, mientras que para un concreto con el 10% de ceniza disminuye en 25.53% y para el 15% de ceniza decrece notoriamente en 40.43% respecto a la muestra patrón (0%CCM).

Entonces, se reafirma la concepción de que, a mayor porcentaje de adición de las cenizas de carbón mineral de cocina, la velocidad de absorción general, inicial y secundaria se ven mermadas considerablemente. De esta forma contribuye a la mejora significativa de sus propiedades del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 82

Velocidad de Absorción Secundaria en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Adición % CCM	Velocidad de Absorción Secundaria $\text{mm} \cdot \text{s}^{(1/2)}$ del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$
0%	0.0047
5%	0.0047
10%	0.0035
15%	0.0107

Nota: Elaboración propia.

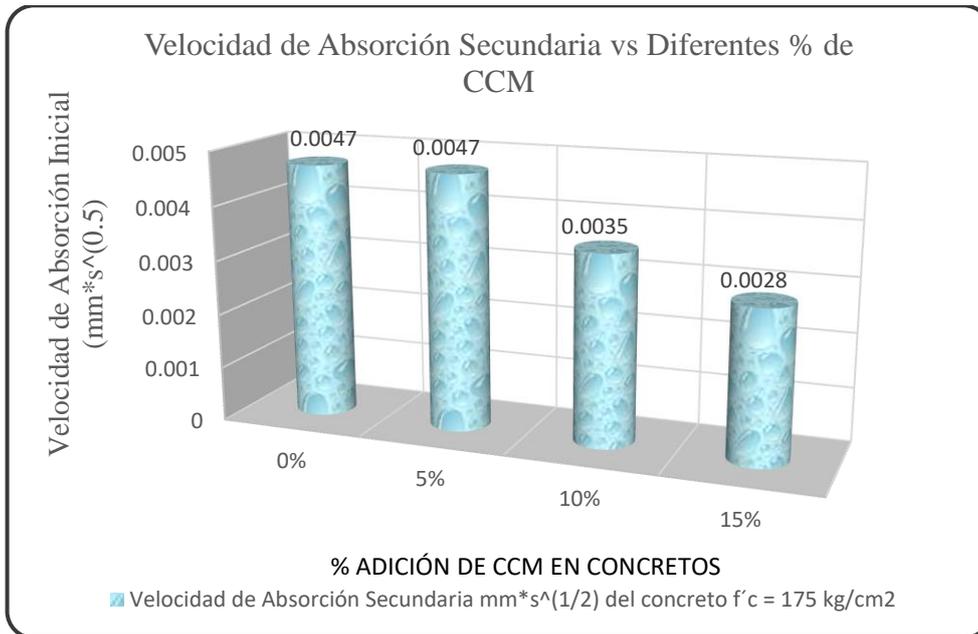


Figura 38

Histograma de Velocidad de Absorción Secundaria en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

4.10.2. ABSORCIÓN EN CONCRETOS $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Capacidad de Absorción

En la **Figura 39** de dispersión mostrado se observa una relación inversamente proporcional, puesto que la capacidad promedio de absorción decrece en tiempo a medida que se aumenta el porcentaje de CCM en el concreto.

Tabla 83

Capacidad promedio de absorción en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Tiempo	Seg ^(1/2)	CCM 0%	CCM 5%	CCM 10%	CCM 15%
t = 0	0.000	0.000	0	0	0
t = 1 min	7.746	0.544	0.506	0.547	0.614
t = 5 min	17.321	0.817	0.763	0.755	0.759
t = 10 min	24.495	1.004	0.987	0.887	0.875
t = 20 min	34.641	1.241	1.153	1.041	1.024
t = 30 min	42.426	1.461	1.277	1.145	1.115
t = 1 hora	60.000	1.747	1.538	1.381	1.256
t = 2 horas	84.853	2.041	1.796	1.626	1.505
t = 3 horas	103.923	2.257	1.962	1.783	1.679
t = 4 horas	120.000	2.502	2.161	1.912	1.791
t = 5 horas	134.164	2.593	2.244	2.069	1.879
t = 6 horas	146.969	2.685	2.364	2.136	1.961
t = 24 horas	293.939	3.759	3.450	2.870	2.687
t = 48 horas	415.692	4.291	4.014	3.260	3.011
t = 72 horas	509.117	4.838	4.528	3.566	3.346
t = 96 horas	587.878	5.150	4.873	3.778	3.525
t = 120 horas	657.267	5.220	4.955	3.861	3.591

Nota: Elaboración propia.

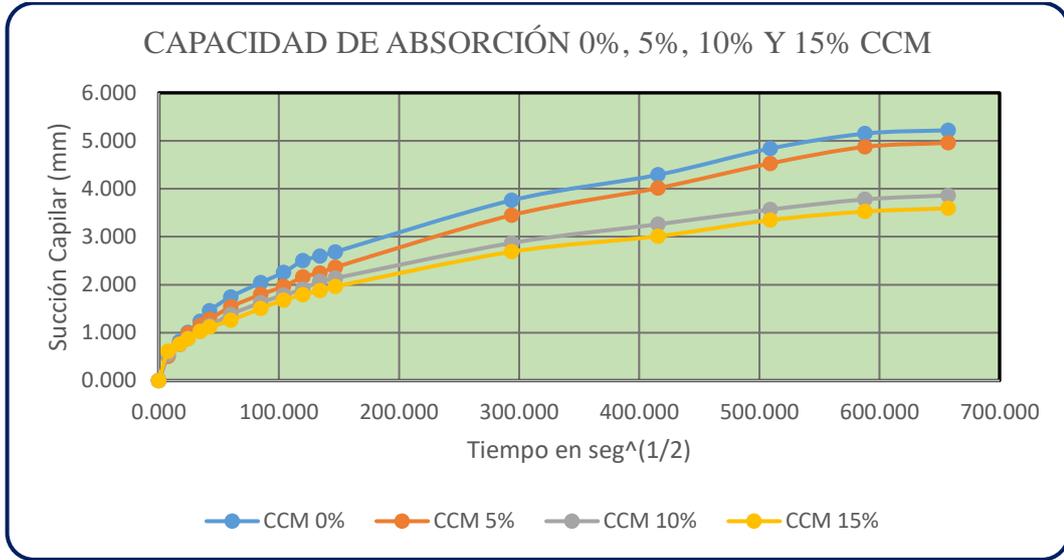


Figura 39

Gráfico de dispersión de Capacidad promedio de Absorción en concretos $f'c = 210$ kg/cm² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

La capacidad de succión capilar es el máximo valor de la absorción promedio de cada tipo de concreto adicionado en estudio.

Tabla 84

Capacidad de Succión capilar en concretos $f'c = 210$ kg/cm² con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Adición % CCM	Capacidad de succión capilar en mm del concreto $f'c = 210$ kg/cm ²
0%	5.220
5%	4.955
10%	3.861
15%	3.591

Nota: Elaboración propia.

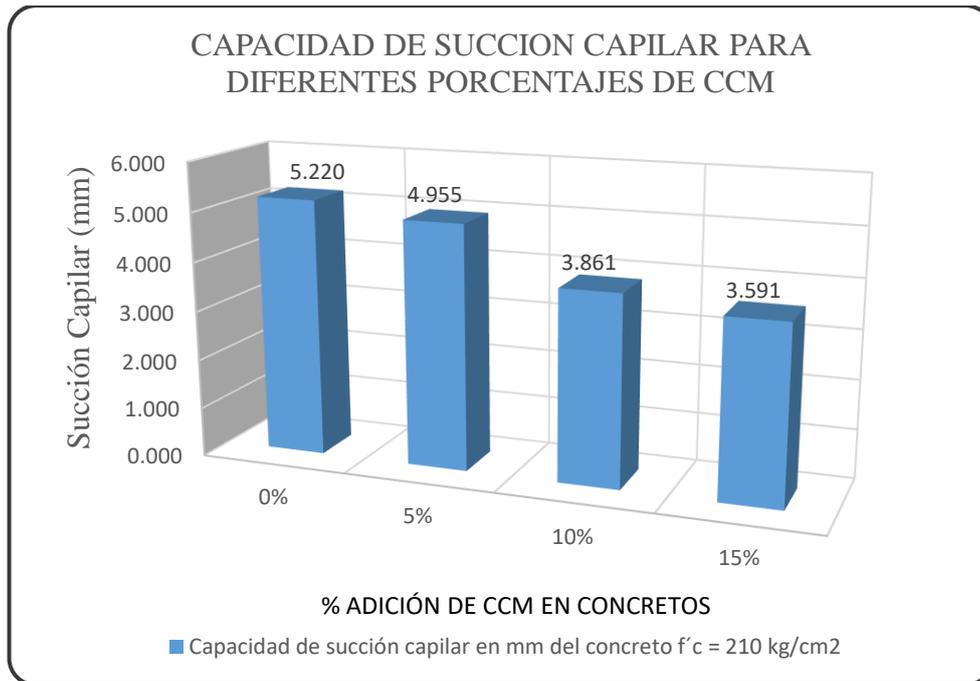


Figura 40

Histograma de capacidad de succión capilar en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

De la **Figura 40** se puede afirmar que la capacidad de succión del concreto adicionado con 5% de ceniza de carbón mineral de cocina disminuye en 5.07% respecto a la muestra patrón, para un 10% de adición se reduce un 26.04% y para un 15% de ceniza añadida decrece hasta un 31.21%. Por lo tanto, la capacidad de succión capilar merma considerablemente al adicionar en mayor porcentaje la ceniza de carbón en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Velocidad de Absorción

Está determinada por pendiente de la aproximación lineal de la recta de capacidad promedio de absorción. Esto se evidencia en la **Figura 41** y su resumen de valores calculados en la **Tabla 85**.

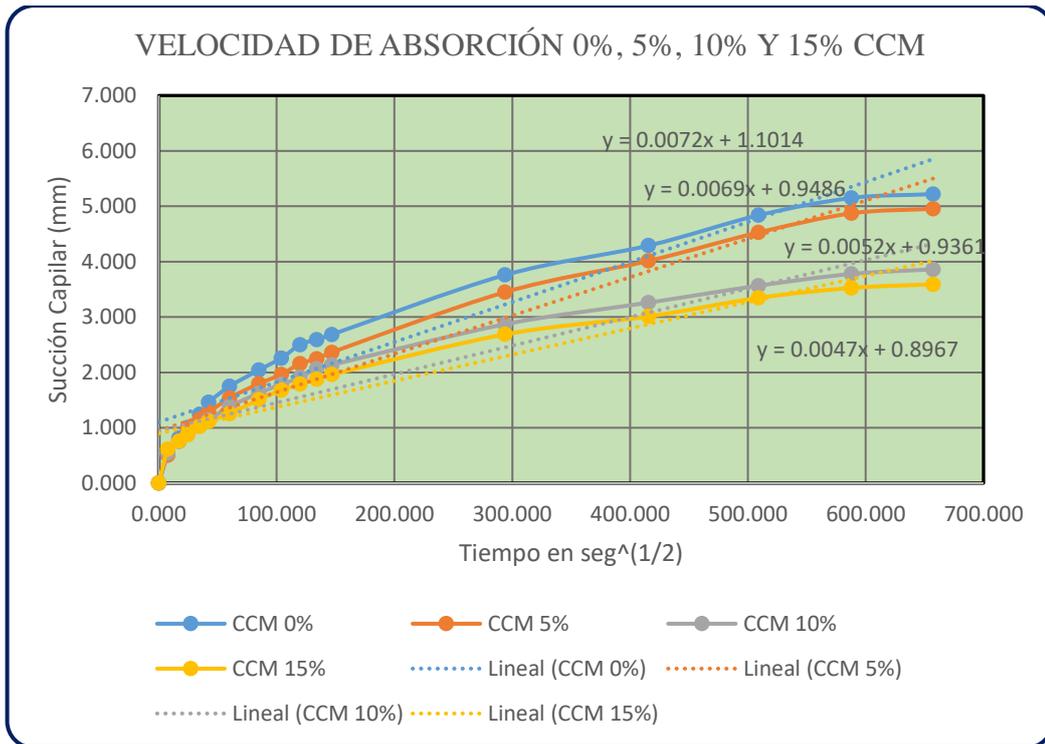


Figura 41

Velocidad de absorción por Aproximación lineal de concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

Tabla 85

Velocidad de Absorción en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Adición % CCM	Velocidad de Absorción $\text{mm} \cdot \text{s}^{(1/2)}$ del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
0%	0.0072
5%	0.0069
10%	0.0052
15%	0.0047

Nota: Elaboración propia.

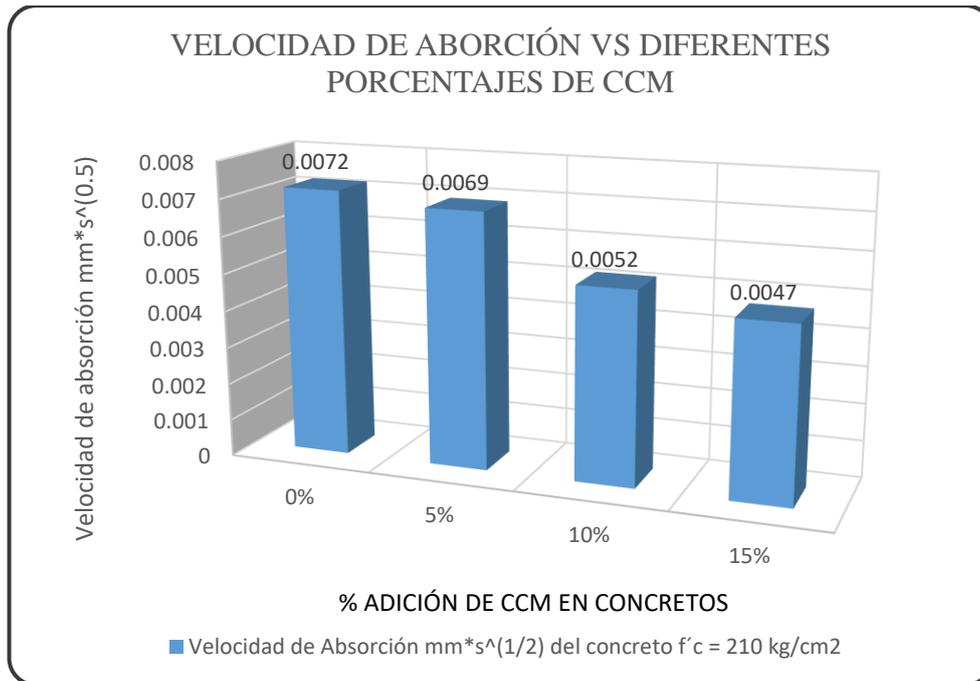


Figura 42

Histograma de Velocidad de Absorción en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

En la **Figura 42**, se observa que la velocidad de absorción disminuye en un 4.17% para el concreto adicionado con el 5% de CCM, en 27.78% para el 10% de CCM y en 34.72% para concretos con el 15% de adición de ceniza.

Velocidad de Absorción Inicial (V_i)

Consiste en la pendiente de la recta aproximada linealmente de los puntos de la capacidad de absorción en el rango de las 6 primeras horas del tiempo de ensayo. Las aproximaciones de las rectas se encuentran en el **Anexo 05**.

Tabla 86

Velocidad de Absorción Inicial en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Adición % CCM	Velocidad de Absorción Inicial $\text{mm} \cdot \text{s}^{1/2}$ del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
0%	0.0164
5%	0.0139
10%	0.0123
15%	0.0109

Nota: Elaboración propia.

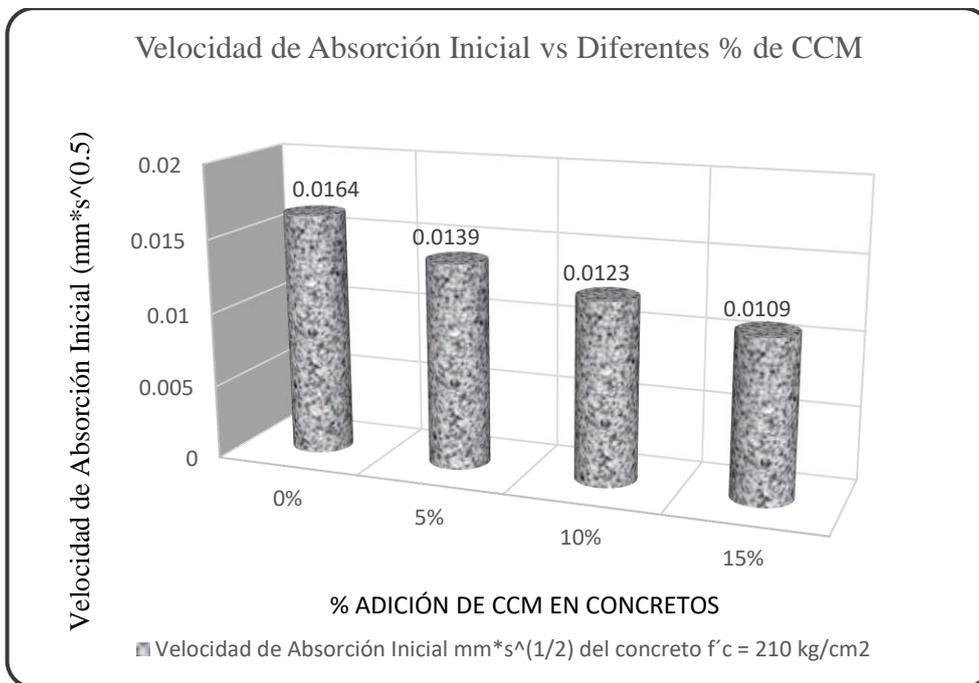


Figura 43

Histograma de Velocidad de Absorción Inicial en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

Se puede evidenciar en la figura que la velocidad de absorción inicial del concreto adicionado con el 5% de CCM disminuye en 15.24%, para un concreto con el 10% de ceniza disminuye en 25.0% y para el 15% de ceniza decrece notoriamente en 31.54% respecto a la muestra patrón (0%CCM).

Velocidad de Absorción Secundaria (Vs)

Es la pendiente de la recta aproximada linealmente de los puntos de la capacidad de absorción en el rango de 24 – 120 horas del tiempo de ensayo. Las aproximaciones de las rectas se encuentran en el **Anexo 05**.

Tabla 87

Velocidad de Absorción Secundaria en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Adición % CCM	Velocidad de Absorción Secundaria $\text{mm} \cdot \text{s}^{1/2}$ del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
0%	0.0043
5%	0.0044
10%	0.0026
15%	0.0028

Nota: Elaboración propia.

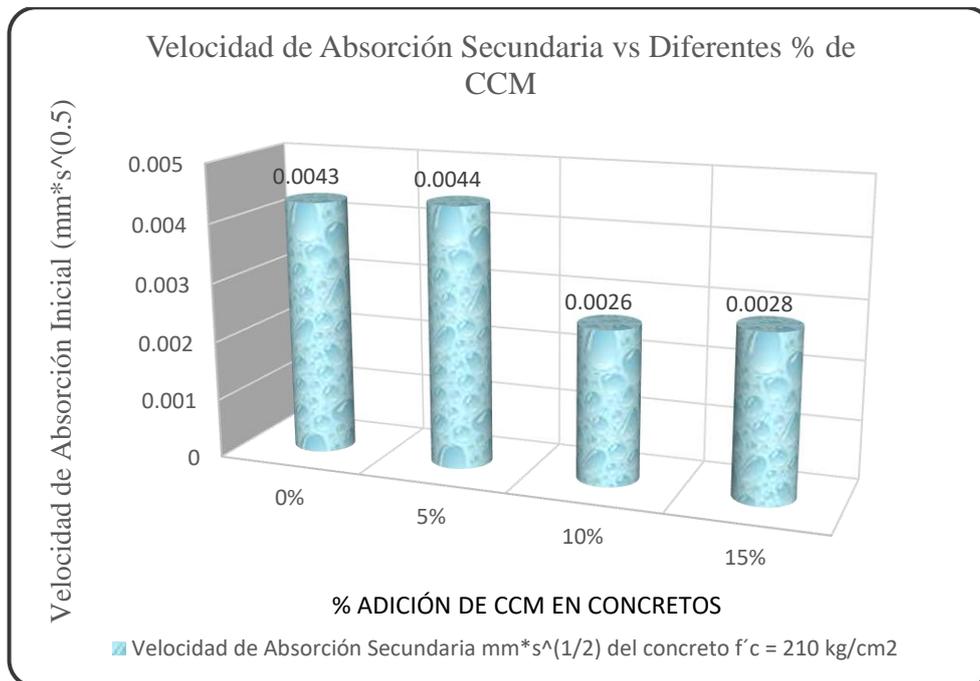


Figura 44

Histograma de Velocidad de Absorción Secundaria en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

Nota: Elaboración propia.

Se puede observar en la **Figura 44** que la velocidad de absorción secundaria del concreto adicionado con el 5% de CCM presenta un ligero incremento de 2.33%, mientras que para un concreto con el 10% de ceniza disminuye en 39.53% y para el 15% de ceniza decrece notoriamente en 34.88% respecto a la muestra patrón (0%CCM).

Entonces, se reafirma la idea de que, a mayor porcentaje de adición de las cenizas de carbón mineral de cocina, la velocidad de absorción general, inicial y secundaria se ven mermadas considerablemente. De esta forma contribuye a la mejora significativa de sus propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

4.11. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS CONCRETOS ÓPTIMOS

Se ha realizado una evaluación económica sobre los costos de insumos en las dosificaciones de los diseños finales de cada porcentaje y el optimizados para cada resistencia de concreto, es decir, el 11% de adición de cenizas de carbón mineral para el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y 10% de adición para un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Es importante mencionar que esta evaluación mide el beneficio de obtener una mayor resistencia a la compresión añadiendo cenizas de carbón mineral de cocina, sobre el costo total de una dosificación para cada tipo de concreto. Como se ha evidenciado, la resistencia a la compresión crece a medida que se incrementa el % de CCM hasta alcanzar el punto de inflexión (referido al porcentaje óptimo). Del mismo modo, el costo del concreto por metro cúbico se incrementa al utilizar más cantidades de cenizas.

La interpretación del factor de costo-beneficio radica en que al ser mayor que 1, la adición de las cenizas de carbón de cocina es rentable. A medida que crece este valor, la rentabilidad en el porcentaje de cenizas añadidas será mayor. Sin embargo, cuando

este factor es menor que 1, significa que existe una menor rentabilidad del concreto para dicha adición de cenizas.

El desagregado detallado del costo para cada porcentaje y tipo de concreto, se presenta en el **Anexo 07**, obteniéndose los siguientes resultados:

Para concretos Adicionados $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 88

Comparación de costo-beneficio en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con adiciones de CCM

Costo - Beneficio para concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$				
% de CCM		Costo	$f'c$ (kg/cm²)	Beneficio
0 % Adición	S/	262.18	178.81	1.00
5 % Adición	S/	265.45	194.3	1.07
10 % Adición	S/	268.71	212.64	1.16
11 % Adición	S/	275.83	213.02	1.13
15 % Adición	S/	271.98	210.24	1.13

Nota: Elaboración propia

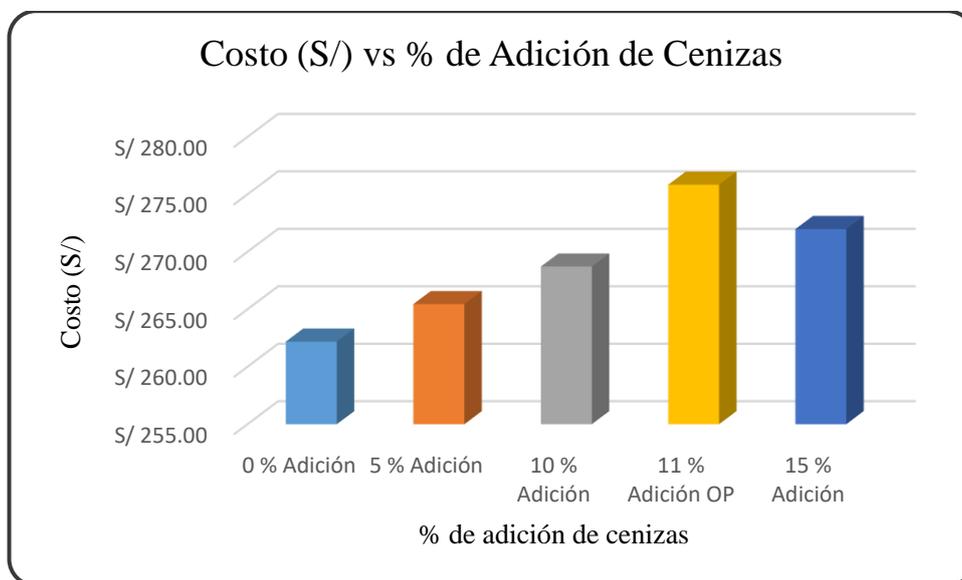


Figura 45

Histograma de comparación de costos para concretos adicionados $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

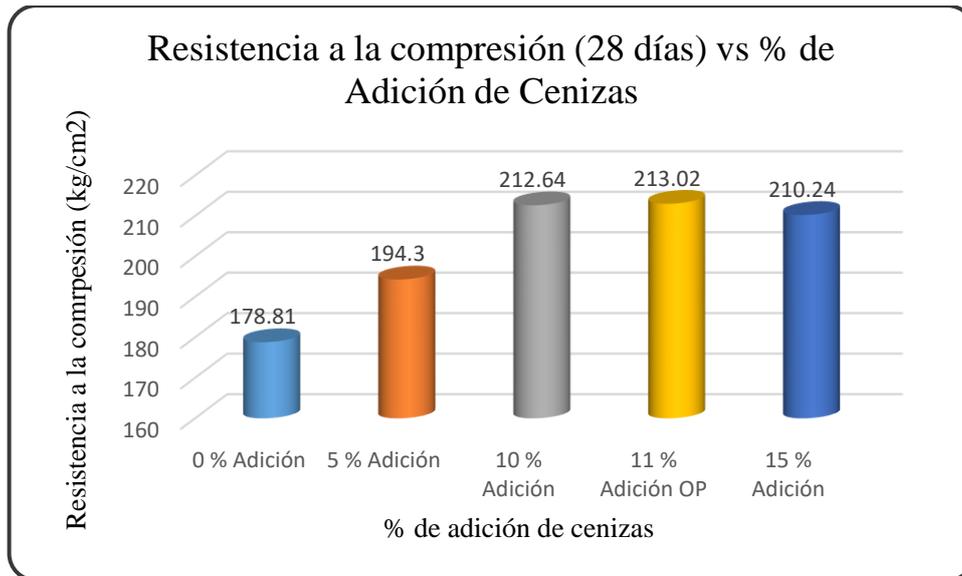


Figura 46

Histograma de comparación de Resistencias a la Compresión para concretos adicionados $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

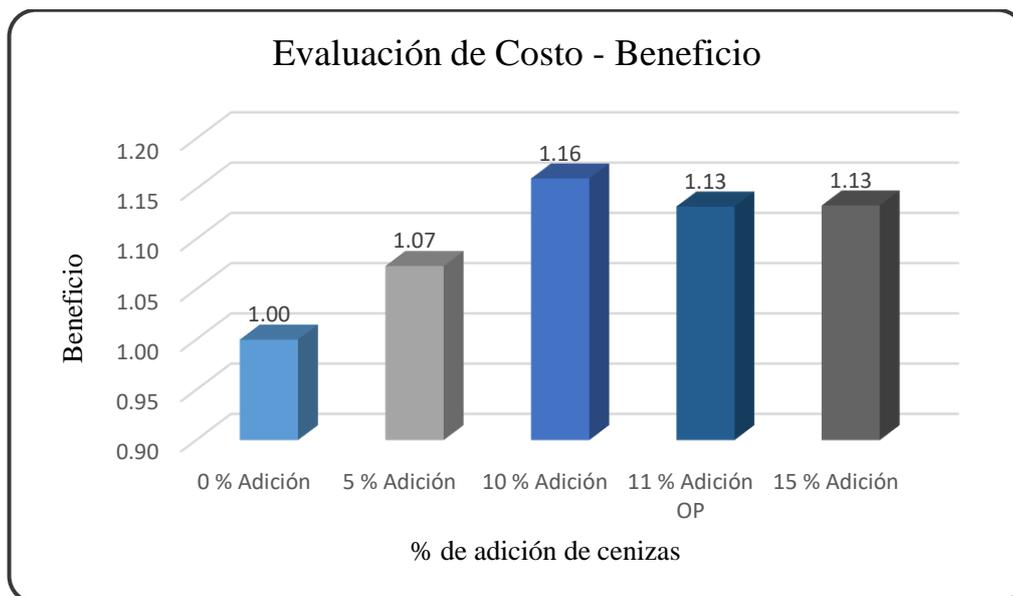


Figura 47

Histograma de evaluación Costo-Beneficio de las dosificaciones adicionadas del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a las **Figuras 45, 46 y 47**, se observa que:

- El costo del concreto por metro cúbico incrementa ligeramente a medida que se

aumenta el porcentaje de adición de cenizas de carbón mineral de cocina en la mezcla del concreto. (**Figura 45**)

- Las resistencias a la compresión del concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ mejora significativamente mientras el porcentaje añadido de cenizas de carbón es mayor, solo hasta el % óptimo, luego decrece. (**Figura 46**)
- La relación Costo-Beneficio crece directamente proporcional a la resistencia de compresión obtenida, así como, del porcentaje adicionado de cenizas únicamente hasta el 10%, ya que luego empieza a disminuir. Para el 11% óptimo de adición de ceniza, este factor es ligeramente menor al conseguido por el 10% de adición, puesto que la dosificación está corregida por Slump (trabajabilidad), haciendo que se incremente el cemento y por lo tanto el costo. Aun así, la rentabilidad es superior o igual a los demás porcentajes de adición alcanzando un valor de 1.13 (13% de rentabilidad), excepto para el 10% de ceniza con un 16% de rentabilidad, pero habiendo obtenido una menor resistencia a la compresión a los 28 días. (**Figura 47**)

Para concretos Adicionados $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 89

Comparación de costo-beneficio en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con adiciones de CCM

Costo - Beneficio para concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
% de CCM	Costo	$f'c$ (kg/cm²)	Beneficio
0 % Adición	S/ 297.44	234.6	1.00
5 % Adición	S/ 301.27	261.26	1.10
10 % Adición	S/ 305.11	276.43	1.15
10 % Adición OP	S/ 312.67	275.3	1.12
15 % Adición	S/ 308.94	263	1.08

Nota: Elaboración propia.

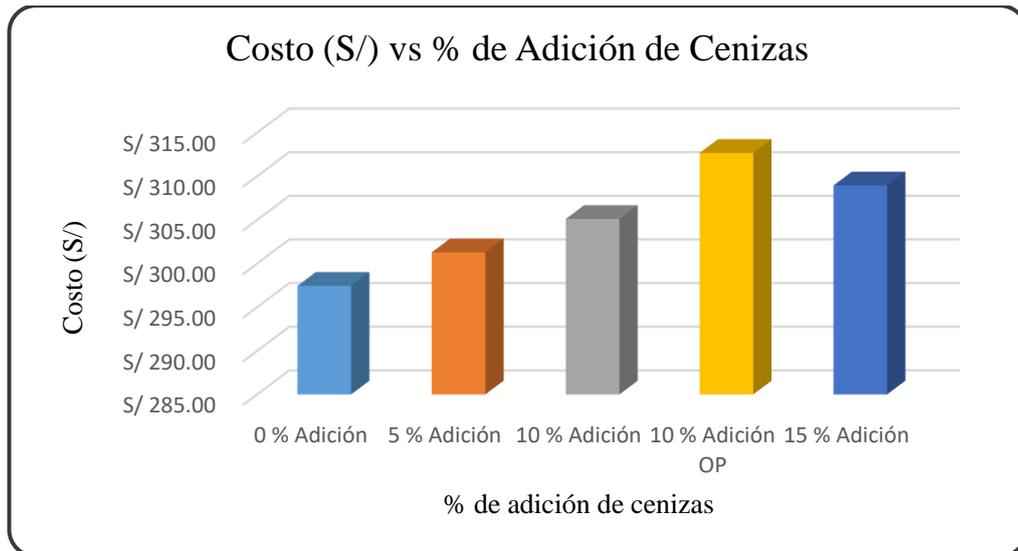


Figura 48

Histograma de comparación de costos para concretos adicionados $f'c = 210$ kg/cm²

Nota: Elaboración propia.

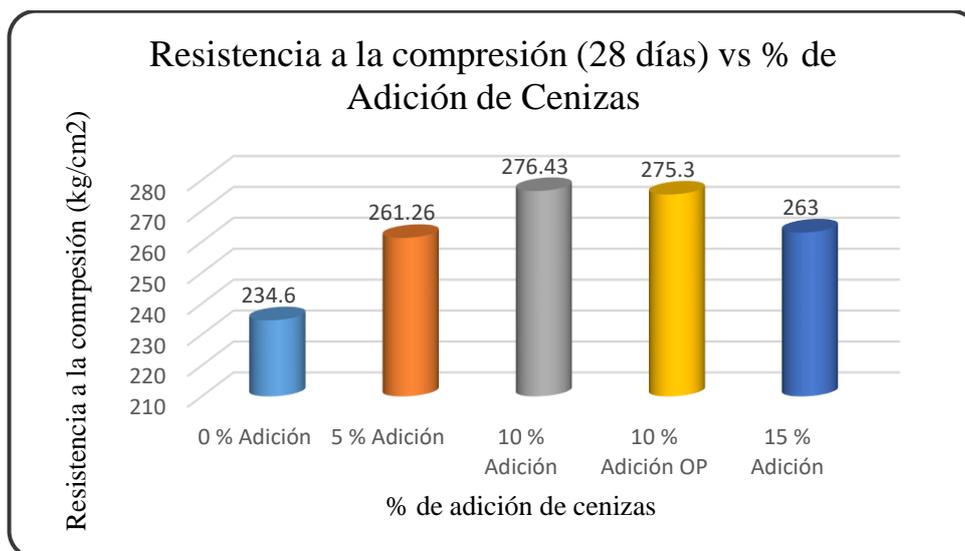


Figura 49

Histograma de comparación de Resistencias a la Compresión para concretos adicionados $f'c = 210$ kg/cm²

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a las **Figuras 48, 49 y 50**, se pueden hacer las siguientes afirmaciones:

- El costo del concreto por metro cúbico incrementa ligeramente a medida que se aumenta el porcentaje de adición de cenizas de carbón mineral de cocina en la

mezcla del concreto. (Figura 48)

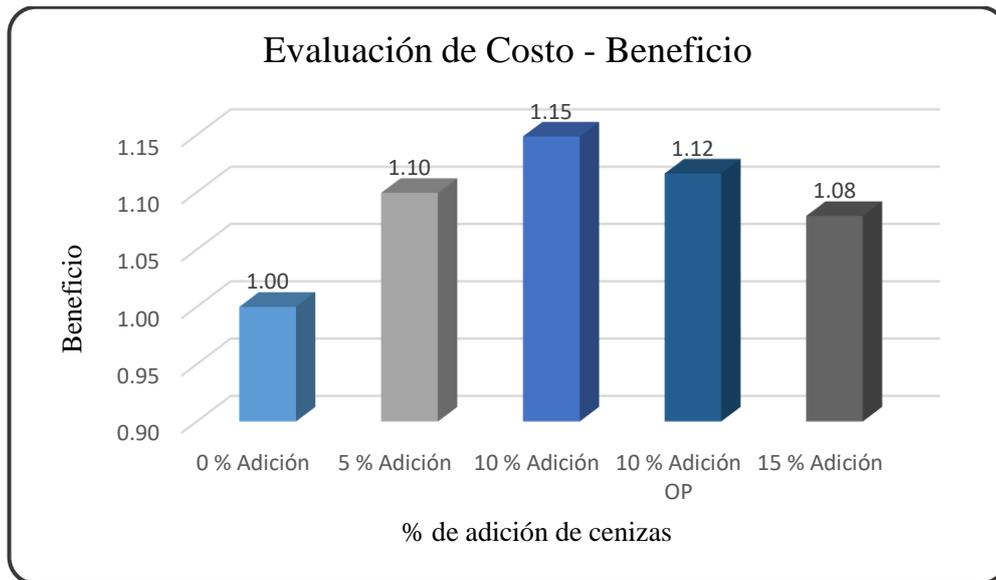


Figura 50

Histograma de evaluación Costo-Beneficio de las dosificaciones adicionadas del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia.

- Las resistencias a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mejoran significativamente mientras el porcentaje añadido de cenizas de carbón es mayor, solo hasta el % óptimo, luego decrece. (Figura 49)
- La relación Costo-Beneficio crece directamente proporcional a la resistencia de compresión obtenida, así como, del porcentaje adicionado de cenizas únicamente hasta el 10%, ya que luego empieza a disminuir. Para el 10% óptimo de adición de ceniza, este factor es ligeramente menor al conseguido por el 10% de adición normal, puesto que la dosificación está corregida por Slump (trabajabilidad), haciendo que se incremente el cemento y por lo tanto su costo. Aun así, la rentabilidad es superior o igual a los demás porcentajes de adición alcanzando un valor de 1.12 (12% de rentabilidad), excepto para el 10% de ceniza con un 15% de rentabilidad, pero sin haberse corregido el diseño de mezclas para una adecuada trabajabilidad en obra. (Figura 50)

4.12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Hipótesis de la Investigación

“Las cenizas de carbón mineral de cocina influirán de forma significativa en la resistencia a la compresión, temperatura, densidad, absorción y vacíos de concretos 175kg/cm^2 y $f'c=210\text{kg/cm}^2$, elaborados con agregados del río Llamacocha del distrito de Conchucos.”

La hipótesis planteada en la presente investigación fue aceptada y corroborada, puesto que, tras haberse conocido los resultados de las propiedades del concreto proyectadas, la adición de cenizas de carbón mineral de cocina influyó de forma significativa en lo siguiente:

En las propiedades del concreto en estado fresco

La temperatura en el concreto en estado fresco crece proporcionalmente conforme se añade un mayor porcentaje de cenizas de carbón hasta alcanzar el rango óptimo para cada adición y luego decrece. Para el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ patrón la temperatura fue de $21.77 \text{ }^\circ\text{C}$ y se alcanzó el rango óptimo (11 % CCM) con $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ por encima y para el concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ su temperatura fue de $21.9 \text{ }^\circ\text{C}$ y el punto de inflexión se da en $0.62 \text{ }^\circ\text{C}$ más que este valor en el concreto óptimo (10% de CCM). Entonces, en ambos porcentajes óptimos de CCM se alcanza el mayor calor de hidratación del cemento en interacción con todos los componentes de la mezcla, y sobre todo por la presencia considerable de sílice y aluminio de la composición química de las cenizas (dando origen a la actividad puzolánica).

La densidad del concreto en estado fresco disminuye a medida que se adiciona un mayor porcentaje de cenizas, principalmente se debe al cambio de masa por unidad de volumen de la tanda del concreto con la presencia del aditivo con características

livianas. Para el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ la densidad unitaria del concreto con el porcentaje óptimo de ceniza disminuye en 24.7 kg/m^3 respecto de la muestra patrón y para el concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ el peso unitario del concreto óptimo desciende en 33.1 kg/m^3 respecto de la muestra con 0% de CCM.

El porcentaje de vacíos se va abrogando de forma distributiva conforme la adición de cenizas de carbón incrementa. En este sentido, para el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ pasa de 1.81% de vacíos en la muestra patrón hasta el 0.31% obtenido en el concreto con el 15% de adición, y para el concreto con el porcentaje óptimo fue de 0.94% (0.4% superior al concreto normal con el mismo porcentaje de adición), debido a la corrección por una adecuada trabajabilidad de la mezcla. Para el concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ el mayor valor obtenido fue de 2.05% de vacíos y el menor de 0.28%, para adiciones del 0% y 15% de CCM respectivamente, y para el porcentaje óptimo se obtuvo 1.33% de aire presente en la mezcla.

En las propiedades del concreto endurecido

Las probetas elaboradas con adición de cenizas en los porcentajes de 5%, 10% y 15% lograron una resistencia a la compresión superior a la muestra patrón (0% de adición) en ambos tipos de concretos, evaluados a los 7 y 28 días. Asimismo, los testigos que contenían el porcentaje óptimo de cenizas (11% y 10%) a la edad de 28 días de curado alcanzaron un aumento en la resistencia a la compresión del 19.13% (34.21 kg/cm^2) y 17.35% (40.7 kg/cm^2), para los concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, respectivamente. Garantizando en estos diseños de mezclas óptimos una adecuada trabajabilidad con un slump de 2.9 y 3.0 pulgadas respectivamente, manteniendo la relación A/C de acuerdo a la resistencia de diseño.

La densidad seca y por inmersión del concreto es afectada de forma positiva en cuanto se incrementa la cantidad de ceniza. El mayor valor de la densidad seca se

obtuvo con el 15% de adición de ceniza en ambos tipos de concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con valores de 2.16 gr/cm^3 y 2.15 gr/cm^3 , respectivamente.

La relación entre la cantidad de cenizas adicionadas y el porcentaje de vacíos es inversamente proporcional, es decir, mientras la primera se incrementa la segunda merma. En tal sentido, el uso de este material en adición a la mezcla del concreto reduce significativamente la proporción de vacíos en el concreto.

La absorción del concreto en términos de porcentaje disminuye gradualmente conforme la cantidad de cenizas presentes en la mezcla del concreto sea mayor. En los concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ se obtuvo 9.66% de absorción por inmersión como el máximo valor (para la muestra patrón), mientras que el mínimo fue 8.5% y se obtuvo en la muestra con el 15% de adición de cenizas. Para los concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, la muestra patrón desarrolló un 9.54% de absorción por inmersión, y la muestra de concreto con el 15% de cenizas obtuvo un 8.43% de absorción, siendo el menor de todos. Finalmente, en ambos tipos de concreto, la capacidad de succión capilar, velocidad de absorción general, inicial y secundaria, se ven afectados favorablemente a medida que el porcentaje de cenizas de carbón mineral de cocina asciende.

En el costo/beneficio para la elaboración de un metro cúbico de concreto

Por último, se ha realizado una evaluación costo/beneficio de los concretos en ambas resistencias de diseño con distintas adiciones de cenizas, así como para los porcentajes óptimos de adición (11% y 10%). El concreto con el porcentaje óptimo de adición de CCM presenta una de las mayores rentabilidades obteniéndose coeficientes adimensionales de 1.13 y 1.12, para concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ respectivamente.

4.13. DISCUSIONES

- En la presente investigación se han elaborado dos diseños de mezclas (considerados como diseños patrón) para resistencias de diseño $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, como componente resaltante para la evaluación ha sido el agregado de río, que durante la preparación del concreto no ha presentado mayores inconvenientes, puesto que se ha garantizado una mezcla trabajable de consistencia plástica con un slump que bordeaba las 3 pulgadas, alcanzando a la edad de 28 días una resistencia a la compresión de 212.6 kg/cm^2 y 276.43 kg/cm^2 , respectivamente. En esa línea, este trabajo se relaciona con la tesis elaborada por **Sánchez y Chong (2019)** titulada: “Diseño de concreto 175 kg/cm^2 , 210 y 280 kg/cm^2 con agregado grueso del río Huallaga y agregado fino del río Sisa”, concluyen que, en la verificación de las resistencias de testigos mediante su rotura a los 28 días, se obtienen resultados por encima del 100% de la resistencia requerida. Esto, favorece a la teoría de que las características físicas y químicas de los agregados no afectan significativamente en la resistencia final.
- **(Mariluz y Ulloa, 2018)** en su tesis de pregrado titulada “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”, evaluaron la adición de cenizas volantes de carbón en porcentajes del 5%, 10% y 20% afirmando que al agregar el 10% de cenizas volantes de carbón, existe una probabilidad del 100% que las resistencias a la compresión sean mayores a la del diseño comprendidas entre 215 kg/cm^2 y 241 kg/cm^2 a la edad de 28 días. Así mismo, también evaluaron la absorción en términos de la velocidad y capacidad de succión concluyendo que a mayor adición de cenizas volantes en esos porcentajes

mencionados hace al concreto más impermeable y durable. Por lo tanto, se reafirma lo obtenido en este trabajo, respecto a que, mediante la adición de cenizas de carbón mineral de cocina se garantizan resultados de resistencia a la compresión del concreto superiores a los valores de diseño, tanto para concretos de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Del mismo modo, la absorción en términos de porcentaje, velocidad y capacidad de absorción, velocidad inicial y velocidad secundaria tienden a reducirse considerablemente a medida que el porcentaje agregado de cenizas aumente, haciendo que el concreto gane impermeabilidad, sea mucho más resistente y durable ante posibles agentes perjudiciales para el concreto.

- **(Sánchez, 2018)** en su tesis de pregrado titulada: “Determinación de las características físico-mecánicas de un concreto de alta resistencia de $f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$ con adición de ceniza volante”, concluye que al adicionar el 12% de ceniza volante tipo F en peso del cemento la resistencia a la compresión a los 28 días alcanza un 18.04% de aumento y que, la absorción para un curado de 7 días disminuye en 0.86%. esto comprueba los resultados obtenidos para este estudio, puesto que para los concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ existe un porcentaje de incremento en la resistencia a la compresión de 19.13% y 17.35% a la edad de 28 días, para cada concreto respectivamente. Además, la absorción para la edad de 28 días de concreto, disminuye en 13.4%.

Las razones expuestas, validan a la hipótesis planteada y realzan fehacientemente el beneficio de usar las cenizas de carbón mineral de cocina en concretos estándar mejorando sus propiedades y garantizando economía y durabilidad.

CAPÍTULO V:

**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de recopilar y procesar toda la información de los resultados, se llegaron a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

5.1. CONCLUSIONES

- Las cenizas de carbón mineral de cocina influyen significativamente mejorando las propiedades de los concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ elaborados con agregados del río Llamacocha. Por lo tanto, la hipótesis planteada ha sido validada.
- Se verificaron las características físicas y mecánicas del agregado de río, se observó que presentaban una forma de tipo redondeado y en su mayoría de color no uniforme; así mismo al ser separados en agregado fino y grueso (TMN de 3/4") se obtuvieron valores del peso específico de 2.58 gr/cm^3 y 2.61 gr/cm^3 , absorción de 2.5% y 1.11%, contenido de humedad de 1.63% y 0.59%, módulo de fineza de 2.93 y 6.79, respectivamente. Además, según el análisis de la composición química de las cenizas de cocina se obtuvo un 50.04% de silicio (36.45% SiO_2) y 32.94% de aluminio (51.72% Al_2O_3).
- Se han elaborado mezclas de concreto haciendo dos diseños de mezcla patrón por el método de Módulo de Fineza en combinación de agregados, para concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ utilizando agregado de río y adicionando cenizas de carbón mineral de cocina a la tanda en porcentajes de 5%, 10% y 15% del peso del cemento.
- Al realizar el análisis comparativo de la resistencia a la compresión para concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionados con cenizas de carbón mineral en 0%, 5%, 10% y 15% del peso del cemento se obtuvo que:

Las mayores resistencias a la compresión para la edad de **7 días** alcanzan un aumento de hasta **5.9%** (135.04 kg/cm^2) y **8.2%** (188.45 kg/cm^2); a la edad de **28 días** se logra

un incremento de **18.9%** (212.64 kg/cm^2) y **17.8%** (276.43 kg/cm^2) con adiciones del 10% de ceniza, en cada resistencia de diseño evaluada.

Para cada uno de los concretos en estudio se seleccionó el porcentaje óptimo quedando en el 11% y 10% de adición, y haciendo su análisis estadístico las resistencias a la compresión a la edad de 28 días subieron en **17.35%** (275.30 kg/cm^2) y **19.13%** (213.02 kg/cm^2), respetando la relación A/C del diseño inicial y garantizando un slump de 3”.

- Del análisis de los resultados de los ensayos de temperatura, densidad, absorción y vacíos del concreto convencional (sin adición) y el concreto adicionado se determinó lo siguiente:

A medida que se añade un mayor porcentaje de cenizas al concreto, se produce un ligero aumento de **temperatura** en la mezcla, solo hasta el punto de inflexión (rango óptimo), luego empieza a descender. Los concretos con los porcentajes óptimos de ceniza obtuvieron una ganancia de temperatura en 2.3% ($+0.5 \text{ }^\circ\text{C}$) y 2.8% ($+0.62 \text{ }^\circ\text{C}$), para concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, respectivamente. Entonces, se comprueba la actividad puzolánica de las cenizas aumentando ligeramente el calor de hidratación de la mezcla.

La **densidad** o peso unitario del concreto en estado **fresco** va decayendo ligeramente conforme el contenido de cenizas añadidas al concreto sea mayor. El valor conseguido con porcentaje óptimo de cenizas de carbón para el concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ fue de 2303.8 kg/m^3 (1.06% menor que la muestra patrón); y 2308.1 kg/m^3 (1.4% menor que la muestra patrón) para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ optimizado con el 10% de ceniza. Para el concreto **endurecido**, la **densidad seca** aumenta proporcionalmente al porcentaje de adición de cenizas. El mayor valor tomó lugar para una adición del 15% del aditivo en ambos concretos, y fueron de 2.16 gr/cm^3 y

2.15 gr/cm³, representando un aumento del 1.9% en los dos casos. De forma similar ocurre con las densidades por inmersión y hervido, pero la densidad aparente decrece.

La relación de la **absorción** por inmersión de los concretos a la edad de 28 días con porcentajes del 0%, 5%, 10% y 15% de ceniza es inversamente proporcional. Para una adición del 15% de ceniza se alcanzó valores de 8.5% y 8.43% de absorción, representando una disminución del 12% y 11.6% respecto a la muestra patrón, en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, respectivamente. Del mismo modo, la capacidad de absorción (succión capilar) y velocidad de absorción en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ pueden reducirse hasta el 37.53% y 41.98%, respectivamente; y para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, se reducen hasta el 31.21% y 34.72%. Esto garantiza un mejoramiento de la absorción del concreto impermeabilizándolo ante la exposición de agentes dañinos y contribuyendo a una mayor durabilidad.

El **porcentaje de vacíos** para los concretos en estado **fresco y endurecido**, se ve reducido en cuanto la cantidad de ceniza añadida a la mezcla sea mayor. Este parámetro está ligado intrínsecamente con la absorción, puesto que a menor porcentaje de vacíos existe menor capacidad de absorción, por lo tanto, impermeabiliza al concreto.

- Al realizar la evaluación económica del Costo/Beneficio de los insumos en los diseños de concreto, incluyendo los del porcentaje óptimo, se encontró que estos últimos, para concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ obtienen un coeficiente de 1.13 y 1.12, respectivamente. Es decir, aumenta el costo de producción en 5.21% (**S/ 13.65**) y 5.17% (**S/ 15.23**), pero se gana resistencia a la compresión en 19.13% y 17.35% en cada uno de los concretos de diseño, en ese orden de mención.

5.2. RECOMENDACIONES

- Incrementar y fomentar el uso de agregados de canteras de río en posteriores investigaciones para concretos de alta resistencia mediante adiciones de cenizas de carbón mineral de cocina.
- Evaluar la densidad del concreto fresco y endurecido para porcentajes de adición de cenizas de carbón mineral superiores, utilizando agregado procesado común (piedra chancada y arena gruesa).
- Utilizar el diseño de concreto y dosificación con el 11% de adición de ceniza en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ como sustitución de un diseño de mezcla normal para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Con ello, se economizaría el costo de insumos del concreto en 13.4% (ahorrando S/ 36.84 por metro cúbico de concreto).
- Estudiar el comportamiento de la durabilidad de un concreto estructural (embebido con acero), realizando distintos porcentajes de adiciones de cenizas de carbón mineral de cocina.
- Aplicar un mayor tiempo de exposición a temperaturas de hervido del agua a las muestras adicionadas con esta ceniza, para quitar la mayor cantidad de burbujas permeables del concreto, o emplear otros métodos más directos. (Tiempo mayor de 5 horas)
- Evaluar la influencia de las cenizas de carbón mineral adicionadas en los concretos para la resistencia a la flexión con carga puntual o distribuida.
- Realizar investigaciones acerca del comportamiento hidráulico de los agregados de río en las mezclas de concreto, puesto que las tablas (Presentados por la UNI) de dosificación de agua requerida por metro cúbico de concreto en estos agregados no son generalizados y con mayor razón sabiendo la variedad geológica de nuestro país.
- Investigar la resistencia a la fractura entre la pasta y el acero del concreto adicionado con cenizas.

CAPÍTULO VI:

**REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

6. CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

Ayala del Toro, Y., Delgado Almillá, H., Cuellar Pérez, V. & Salazar Rivera, A. (2019). Manual de ensayos para materiales. (Publicación técnica No. 551). México: Sanfandila. En coordinación con el Instituto Mexicano del Transporte. [Versión PDF].

Becerra Salas, M. (2012). Tópicos de pavimentos de concreto. Lima, Perú.

Cenizas volantes de carbón y cenizas de hogar o escorias (2011, 24 de diciembre). Consultado el 29 de junio del 2022, de <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/24/diciembre-2011/>

Castro, H. (2014). Influencia de la temperatura del agua en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, utilizando agregado del río Cajamarquino. [*Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional de Cajamarca]. Cajamarca-Perú.

Cueva, E. y Muñoz, C. (2016). Características del concreto en estado fresco y endurecido fabricado con agregado global de Río Canchan, Chilia – Pataz – La Libertad. [*Tesis de Pregrado*. Universidad Privada Antenor Orrego]. Trujillo-Perú.

Gonzales García, J. (2003). Las Mezclas de Concreto y sus Resultados en la Ciudad de Tarapoto utilizando el método del Agregado Global y Módulo de Finura. [*Tesis de pregrado*. Universidad Nacional de San Martín]. Tarapoto-Perú.

Jara, R. (s.f.) en su libro titulado “Conchucos destruido por el terremoto”.

Kosmatka, S. H., Kerkhof, B., Panarese, W. & Tanesi, J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. 1era Edición. Illinois, Estados Unidos: Portland Cement Association.

Heim, A. (1949). Observaciones Geológicas en la Región del Terremoto de Ancash en noviembre de 1946. Vol. Jubilar de la Sociedad Geológica del Perú, Fascículo 6, Lima

Mariluz Pajuelo, M. y Ulloa Ponce, J. (2018). 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. [*Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional del Santa]. Nuevo Chimbote-Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Reglamento Nacional De Edificaciones, CAPECO (2016). Lima-Perú.

Pasquel Carbajal, E. (1998). Tópicos de Tecnología del concreto. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú – Consejo Nacional.

Peña Urueña, M. (2011). Caracterización de cenizas de algunos carbones colombianos in situ por retrodispersión gamma-gamma. [*Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional de Colombia]. Bogotá-Colombia.

Portugal Barriga, P. (2007) Tecnología del concreto de alto desempeño (High performance concrete). 1era Edición: Paris-Francia.

Quiroz Crespo, M. y Salamanca Osuna, L. (2006). Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de “Tecnología del Hormigón”. [*Trabajo dirigido* Universidad Mayor de San Simón]. Cochabamba-Bolivia.

Ríos Vilca, N. y Neyra Vásquez, A. (2020). Influencia de las cenizas de carbón mineral en las propiedades de una subrasante arcillosa en Huamachuco, La Libertad. [*Tesis de Pregrado*. UCV]. Lima – Perú.

Rivva López, E. (2000). Naturaleza y Materiales del Concreto. Capítulo Peruano ACI.

Rivva López, E. (2015). Tecnología del concreto. Diseño de mezclas. (3 ed.) Lima: Imprenta Williams

Roa Parra, O. (2016). Las Mezclas de Concreto Hidráulico con Aditivos Inclusores de Aire “Cenizas Volantes” [*Tesis de pregrado*, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5069/RoaParraOscarAdolfo2016.pdf?sequence=1>

Rochel Awad, R. (1998). Hormigón Reforzado (Primera Parte). Bogotá – Colombia.

- Sánchez, V. (2018). Determinación de las características físico-mecánicas de un concreto de alta resistencia de $f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$ con adición de ceniza volante. [Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Cajamarca]. Cajamarca-Perú.
- Sánchez García, R. y Chong Pinedo, E. (2019). Diseño de concreto 175 kg/cm^2 , 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 , con agregado grueso del río Huallaga y agregado fino del río Sisa. [Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de San Martín]. Tarapoto.
- Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación. 6ta Edición. McGraw Hill: México.
- Torres Ríos, K. (2017). Evaluación de la influencia en la resistencia del concreto $f'c=140 \text{ kg/cm}^2$, $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ usando agregado de río o agregado de cerro en Cajamarca. [Tesis de Pregrado. Universidad Privada del Norte]. Cajamarca – Perú.
- Vera Huamanchumo, J. y Zambrano Causho, W. (2013). Uso de las cenizas activadas del carbón proveniente de los calderos industriales, como sustituto parcial de cemento, para fabricar morteros de cemento. [Tesis de Pregrado. UNT]. Trujillo – Perú.

CAPÍTULO VII:

ANEXOS

7. CAPÍTULO VII: ANEXOS

7.1. ANEXO N° 01: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO



Cemento Portland compuesto tipo ICo. Requisitos Normalizados

NTP 334.090 / Resultado promedio de nuestros productos.

Propiedades Químicas

QUÍMICOS	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO DE ENSAYOS
MgO (%)	6.0 máx.	2.2
SO ₃ (%)	4.0 máx.	2.3

Propiedades Físicas

REQUISITOS	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO DE ENSAYOS
Contenido de aire del mortero (Volumen %)	12 máx.	5
Superficie específica (cm ² /g)	A	5920
Retenido M325 (%)	A	1.7
Expansión en autoclave (%)	0.80 máx.	0.07
Contracción en autoclave (%)	0.20 máx.	0.00
Densidad (g/mL)	A	2.96
Resistencia a la compresión min. (MPa)		
1 día	A	9.8
3 días	13.0	22.1
7 días	20.0	29.7
28 días	25.0	37.9
Tiempo de Fraguado, minutos, Vicat		
Inicial, no menor que:	45	123
Final, no mayor que:	420	252

A No específica.

VENTAJAS



Presentaciones: Bolsas de 42.5 kg, granel y big bag de 1TM.



Fecha y hora de envasado garantiza máxima frescura.

Certificamos que el cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.090.2016.

Pacasmayo

7.2. ANEXO N° 02: ENSAYOS DE LOS AGREGADOS
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

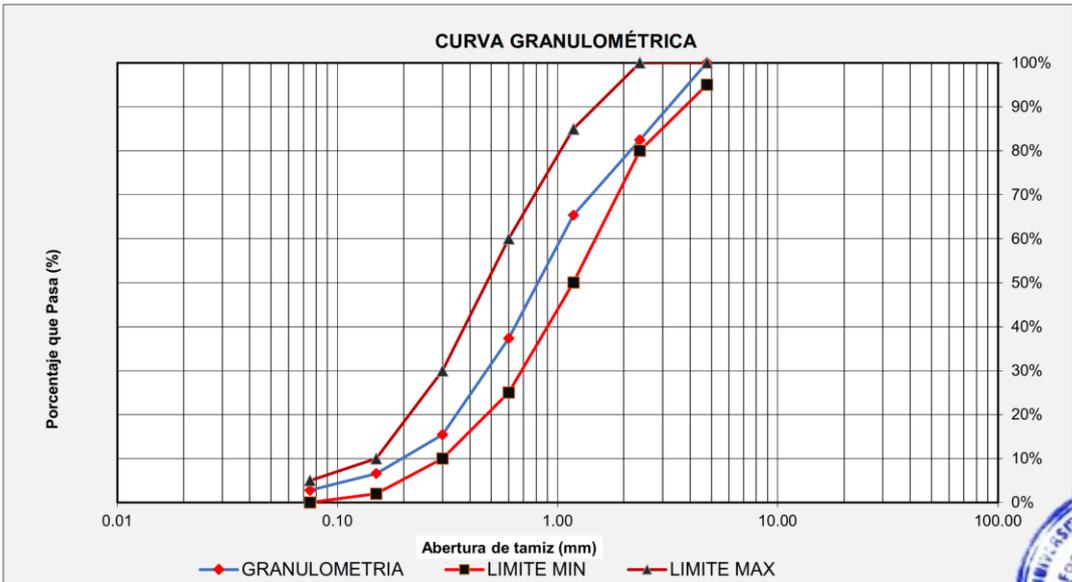
TESIS	: " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCOA – CONCHUCOS 2021"					
TESISTAS	Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER		ASESOR	: Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN		
	Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS					
LUGAR	: LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS		CANTERA	: LLAMACOCOA - CONCHUCOS - PALLASCA - ANCASH		
MUESTRA	: ARENA GRUESA		FECHA	: 01/06/22		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO (NTP 400.012 / ASTM C-136 / MTC E - 204)

Peso inicial de la muestra: 1000.0 gr Peso final del tamizado: 998.0 gr

TAMIZ		PESO TARA	PESO TARA + MUESTRA	PESO RETENIDO*	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
N°	ABERT. (mm)	(gr) (1)	(gr) (2)	(gr) (2-1)			
N° 4	4.760	452.000	452.000	0.000	0.000%	0.000%	100.000%
N° 8	2.360	422.000	597.351	175.351	17.535%	17.535%	82.465%
N°16	1.180	345.000	516.343	171.343	17.134%	34.669%	65.331%
N° 30	0.600	367.000	646.559	279.559	27.956%	62.625%	37.375%
N° 50	0.300	378.000	597.439	219.439	21.944%	84.569%	15.431%
N° 100	0.150	320.000	408.176	88.176	8.818%	93.387%	6.613%
N° 200	0.075	319.000	357.076	38.076	3.808%	97.194%	2.806%
PLATO		484.000	512.056	28.056	2.806%	100.000%	0.000%
TOTAL			4266.000	1000.000	100.000%		

MODULO DE FINEZA = 2.93



* Los pesos retenidos en los tamices se encuentran corregidos, es decir, compensados.



TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS

CANTERA : LLAMACOCCHA - CONCHUCOS - PALLASCA - ANCASH

MUESTRA : PIEDRA DE RIO - TMN 3/4"

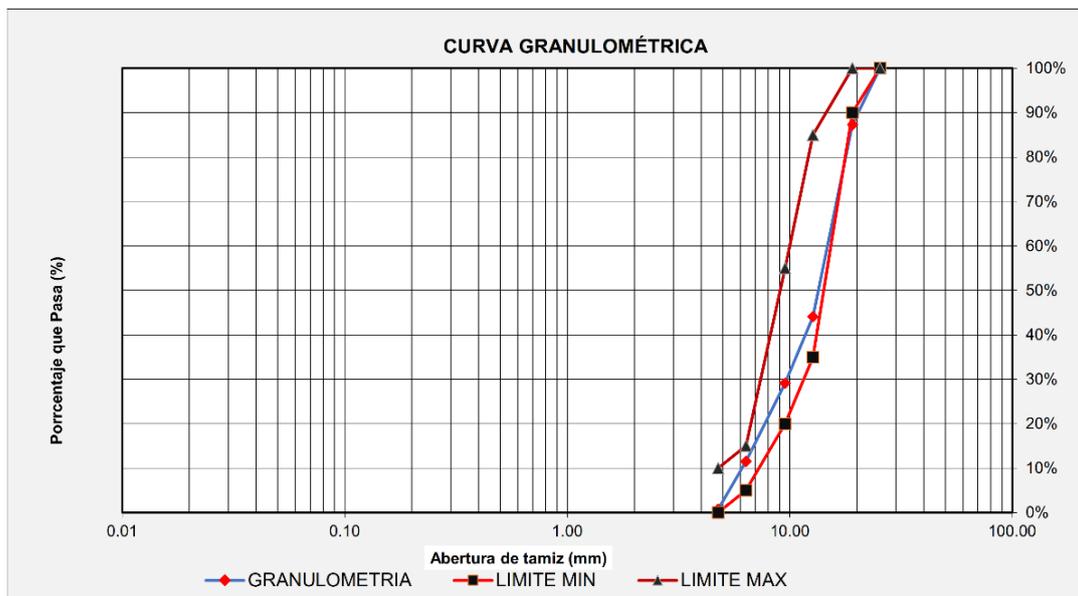
FECHA : 31/05/22

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO (NTP 400.012 / ASTM C-136 / MTC E - 204)

Peso inicial de la muestra: 1250.0 gr Peso final del tamizado: 1248.0 gr

TAMIZ		PESO TARA	PESO TARA + MUESTRA	PESO RETENIDO*	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
N°	ABERT. (mm)	(gr) (1)	(gr) (2)	(gr) (2-1)			
1 pulg	25.400	769.000	769.000	0.000	0.000%	0.000%	100.000%
3/4 pulg	19.100	485.000	644.255	159.255	12.740%	12.740%	87.260%
1/2 pulg	12.700	527.000	1066.864	539.864	43.189%	55.929%	44.071%
3/8 pulg	9.520	792.000	979.300	187.300	14.984%	70.913%	29.087%
1/4 pulg	6.350	477.000	696.351	219.351	17.548%	88.462%	11.538%
N° 4	4.760	710.000	845.216	135.216	10.817%	99.279%	0.721%
PLATO		484.000	493.014	9.014	0.721%	100.000%	0.000%
TOTAL			4266.000	1250.000	100.000%		

MODULO DE FINEZA = 6.793



* Los pesos retenidos en los tamices se encuentran corregidos, es decir, compensados. Huso de límites 67.



CONTENIDO DE HUMEDAD



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

TESIS	: " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"		
TESISTAS	Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS	ASESOR	: Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
LUGAR	: LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS	CANTERA	: LLAMACOCCHA - CONCHUCOS - PALLASCA - ANCASH
MUESTRA	: PIEDRA REDONDEADA 3/4" Y ARENA GRUESA	FECHA	: 18/05/22 - 19/05/22

CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS (NTP 339.185 / ASTM C-566 / MTC E - 215)

Peso inicial de la muestra cuarteada: 1.50 Kg

Fórmula:

Contenido de Humedad de Agregado Grueso			
Ensayo N°	1 (gr)	2 (gr)	3 (gr)
Peso de tara	41.760	63.330	69.520
Peso de muestra humeda + tara	230.390	285.750	269.340
Peso muestra seca + tara	229.320	284.550	268.010
Peso de agua	1.070	1.200	1.330
Peso de muestra seca	187.560	221.220	198.490
Porcentaje de humedad	0.570%	0.542%	0.670%

$$w = \frac{W_{humedo} - W_{seco}}{W_{seco}} * 100$$

Contenido de humedad Promedio: 0.59%

Peso inicial de la muestra cuarteada: 1.25 Kg

Contenido de Humedad de Agregado Fino			
Ensayo N°	1 (gr)	2 (gr)	3 (gr)
Peso de tara	41.790	63.320	71.260
Peso de muestra humeda + tara	283.130	283.350	287.270
Peso muestra seca + tara	279.390	279.820	283.680
Peso de agua	3.740	3.530	3.590
Peso de muestra seca	237.600	216.500	212.420
Porcentaje de humedad	1.574%	1.630%	1.690%

Contenido de humedad Promedio: 1.63%



PESO UNITARIO



UNS
 UNIVERSIDAD
 NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"			
TESISTAS	Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS	ASESOR	: Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
LUGAR	: LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS	CANTERA	: LLAMACOCCHA - CONCHUCOS - PALLASCA - ANCASH
MUESTRA	: ARENA GRUESA	FECHA	: 26/05/22

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO (NTP 400.017 / ASTM C-29 / MTC E - 203)

Peso inicial de la muestra cuarteada:	18.45 Kg																																
Fórmula:	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">DATOS DEL MOLDE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">Largo</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">16.65 cm</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Ancho</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">16.55 cm</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Alto</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">26.95 cm</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Volumen</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">7426.27 cm³</td> </tr> </tbody> </table>	DATOS DEL MOLDE		Largo	16.65 cm	Ancho	16.55 cm	Alto	26.95 cm	Volumen	7426.27 cm ³																						
DATOS DEL MOLDE																																	
Largo	16.65 cm																																
Ancho	16.55 cm																																
Alto	26.95 cm																																
Volumen	7426.27 cm ³																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center; background-color: #d3d3d3;">PESO UNITARIO SUELTO</th> </tr> <tr> <th style="width: 35%;">Ensayo N°</th> <th style="width: 15%;">1 (gr)</th> <th style="width: 15%;">2 (gr)</th> <th style="width: 15%;">3 (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de tara</td> <td style="text-align: center;">1946.00</td> <td style="text-align: center;">1946.00</td> <td style="text-align: center;">1946.00</td> </tr> <tr> <td>Peso de muestra suelta + tara</td> <td style="text-align: center;">13414.00</td> <td style="text-align: center;">13387.00</td> <td style="text-align: center;">13356.00</td> </tr> <tr> <td>Peso muestra suelta</td> <td style="text-align: center;">11468.00</td> <td style="text-align: center;">11441.00</td> <td style="text-align: center;">11410.00</td> </tr> <tr> <td>Volumen del molde</td> <td style="text-align: center;">7426.275</td> <td style="text-align: center;">7426.275</td> <td style="text-align: center;">7426.275</td> </tr> <tr> <td>Peso unitario suelto</td> <td style="text-align: center;">1.544</td> <td style="text-align: center;">1.541</td> <td style="text-align: center;">1.536</td> </tr> <tr> <td>Peso unitario suelto promedio</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1.540</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		PESO UNITARIO SUELTO				Ensayo N°	1 (gr)	2 (gr)	3 (gr)	Peso de tara	1946.00	1946.00	1946.00	Peso de muestra suelta + tara	13414.00	13387.00	13356.00	Peso muestra suelta	11468.00	11441.00	11410.00	Volumen del molde	7426.275	7426.275	7426.275	Peso unitario suelto	1.544	1.541	1.536	Peso unitario suelto promedio		1.540	
PESO UNITARIO SUELTO																																	
Ensayo N°	1 (gr)	2 (gr)	3 (gr)																														
Peso de tara	1946.00	1946.00	1946.00																														
Peso de muestra suelta + tara	13414.00	13387.00	13356.00																														
Peso muestra suelta	11468.00	11441.00	11410.00																														
Volumen del molde	7426.275	7426.275	7426.275																														
Peso unitario suelto	1.544	1.541	1.536																														
Peso unitario suelto promedio		1.540																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center; background-color: #d3d3d3;">PESO UNITARIO COMPACTADO</th> </tr> <tr> <th style="width: 35%;">Ensayo N°</th> <th style="width: 15%;">1 (gr)</th> <th style="width: 15%;">2 (gr)</th> <th style="width: 15%;">3 (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso de tara</td> <td style="text-align: center;">1946.00</td> <td style="text-align: center;">1946.00</td> <td style="text-align: center;">1946.00</td> </tr> <tr> <td>Peso de muestra compactada + tara</td> <td style="text-align: center;">14384.00</td> <td style="text-align: center;">14346.00</td> <td style="text-align: center;">14327.00</td> </tr> <tr> <td>Peso muestra compactada</td> <td style="text-align: center;">12438.00</td> <td style="text-align: center;">12400.00</td> <td style="text-align: center;">12381.00</td> </tr> <tr> <td>Volumen del molde</td> <td style="text-align: center;">7426.275</td> <td style="text-align: center;">7426.275</td> <td style="text-align: center;">7426.275</td> </tr> <tr> <td>Peso unitario compactado</td> <td style="text-align: center;">1.675</td> <td style="text-align: center;">1.670</td> <td style="text-align: center;">1.667</td> </tr> <tr> <td>Peso unitario compactado promedio</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1.671</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		PESO UNITARIO COMPACTADO				Ensayo N°	1 (gr)	2 (gr)	3 (gr)	Peso de tara	1946.00	1946.00	1946.00	Peso de muestra compactada + tara	14384.00	14346.00	14327.00	Peso muestra compactada	12438.00	12400.00	12381.00	Volumen del molde	7426.275	7426.275	7426.275	Peso unitario compactado	1.675	1.670	1.667	Peso unitario compactado promedio		1.671	
PESO UNITARIO COMPACTADO																																	
Ensayo N°	1 (gr)	2 (gr)	3 (gr)																														
Peso de tara	1946.00	1946.00	1946.00																														
Peso de muestra compactada + tara	14384.00	14346.00	14327.00																														
Peso muestra compactada	12438.00	12400.00	12381.00																														
Volumen del molde	7426.275	7426.275	7426.275																														
Peso unitario compactado	1.675	1.670	1.667																														
Peso unitario compactado promedio		1.671																															





TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACocha – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS

CANTERA : LLAMACocha - CONCHUCOS - PALLASCA - ANCASH

MUESTRA : PIEDRA REDONDEADA TMN 3/4"

FECHA : 20/05/22

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.017 / ASTM C-29 / MTC E - 203)

Peso inicial de la muestra cuarteada: 21.31 Kg

Fórmula:

DATOS DEL MOLDE	
Largo	16.65 cm
Ancho	16.55 cm
Alto	26.95 cm
Volumen	7426.27 cm ³

PESO UNITARIO SUELTO			
Ensayo N°	1 (gr)	2 (gr)	3 (gr)
Peso de tara	1946.000	1946.000	1946.000
Peso de muestra suelta + tara	13586.000	13536.000	13613.000
Peso muestra suelta	11640.000	11590.000	11667.000
Volumen del molde	7426.275	7426.275	7426.275
Peso unitario suelto	1.567	1.561	1.571
Peso unitario suelto promedio		1.566	

PESO UNITARIO COMPACTADO			
Ensayo N°	1 (gr)	2 (gr)	3 (gr)
Peso de tara	1946.000	1946.000	1946.000
Peso de muestra compactada + tara	14439.000	14551.000	14506.000
Peso muestra compactada	12493.000	12605.000	12560.000
Volumen del molde	7426.275	7426.275	7426.275
Peso unitario compactado	1.682	1.697	1.691
Peso unitario compactado promedio		1.690	



PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN


UNS
 UNIVERSIDAD
 NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS
 ESTANDAR

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER **ASESOR** : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
 Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UI **CANTERA** : LLAMACOCCHA - CONCHUCOS - PALLASCA - ANCASH

MUESTRA : ARENA GRUESA **FECHA** : 25/05/22 al 27/05/2022

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (NTP 400.022 / ASTM C-128 / MTC E - 205)

Peso inicial de la muestra cuarteada: 1.45 Kg

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN	
Descripción	1
S = Peso de muestra superficialmente seca	500.00 gr
A = Peso de muestra seca	487.79 gr
B = Peso de picnómetro + agua	670.95 gr
C = Peso de Picnómetro + agua + suelo	981.59 gr
Capacidad de picnómetro	500.00 cm ³
Peso específico de masa (Pem = [A / (B + S - C)])	2.58 gr/cm ³
Peso específico de masa saturada (PeSSS = [B / (B + S - C)])	2.64 gr/cm ³
Peso específico aparente (Pea = [A / (B + A - C)])	2.75 gr/cm ³
Absorción (Ab (%)) = [(S - A) / A] x100)	2.50 %





UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCHA – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS

CANTERA : LLAMACOCHA - CONCHUCOS - PALLASCA - ANCASH

MUESTRA : PIEDRA REDONDEADA TMN 3/4"

FECHA : 26/05/22 al 27/05/2022

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.021 / ASTM C-127 / MTC E - 206)

Peso inicial de la muestra cuarteada: 4.20 Kg

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN	
Descripción	1
Peso de tara para muestra al horno (a)	69.45 gr
Peso de tara + muestra saturada con superficie seca (b)	569.67 gr
Peso de canastilla (c)	1002.00 gr
Peso de canastilla sumergida (d)	877.10 gr
Peso de canastilla sumergida + muestra saturada sumergida (e)	1188.10 gr
Peso muestra seca + tara (f)	564.19 gr
A = Peso de la muestra seca en el aire (f - a)	494.74 gr
B = Peso de muestra saturada superficialmente seca en el aire (b-a)	500.22 gr
C = Peso en el agua de la muestra saturada (e-d)	311.00 gr
Peso específico de masa (Pem = [A / (B - C)]x100)	2.61 gr/cm ³
Peso específico de masa saturada (PeSSS = [B / (B - C)]x100)	2.64 gr/cm ³
Peso específico aparente (Pea = [A / (A - C)]x100)	2.69 gr/cm ³
Absorción (Ab (%)) = [(B - A) / A] x100	1.11%



7.3. ANEXO N° 03: DISEÑOS DE MEZCLA
PARA CONCRETO $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

UNS
 UNIVERSIDAD
 NACIONAL DEL SANTA
 CHIMBOTE - PERU

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**
TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"
TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER **ASESOR** : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
 Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS **CANTERA** : LLAMACOCCHA - CONCHUCOS - PALLASCA

MUESTRA : DISEÑO DE MEZCLA $f'c=210\text{KG/CM}^2$ **FECHA** : 01/06/22

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PATRÓN $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ - MÓDULO DE FINEZA
PARÁMETROS TÉCNICOS DE LOS AGREGADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

Descripción	Arena Gruesa		Piedra Redondeada	
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	pulg
Peso Específico	2.58	gr/cm ³	2.61	gr/cm ³
Absorción	2.5	%	1.11	%
Contenido de Humedad	1.63	%	0.59	%
Módulo de Fineza	2.93		6.79	
Peso Unitario Suelto	1540	Kg/m ³	1570	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1671	Kg/m ³	1690	Kg/m ³

DATOS TÉCNICOS ELEGIDOS PARA / POR EL MÉTODO DE DISEÑO

Descripción	Dato	Descripción	Dato
-Resistencia especificada $f'c$	210 kg/cm ²	-Volumen Unitario de Agua	205.0 Lt/m ³
-Resistencia requerida $f'cr = f'c+84$	294 kg/cm ²	-Relación A/C de diseño	0.56
-Asentamiento	3" - 4"	-Factor cemento	367.1 kg/m ³
-Cemento Portland Compuesto	Tipo Ico	- Volumen de Agregados	0.651
-Peso específico	2960 kg/m ³	- M.F. de la combinación de agregados	5.16
-TMN del agregado grueso	3/4"	- Porcentaje de agregado fino	42.20%
-Contenido de Aire	2 %	- Porcentaje de agregado grueso	57.80%

Dosificación de Materiales para el Concreto

Descripción	Volumen Abs. (m ³)	Pesos secos (kg/m ³)	C. por humedad (kg/m ³)	Dosificación en peso**	C.por Slump (kg/m ³)	Dosificación en peso*
Cemento	0.124	367.12	367.120	1	383.57	1
Agregado fino	0.275	708.77	720.319	1.96	696.84	1.82
Agregado Grueso	0.376	982.03	987.825	2.69	987.99	2.58
Agua	0.205	205 Lts	216.273	0.589	225.87	0.589
Aire	0.02			25.04Lt/bls		25.03Lt/bls
Total	1	2262.92	2291.54		2294.27	

****Slump inicial obtenido:** 3.00 cm = 1.18 pulg ***Nuevo Slump obtenido:** 7.70 cm = 3.03 pulg



UNS
 UNIVERSIDAD
 NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**
TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"
TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER **ASESOR** : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
 Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS **CANTERA** : LLAMACOCCHA - CONCHUCOS - PALLASCA

MUESTRA : DISEÑO DE MEZCLA F'C=210Kg/cm² + 5% CCM **FECHA** : 16/06/22

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PATRÓN F'C = 210 Kg/cm² + 5% CCM - MÓDULO DE FINEZA
PARÁMETROS TÉCNICOS DE LOS AGREGADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

Descripción	Arena Gruesa	Piedra Redondeada
Tamaño Máximo Nominal		3/4" pulg
Peso Específico	2.58 gr/cm ³	2.61 gr/cm ³
Absorción	2.5 %	1.11 %
Contenido de Humedad	1.63 %	0.59 %
Módulo de Fineza	2.93	6.79
Peso Unitario Suelto	1540 Kg/m ³	1570 Kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1671 Kg/m ³	1690 Kg/m ³

DATOS TÉCNICOS ELEGIDOS PARA / POR EL MÉTODO DE DISEÑO

Descripción	Dato	Descripción	Dato
-Resistencia especificada f'c	210 kg/cm ²	-Volumen Unitario de Agua	205.0 Lt/m ³
-Resistencia requerida f'cr = f'c+84	294 kg/cm ²	-Relación A/C de diseño	0.56
-Asentamiento	3" - 4"	-Factor cemento	367.1 kg/m ³
-Cemento Portland Compuesto	Tipo Ico	- Volumen de Agregados	0.651
-Peso específico	2960 kg/m ³	- M.F. de la combinación de agregados	5.16
-TMN del agregado grueso	3/4"	- Porcentaje de agregado fino	42.20%
-Contenido de Aire	2 %	- Porcentaje de agregado grueso	57.80%

Dosificación de Materiales para el Concreto

Descripción	Volumen Abs. (m ³)	Pesos secos (kg/m ³)	C. por humedad (kg/m ³)	Dosificación en peso**	C.por Slump (kg/m ³)	Dosificación en peso*
Cemento	0.124	367.12	367.120	1	383.57	1
Agregado fino	0.275	708.77	720.319	1.96	696.84	1.82
Agregado Grueso	0.376	982.03	987.825	2.69	987.99	2.58
Agua	0.205	205 Lts	216.273	0.589	225.87	0.589
5% Ceniza CM					19.18	0.050
Aire	0.02			25.04Lt/bls		25.03Lt/bls
Total	1	2262.92	2291.54		2313.45	

**Slump inicial obtenido: 7.20 cm = 2.83 pulg





TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER **ASESOR** : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
 Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS **CANTERA** : LLAMACOCCHA - CONCHUCOS - PALLASCA

MUESTRA : DISEÑO DE MEZCLA F´C=210Kg/cm2 + 10% CCM **FECHA** : 16/06/22

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PATRÓN F´C = 210 Kg/cm2 + 10% CCM - MÓDULO DE FINEZA

PARÁMETROS TÉCNICOS DE LOS AGREGADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO			
Descripción	Arena Gruesa		Piedra Redondeada
Tamaño Máximo Nominal			3/4" pulg
Peso Especifico	2.58	gr/cm3	2.61 gr/cm3
Absorción	2.5	%	1.11 %
Contenido de Humedad	1.63	%	0.59 %
Módulo de Fineza	2.93		6.79
Peso Unitario Suelto	1540	Kg/m3	1570 Kg/m3
Peso Unitario Compactado	1671	Kg/m3	1690 Kg/m3

DATOS TÉCNICOS ELEGIDOS PARA / POR EL MÉTODO DE DISEÑO			
Descripción	Dato	Descripción	Dato
-Resistencia especificada f´c	210 kg/cm2	-Volumen Unitario de Agua	205.0 Lt/m3
-Resistencia requerida f´cr =f´c+84	294 kg/cm2	-Relación A/C de diseño	0.56
-Asentamiento	3" - 4"	-Factor cemento	367.1 kg/m3
-Cemento Portland Compuesto	Tipo Ico	- Volumen de Agregados	0.651
-Peso específico	2960 kg/m3	- M.F. de la combinación de agregados	5.16
-TMN del agregado grueso	3/4"	- Porcentaje de agregado fino	42.20%
-Contenido de Aire	2 %	- Porcentaje de agregado grueso	57.80%

Dosificación de Materiales para el Concreto

Descripción	Volumen Abs. (m3)	Pesos secos (kg/m3)	C. por humedad (kg/m3)	Dosificación en peso**	C.por Slump (kg/m3)	Dosificación en peso*
Cemento	0.124	367.12	367.120	1	383.57	1
Agregado fino	0.275	708.77	720.319	1.96	696.84	1.82
Agregado Grueso	0.376	982.03	987.825	2.69	987.99	2.58
Agua	0.205	205 Lts	216.273	0.589	225.87	0.589
10% Ceniza CM					38.36	0.100
Aire	0.02			25.04Lt/bls		25.03Lt/bls
Total	1	2262.92	2291.54		2332.63	

**Slump inicial obtenido: 4.70 cm = 1.85 pulg




TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"
TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER **ASESOR** : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
 Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS **CANTERA** : LLAMACOCCHA - CONCHUCOS - PALLASCA

MUESTRA : DISEÑO DE MEZCLA F'c=210Kg/cm² + 15% CCM **FECHA** : 16/06/22

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PATRÓN F'c = 210 Kg/cm² + 15% CCM - MÓDULO DE FINEZA
PARÁMETROS TÉCNICOS DE LOS AGREGADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

Descripción	Arena Gruesa		Piedra Redondeada	
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	pulg
Peso Específico	2.58	gr/cm ³	2.61	gr/cm ³
Absorción	2.5	%	1.11	%
Contenido de Humedad	1.63	%	0.59	%
Módulo de Fineza	2.93		6.79	
Peso Unitario Suelto	1540	Kg/m ³	1570	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1671	Kg/m ³	1690	Kg/m ³

DATOS TÉCNICOS ELEGIDOS PARA / POR EL MÉTODO DE DISEÑO

Descripción	Dato	Descripción	Dato
-Resistencia especificada f'c	210 kg/cm ²	-Volumen Unitario de Agua	205.0 Lt/m ³
-Resistencia requerida f'cr =f'c+84	294 kg/cm ²	-Relación A/C de diseño	0.56
-Asentamiento	3" - 4"	-Factor cemento	367.1 kg/m ³
-Cemento Portland Compuesto	Tipo Ico	- Volumen de Agregados	0.651
-Peso específico	2960 kg/m ³	- M.F. de la combinación de agregados	5.16
-TMN del agregado grueso	3/4"	- Porcentaje de agregado fino	42.20%
-Contenido de Aire	2 %	- Porcentaje de agregado grueso	57.80%

Dosificación de Materiales para el Concreto

Descripción	Volumen Abs. (m ³)	Pesos secos (kg/m ³)	C. por humedad (kg/m ³)	Dosificación en peso**	C.por Slump (kg/m ³)	Dosificación en peso*
Cemento	0.124	367.12	367.120	1	383.57	1
Agregado fino	0.275	708.77	720.319	1.96	696.84	1.82
Agregado Grueso	0.376	982.03	987.825	2.69	987.99	2.58
Agua	0.205	205 Lts	216.273	0.589	225.87	0.589
15% Ceniza CM					57.54	0.150
Aire	0.02			25.04Lt/bls		25.03Lt/bls
Total	1	2262.92	2291.54		2351.81	

**Slump inicial obtenido: 3.50 cm = 1.38 pulg





TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER **ASESOR** : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS **CANTERA** : LLAMACOCCHA - CONCHUCOS - PALLASCA

MUESTRA : DISEÑO DE MEZCLA $f'c=210\text{Kg/cm}^2 + 10\% \text{CCM-OP}$ **FECHA** : 16/06/22

DISEÑO DE MEZCLA ÓPTIMO DE CONCRETO $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2 + 10\% \text{CCM} - \text{MÓDULO DE FINEZA}$

PARÁMETROS TÉCNICOS DE LOS AGREGADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

Descripción	Arena Gruesa		Piedra Redondeada	
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	pulg
Peso Específico	2.58	gr/cm ³	2.61	gr/cm ³
Absorción	2.5	%	1.11	%
Contenido de Humedad	1.63	%	0.59	%
Módulo de Fineza	2.93		6.79	
Peso Unitario Suelto	1540	Kg/m ³	1570	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1671	Kg/m ³	1690	Kg/m ³

DATOS TÉCNICOS ELEGIDOS PARA / POR EL MÉTODO DE DISEÑO

Descripción	Dato	Descripción	Dato
-Resistencia especificada $f'c$	210 kg/cm ²	-Volumen Unitario de Agua	205.0 Lt/m ³
-Resistencia requerida $f'cr = f'c+84$	294 kg/cm ²	-Relación A/C de diseño	0.56
-Asentamiento	3" - 4"	-Factor cemento	367.1 kg/m ³
-Cemento Portland Compuesto	Tipo Ico	- Volumen de Agregados	0.651
-Peso específico	2960 kg/m ³	- M.F. de la combinación de agregados	5.16
-TMN del agregado grueso	3/4"	- Porcentaje de agregado fino	42.20%
-Contenido de Aire	2 %	- Porcentaje de agregado grueso	57.80%

Dosificación de Materiales para el Concreto

Descripción	Volumen Abs. (m ³)	Pesos secos (kg/m ³)	C. por humedad (kg/m ³)	Dosificación en peso**	C.por Slump (kg/m ³)	Dosificación en peso*
Cemento	0.124	367.12	367.120	1	394.29	1
Agregado fino	0.275	708.77	720.319	1.96	710.31	1.80
Agregado Grueso	0.376	982.03	987.825	2.69	987.99	2.51
Agua	0.205	205 Lts	216.273	0.589	231.99	0.588
10% Ceniza CM					39.43	0.100
Aire	0.02			25.04Lt/bls		25.01Lt/bls
Total	1	2262.92	2291.54		2364.02	

**Slump inicial obtenido: 7.50 cm = 3.0 pulg



PARA CONCRETO $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

UNS
 UNIVERSIDAD
 NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**
TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"
TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER **ASESOR** : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
 Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS **CANTERA** : LLAMACOCCHA - CONCHUCOS - PALLASCA

MUESTRA : DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 175 \text{ KG/CM}^2$ **FECHA** : 01/06/22

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PATRÓN $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ - MÓDULO DE FINEZA
PARÁMETROS TÉCNICOS DE LOS AGREGADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

Descripción	Arena Gruesa	Piedra Redondeada
Tamaño Máximo Nominal		3/4" pulg
Peso Especifico	2.58 gr/cm ³	2.61 gr/cm ³
Absorción	2.5 %	1.11 %
Contenido de Humedad	1.63 %	0.59 %
Módulo de Fineza	2.93	6.79
Peso Unitario Suelto	1540 Kg/m ³	1570 Kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1671 Kg/m ³	1690 Kg/m ³

DATOS TÉCNICOS ELEGIDOS PARA / POR EL MÉTODO DE DISEÑO

Descripción	Dato	Descripción	Dato
-Resistencia especificada $f'c$	175 kg/cm ²	- Volumen Unitario de Agua	205.0 Lt/m ³
-Resistencia requerida $f'cr = f'c + 70$	245 kg/cm ²	-Relación A/C de diseño	0.63
-Asentamiento	3" - 4"	-Factor cemento	326.4 kg/m ³
-Cemento Portland Compuesto	Tipo Ico	- Volumen de Agregados	0.665
-Peso especifico	2960 kg/m ³	- M.F. de la combinación de agregados	5.09
-TMN del agregado grueso	3/4"	- Porcentaje de agregado fino	44.10%
-Contenido de Aire	2 %	- Porcentaje de agregado grueso	55.90%

Dosificación de Materiales para el Concreto

Descripción	Volumen Abs. (m ³)	Pesos secos (kg/m ³)	C. por humedad (kg/m ³)	Dosificación en peso**
Cemento	0.110	326.43	326.433	1
Agregado fino	0.293	756.34	768.670	2.35
Agregado Grueso	0.372	969.78	975.501	2.99
Agua	0.205	205 Lts	216.623	0.66
Aire	0.02			28.20Lt/bls
Total	1	2257.55	2287.23	

****Slump inicial obtenido:** 7.60 cm = 3.0 pulg




TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER **ASESOR** : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS **CANTERA** : LLAMACOCCHA - CONCHUCOS - PALLASCA

MUESTRA : DISEÑO DE MEZCLA F'c = 175 KG/CM² + 5%CCM **FECHA** : 16/06/22

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PATRÓN F'c = 175 Kg/cm² - MÓDULO DE FINEZA

PARÁMETROS TÉCNICOS DE LOS AGREGADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

Descripción	Arena Gruesa		Piedra Redondeada	
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	pulg
Peso Específico	2.58	gr/cm ³	2.61	gr/cm ³
Absorción	2.5	%	1.11	%
Contenido de Humedad	1.63	%	0.59	%
Módulo de Fineza	2.93		6.79	
Peso Unitario Suelto	1540	Kg/m ³	1570	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1671	Kg/m ³	1690	Kg/m ³

DATOS TÉCNICOS ELEGIDOS PARA / POR EL MÉTODO DE DISEÑO

Descripción	Dato	Descripción	Dato
-Resistencia especificada f'c	175 kg/cm ²	- Volumen Unitario de Agua	205.0 Lt/m ³
-Resistencia requerida f'cr = f'c+70	245 kg/cm ²	-Relación A/C de diseño	0.63
-Asentamiento	3" - 4"	-Factor cemento	326.4 kg/m ³
-Cemento Portland Compuesto	Tipo Ico	- Volumen de Agregados	0.665
-Peso específico	2960 kg/m ³	- M.F. de la combinación de agregados	5.09
-TMN del agregado grueso	3/4"	- Porcentaje de agregado fino	44.10%
-Contenido de Aire	2 %	- Porcentaje de agregado grueso	55.90%

Dosificación de Materiales para el Concreto

Descripción	Volumen Abs. (m ³)	Pesos secos (kg/m ³)	C. por humedad (kg/m ³)	Dosificación en peso**
Cemento	0.110	326.43	326.433	1
Agregado fino	0.293	756.34	768.670	2.35
Agregado Grueso	0.372	969.78	975.501	2.99
Agua	0.205	205 Lts	216.623	0.66
11% Ceniza CM			35.908	0.11
Aire	0.02			28.20Lt/bls
Total	1	2257.55	2323.13	

**Slump inicial obtenido: 7.20 cm = 2.8 pulg





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER **ASESOR** : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS **CANTERA** : LLAMACOCCHA - CONCHUCOS - PALLASCA

MUESTRA : DISEÑO DE MEZCLA F'c = 175 KG/CM2 + 10%CCM **FECHA** : 16/06/22

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PATRÓN F'c = 175 Kg/cm2 + 10% CCM - MÓDULO DE FINEZA

PARÁMETROS TÉCNICOS DE LOS AGREGADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO		
Descripción	Arena Gruesa	Piedra Redondeada
Tamaño Máximo Nominal		3/4" pulg
Peso Específico	2.58 gr/cm3	2.61 gr/cm3
Absorción	2.5 %	1.11 %
Contenido de Humedad	1.63 %	0.59 %
Módulo de Fineza	2.93	6.79
Peso Unitario Suelto	1540 Kg/m3	1570 Kg/m3
Peso Unitario Compactado	1671 Kg/m3	1690 Kg/m3

DATOS TÉCNICOS ELEGIDOS PARA / POR EL MÉTODO DE DISEÑO			
Descripción	Dato	Descripción	Dato
-Resistencia especificada f'c	175 kg/cm2	- Volumen Unitario de Agua	205.0 Lt/m3
-Resistencia requerida f'cr = f'c+70	245 kg/cm2	-Relación A/C de diseño	0.63
-Asentamiento	3" - 4"	-Factor cemento	326.4 kg/m3
-Cemento Portland Compuesto	Tipo Ico	- Volumen de Agregados	0.665
-Peso específico	2960 kg/m3	- M.F. de la combinación de agregados	5.09
-TMN del agregado grueso	3/4"	- Porcentaje de agregado fino	44.10%
-Contenido de Aire	2 %	- Porcentaje de agregado grueso	55.90%

Dosificación de Materiales para el Concreto

Descripción	Volumen Abs. (m3)	Pesos secos (kg/m3)	C. por humedad (kg/m3)	Dosificación en peso**
Cemento	0.110	326.43	326.433	1
Agregado fino	0.293	756.34	768.670	2.35
Agregado Grueso	0.372	969.78	975.501	2.99
Agua	0.205	205 Lts	216.623	0.66
10% Ceniza CM			32.643	0.10
Aire	0.02			28.20Lt/bls
Total	1	2257.55	2319.87	

**Slump inicial obtenido: 5.20 cm = 2.0 pulg





TESIS	: " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"		
TESISTAS	Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS	ASESOR	: Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
LUGAR	: LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS	CANTERA	: LLAMACOCCHA - CONCHUCOS - PALLASCA
MUESTRA	: DISEÑO DE MEZCLA F'C = 175 KG/CM2 + 15%CCM	FECHA	: 16/06/22

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PATRÓN F'C = 175 Kg/cm² + 15% CCM - MÓDULO DE FINEZA

PARÁMETROS TÉCNICOS DE LOS AGREGADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO			
Descripción	Arena Gruesa		Piedra Redondeada
Tamaño Máximo Nominal			3/4" pulg
Peso Específico	2.58	gr/cm ³	2.61 gr/cm ³
Absorción	2.5	%	1.11 %
Contenido de Humedad	1.63	%	0.59 %
Módulo de Fineza	2.93		6.79
Peso Unitario Suelto	1540	Kg/m ³	1570 Kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1671	Kg/m ³	1690 Kg/m ³

DATOS TÉCNICOS ELEGIDOS PARA / POR EL MÉTODO DE DISEÑO			
Descripción	Dato	Descripción	Dato
-Resistencia especificada f'c	175 kg/cm ²	- Volumen Unitario de Agua	205.0 Lt/m ³
-Resistencia requerida f'cr = f'c+70	245 kg/cm ²	-Relación A/C de diseño	0.63
-Asentamiento	3" - 4"	-Factor cemento	326.4 kg/m ³
-Cemento Portland Compuesto	Tipo Ico	- Volumen de Agregados	0.665
-Peso específico	2960 kg/m ³	- M.F. de la combinación de agregados	5.09
-TMN del agregado grueso	3/4"	- Porcentaje de agregado fino	44.10%
-Contenido de Aire	2 %	- Porcentaje de agregado grueso	55.90%

Dosificación de Materiales para el Concreto

Descripción	Volumen Abs. (m ³)	Pesos secos (kg/m ³)	C. por humedad (kg/m ³)	Dosificación en peso**
Cemento	0.110	326.43	326.433	1
Agregado fino	0.293	756.34	768.670	2.35
Agregado Grueso	0.372	969.78	975.501	2.99
Agua	0.205	205 Lts	216.623	0.66
15% Ceniza CM			48.965	0.15
Aire	0.02			28.20Lt/bls
Total	1	2257.55	2336.19	

**Slump inicial obtenido: 4.50 cm = 1.8 pulg





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

TESIS	: " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACocha – CONCHUCOS 2021"		
TESISTAS	Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS	ASESOR	: Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
LUGAR	: LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS	CANTERA	: LLAMACocha - CONCHUCOS - PALLASCA
MUESTRA	: DISEÑO DE MEZCLA F'c = 175 KG/CM2 + 5%CCM	FECHA	: 16/06/22

DISEÑO DE MEZCLA ÓPTIMO DE CONCRETO F'c = 175 Kg/cm2 + 10% CCM - MÓDULO DE FINEZA

PARÁMETROS TÉCNICOS DE LOS AGREGADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO			
Descripción	Arena Gruesa		Piedra Redondeada
Tamaño Máximo Nominal			3/4" pulg
Peso Específico	2.58	gr/cm3	2.61 gr/cm3
Absorción	2.5	%	1.11 %
Contenido de Humedad	1.63	%	0.59 %
Módulo de Fineza	2.93		6.79
Peso Unitario Suelto	1540	Kg/m3	1570 Kg/m3
Peso Unitario Compactado	1671	Kg/m3	1690 Kg/m3

DATOS TÉCNICOS ELEGIDOS PARA / POR EL MÉTODO DE DISEÑO			
Descripción	Dato	Descripción	Dato
-Resistencia especificada f'c	175 kg/cm2	- Volumen Unitario de Agua	205.0 Lt/m3
-Resistencia requerida f'cr = f'c+70	245 kg/cm2	-Relación A/C de diseño	0.63
-Asentamiento	3" - 4"	-Factor cemento	326.4 kg/m3
-Cemento Portland Compuesto	Tipo Ico	- Volumen de Agregados	0.665
-Peso específico	2960 kg/m3	- M.F. de la combinación de agregados	5.09
-TMN del agregado grueso	3/4"	- Porcentaje de agregado fino	44.10%
-Contenido de Aire	2 %	- Porcentaje de agregado grueso	55.90%

Dosificación de Materiales para el Concreto

Descripción	Volumen Abs. (m3)	Pesos secos (kg/m3)	C. por humedad (kg/m3)	Dosificación en peso**	C.por Slump (kg/m3)	Dosificación en peso*
Cemento	0.110	326.43	326.433	1	383.57	1
Agregado fino	0.293	756.34	768.670	2.35	696.84	1.82
Agregado Grueso	0.372	969.78	975.501	2.99	987.99	2.58
Agua	0.205	205 Lts	216.623	0.66	225.87	0.589
11% Ceniza CM					42.19	0.110
Aire	0.02			28.20Lt/bls		25.03Lt/bls
Total	1	2257.55	2287.23		2336.46	

**Slump inicial obtenido: 4.30 cm = 1.69 pulg *Nuevo Slump obtenido: 7.50 cm = 2.95 pulg



7.4. ANEXO N° 04: ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO
ENSAYO DE ASENTAMIENTO Y TEMPERATURA



UNS
 UNIVERSIDAD
 NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACocha – CONCHUCOS 2021"	
TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS	ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS	CANTERA : LLAMACocha - CONCHUCOS - PALLASCA - ANCASH
MUESTRA : CONCRETO FRESCO	FECHA : De acuerdo al cuadro de elaboración

ASENTAMIENTO DEL CONCRETO Y TEMPERATURA (NTP 339.035; NTP 339.184 / ASTM C-143; 1064 / MTC E - 705; 724)

Resistencia/%adición	ASENTAMIENTO (CM)				
	0 % CCM	5 % CCM	10 % CCM	15 % CCM	% ÓPTIMO
175 kg/cm ²	7.7	6	4.7	3.5	7.5
	7.5	5.5	4.3	3.2	7.3
Promedio	7.6	5.75	4.5	3.35	7.4
Prom. (pulg)	3.0	2.3	1.8	1.3	2.9
210 kg/cm ²	7.4	7.2	5.2	4.5	7.8
	7.6	6.9	4.8	4.2	7.6
Promedio	7.5	7.05	5	4.35	7.7
Prom. (pulg)	3.0	2.8	2.0	1.7	3.0

Resistencia/%adición	TEMPERATURA (°C)				
	0 % CCM	5 % CCM	10 % CCM	15 % CCM	% ÓPTIMO
175 kg/cm ²	21.82	22.02	22.22	21.52	22.32
	21.72	21.82	21.92	21.92	22.22
Promedio 175 kg/cm ²	21.77	21.92	22.07	21.72	22.27
210 kg/cm ²	21.8	22.22	22.42	22.02	22.52
	22	22.32	22.52	21.92	22.52
Promedio 210 kg/cm ²	21.9	22.27	22.47	21.97	22.52



ENSAYO DE PESO UNITARIO GRAVIMÉTRICO Y AIRE



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS

MUESTRA : CONCRETO FRESCO F'C = 210 KG/CM2 - PATRÓN

ENSAYO : NTP. 339.046 / MTC - 714

FECHA : 06/06/22

PESO UNITARIO (DENSIDAD), RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO

TANDA PREPARADA

Insumo	Peso (kg)	Vol (m3)
Cemento	15.34	0.005
A. Fino	27.87	0.011
A. Grueso	39.52	0.015
Agua	9.03	0.009
TOTAL	91.77	0.040

Datos del molde

Diámetro	Altura
d=15.20 cm	h=30.40 cm

Datos técnicos elegidos para el método

-Peso del recipiente metálico	10.010 kg
-Volumen del recipiente metálico	0.00552 m3
-Peso 1 del concreto + recipiente	22.600 kg
-Peso 2 del concreto + recipiente	22.925 kg
-Masa total de todos los materiales de la tanda(W)	91.77 kg
-Volumen del concreto producido por tanda (Y)	
-Volumen del concreto/diseño/producirá la tanda (Yd)	0.040 m3
-Masa del cemento en la tanda (Nt)	15.34 kg
-Volumen total absoluto de ingredientes/tanda (V)	0.040 m3

RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS

Densidad Teórica (T) = W / V	2294.27	kg/m3
Densidad Real (Peso Unitario) (D) =	2341.23	kg/m3
Factor de Compactación = P1/P2 (*)	0.986	
Rendimiento (Y)	0.0392	m3
Rendimiento relativo (Ry) = Y/Yd (**)	0.980	
Contenido de cemento real (N = Nt/Y)	391.42	kg/m3
Contenido de aire o % de vacíos (A)	2.047	%



*Peso varillado y peso pasado por aparato de F.C.

**si es >1, exceso de concreto; <1, tanda pequeña

Nota 1: Mientras el rango del rendimiento esté comprendido entre 0.98 y 1.02 es aceptable. Pasquel, E. (1998, p.341)

Nota 2: A medida que el factor se acerque a la unidad el concreto será eficiente. Pasquel, E. (1998, p.136, Tabla 7.1)
Para slump de 1" - 2" y de 2" - 4", los F.C. mínimos son 0.85 y 0.92, respectivamente.



TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS

MUESTRA : CONCRETO F' C = 210 KG/CM2 - PATRÓN + 5%CCM

ENSAYO : NTP. 339.046 / MTC - 714

FECHA : 21/06/22

PESO UNITARIO (DENSIDAD), RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO

TANDA PREPARADA		
Insumo	Peso (kg)	Vol (m3)
Cemento	15.34	0.005
A. Fino	27.87	0.011
A. Grueso	39.52	0.015
Agua	9.03	0.009
Ceniza 5%	0.77	0.0004
TOTAL	92.54	0.041

Datos del molde	
Diámetro	Altura
d=15.16 cm	h=30.40 cm

Datos técnicos elegidos para el método	
-Peso del recipiente metálico	10.000 kg
-Volumen del recipiente metálico	0.00549 m3
-Peso 1 del concreto + recipiente	22.475 kg
-Peso 2 del concreto + recipiente	22.735 kg
-Masa total de todos los materiales de la tanda(W)	92.54 kg
-Volumen del concreto producido por tanda (Y)	
-Volumen del concreto/diseño/producirá la tanda (Yd)	0.041 m3
-Masa del cemento en la tanda (Nt)	15.34 kg
-Volumen total absoluto de ingredientes/tanda (V)	0.041 m3

RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS		
Densidad Teórica (T) = W / V	2283.26	kg/m3
Densidad Real (Peso Unitario) (D) =	2320.80	kg/m3
Factor de Compactación = P1/P2 (*)	0.989	
Rendimiento (Y)	0.0399	m3
Rendimiento relativo (Ry) = Y/Yd (**)	0.984	
Contenido de cemento real (N = Nt/Y)	384.79	kg/m3
Contenido de aire o % de vacíos (A)	1.644	%



*Peso varillado y peso pasado por aparato de F.C.
**si es >1, exceso de concreto;
<1, tanda pequeña

Nota 1: Mientras el rango del rendimiento esté comprendido entre 0.98 y 1.02 es aceptable. Pasquel, E. (1998, p.341)

Nota 2: A medida que el factor se acerque a la unidad el concreto será eficiente. Pasquel, E. (1998, p.136, Tabla 7.1)

Para slump de 1" - 2" y de 2" - 4", los F.C. mínimos son 0.85 y 0.92, respectivamente.



TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCOA – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS

MUESTRA : CONCRETO F'c = 210 KG/CM² - PATRÓN + 10%CCM

ENSAYO : NTP. 339.046 / MTC - 714

FECHA : 21/06/22

PESO UNITARIO (DENSIDAD), RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO

TANDA PREPARADA		
Insumo	Peso (kg)	Vol (m ³)
Cemento	15.34	0.005
A. Fino	27.87	0.011
A. Grueso	39.52	0.015
Agua	9.03	0.009
Ceniza 10%	1.53	0.0007
TOTAL	93.31	0.041

Datos del molde	
Diámetro	Altura
d=15.16 cm	h=30.40 cm

Datos técnicos elegidos para el método	
-Peso del recipiente metálico	10.095 kg
-Volumen del recipiente metálico	0.00549 m ³
-Peso 1 del concreto + recipiente	21.495 kg
-Peso 2 del concreto + recipiente	22.720 kg
-Masa total de todos los materiales de la tanda(W)	93.31 kg
-Volumen del concreto producido por tanda (Y)	
-Volumen del concreto/diseño/producirá la tanda (Yd)	0.041 m ³
-Masa del cemento en la tanda (Nt)	15.34 kg
-Volumen total absoluto de ingredientes/tanda (V)	0.041 m ³

RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS		
Densidad Teórica (T) = W / V	2281.63	kg/m ³
Densidad Real (Peso Unitario) (D) =	2300.75	kg/m ³
Factor de Compactación = P1/P2 (*)	0.946	
Rendimiento (Y)	0.0406	m ³
Rendimiento relativo (Ry) = Y/Yd (**)	0.992	
Contenido de cemento real (N = Nt/Y)	378.33	kg/m ³
Contenido de aire o % de vacíos (A)	0.838	%



*Peso varillado y peso pasado por aparato de F.C.

**si es >1, exceso de concreto; <1, tanda pequeña

Nota 1: Mientras el rango del rendimiento esté comprendido entre 0.98 y 1.02 es aceptable. Pasquel, E. (1998, p.341)

Nota 2: A medida que el factor se acerque a la unidad el concreto será eficiente. Pasquel, E. (1998, p.136, Tabla 7.1)

Para slump de 1" - 2" y de 2" - 4", los F.C. mínimos son 0.85 y 0.92, respectivamente.



TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACocha – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS

MUESTRA : CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 - PATRÓN + 15%CCM

ENSAYO : NTP. 339.046 / MTC - 714

FECHA : 21/06/22

PESO UNITARIO (DENSIDAD), RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO

TANDA PREPARADA		
Insumo	Peso (kg)	Vol (m3)
Cemento	15.34	0.005
A. Fino	27.87	0.011
A. Grueso	39.52	0.015
Agua	9.03	0.009
Ceniza 15%	2.30	0.0011
TOTAL	94.07	0.041

Datos del molde	
Diámetro	Altura
d=15.15 cm	h=30.40 cm

Datos técnicos elegidos para el método	
-Peso del recipiente metálico	9.940 kg
-Volumen del recipiente metálico	0.00548 m3
-Peso 1 del concreto + recipiente	20.500 kg
-Peso 2 del concreto + recipiente	22.470 kg
-Masa total de todos los materiales de la tanda(W)	94.07 kg
-Volumen del concreto producido por tanda (Y)	
-Volumen del concreto/diseño/producirá la tanda (Yd)	0.041 m3
-Masa del cemento en la tanda (Nt)	15.34 kg
-Volumen total absoluto de ingredientes/tanda (V)	0.041 m3

RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS		
Densidad Teórica (T) = W / V	2280.02	kg/m3
Densidad Real (Peso Unitario) (D) =	2286.45	kg/m3
Factor de Compactación = P1/P2 (*)	0.912	
Rendimiento (Y)	0.0411	m3
Rendimiento relativo (Ry) = Y/Yd (**)	0.997	
Contenido de cemento real (N = Nt/Y)	372.91	kg/m3
Contenido de aire o % de vacíos (A)	0.282	%



*Peso varillado y peso pasado por aparato de F.C.

**si es >1, exceso de concreto; <1, tanda pequeña

Nota 1: Mientras el rango del rendimiento esté comprendido entre 0.98 y 1.02 es aceptable. Pasquel, E. (1998, p.341)

Nota 2: A medida que el factor se acerque a la unidad el concreto será eficiente. Pasquel, E. (1998, p.136, Tabla 7.1)

Para slump de 1" - 2"y de 2" - 4", los F.C. mínimos son 0.85 y 0.92, respectivamente.

PARA EL CONCRETO ÓPTIMO F' C = 210 KG/CM² + 10%CCM



TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS **MUESTRA** : CONCRETO F' C = 210 KG/CM² - PATRÓN + 10%CCM

ENSAYO : NTP. 339.046 / MTC - 714

FECHA : 22/07/22

PESO UNITARIO (DENSIDAD), RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO

TANDA PREPARADA

Insumo	Peso (kg)	Vol (m ³)
Cemento	15.77	0.005
A. Fino	28.41	0.011
A. Grueso	39.52	0.015
Agua	9.28	0.009
Ceniza 10%	1.58	0.0008
TOTAL	94.56	0.042

Datos del molde

Diámetro	Altura
d=15.13 cm	h=30.40 cm

Datos técnicos elegidos para el método

-Peso del recipiente metálico	10.075 kg
-Volumen del recipiente metálico	0.00547 m ³
-Peso 1 del concreto + recipiente	22.295 kg
-Peso 2 del concreto + recipiente	22.690 kg
-Masa total de todos los materiales de la tanda(W)	94.56 kg
-Volumen del concreto producido por tanda (Y)	
-Volumen del concreto/diseño/producirá la tanda (Yd)	0.042 m ³
-Masa del cemento en la tanda (Nt)	15.77 kg
-Volumen total absoluto de ingredientes/tanda (V)	0.042 m ³



RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS

Densidad Teórica (T) = W / V	2277.85	kg/m ³
Densidad Real (Peso Unitario) (D) =	2308.05	kg/m ³
Factor de Compactación = P1/P2 (*)	0.983	
Rendimiento (Y)	0.0410	m ³
Rendimiento relativo (Ry) = Y/Yd (**)	0.987	
Contenido de cemento real (N = Nt/Y)	384.96	kg/m ³
Contenido de aire o % de vacíos (A)	1.326	%

*Peso varillado y peso pasado por aparato de F.C.

**si es >1, exceso de concreto; <1, tanda pequeña

Nota 1: Mientras el rango del rendimiento esté comprendido entre 0.98 y 1.02 es aceptable. Pasquel, E. (1998, p.341)

Nota 2: A medida que el factor se acerque a la unidad el concreto será eficiente. Pasquel, E. (1998, p.136, Tabla 7.1)

Para slump de 1" - 2" y de 2" - 4", los F.C. mínimos son 0.85 y 0.92, respectivamente.



TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACocha – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS **MUESTRA** : CONCRETO F'c = 175 KG/CM2 - PATRÓN
ENSAYO : NTP. 339.046 / MTC - 714 **FECHA** : 06/06/22

PESO UNITARIO (DENSIDAD), RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO

TANDA PREPARADA		
Insumo	Peso (kg)	Vol (m ³)
Cemento	13.06	0.004
A. Fino	30.75	0.012
A. Grueso	39.02	0.015
Agua	8.66	0.009
TOTAL	91.49	0.040

Datos del molde	
Diámetro	Altura
d=15.20 cm	h=30.40 cm

Datos técnicos elegidos para el método	
-Peso del recipiente metálico	10.010 kg
-Volumen del recipiente metálico	0.00552 m ³
-Peso 1 del concreto + recipiente	22.565 kg
-Peso 2 del concreto + recipiente	22.855 kg
-Masa total de todos los materiales de la tanda(W)	91.49 kg
-Volumen del concreto producido por tanda (Y)	
-Volumen del concreto/diseño/producirá la tanda (Yd)	0.040 m ³
-Masa del cemento en la tanda (Nt)	13.06 kg
-Volumen total absoluto de ingredientes/tanda (V)	0.040 m ³

RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS		
Densidad Teórica (T) = W / V	2287.23	kg/m ³
Densidad Real (Peso Unitario) (D) =	2328.54	kg/m ³
Factor de Compactación = P1/P2 (*)	0.987	
Rendimiento (Y)	0.0393	m ³
Rendimiento relativo (Ry) = Y/Yd (**)	0.982	
Contenido de cemento real (N = Nt/Y)	332.33	kg/m ³
Contenido de aire o % de vacíos (A)	1.806	%



*Peso varillado y peso pasado por aparato de F.C.

**si es >1, exceso de concreto; <1, tanda pequeña

Nota 1: Mientras el rango del rendimiento esté comprendido entre 0.98 y 1.02 es aceptable. Pasquel, E. (1998, p.341)

Nota 2: A medida que el factor se acerque a la unidad el concreto será eficiente. Pasquel, E. (1998, p.136, Tabla 7.1)

Para slump de 1" - 2" y de 2" - 4", los F.C. mínimos son 0.85 y 0.92, respectivamente.



TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACocha – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS

MUESTRA : CONCRETO F'c = 175 KG/CM2 - PATRÓN + 5%CCM

ENSAYO : NTP. 339.046 / MTC - 714

FECHA : 20/06/22

PESO UNITARIO (DENSIDAD), RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO

TANDA PREPARADA

Insumo	Peso (kg)	Vol (m3)
Cemento	13.06	0.004
A. Fino	30.75	0.012
A. Grueso	39.02	0.015
Agua	8.66	0.009
Ceniza 5%	0.65	0.0003
TOTAL	92.14	0.040

Datos del molde

Diámetro	Altura
d=15.16 cm	h=30.40 cm

Datos técnicos elegidos para el método

-Peso del recipiente metálico	9.695 kg
-Volumen del recipiente metálico	0.00549 m3
-Peso 1 del concreto + recipiente	21.535 kg
-Peso 2 del concreto + recipiente	22.435 kg
-Masa total de todos los materiales de la tanda(W)	92.14 kg
-Volumen del concreto producido por tanda (Y)	
-Volumen del concreto/diseño/producirá la tanda (Yd)	0.040 m3
-Masa del cemento en la tanda (Nt)	13.06 kg
-Volumen total absoluto de ingredientes/tanda (V)	0.040 m3

RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS

Densidad Teórica (T) = W / V	2288.98	kg/m3
Densidad Real (Peso Unitario) (D) =	2321.71	kg/m3
Factor de Compactación = P1/P2 (*)	0.960	
Rendimiento (Y)	0.0397	m3
Rendimiento relativo (Ry) = Y/Yd (**)	0.99	
Contenido de cemento real (N = Nt/Y)	329.01	kg/m3
Contenido de aire o % de vacíos (A)	1.430	%

*Peso varillado y peso pasado por aparato de F.C.

**si es >1, exceso de concreto; <1, tanda pequeña

Nota 1: Mientras el rango del rendimiento esté comprendido entre 0.98 y 1.02 es aceptable. Pasquel, E. (1998, p.341)

Nota 2: A medida que el factor se acerque a la unidad el concreto será eficiente. Pasquel, E. (1998, p.136, Tabla 7.1)

Para slump de 1" - 2" y de 2" - 4", los F.C. mínimos son 0.85 y 0.92, respectivamente.





UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS
ENSAYO : NTP. 339.046 / MTC - 714

MUESTRA : CONCRETO F'c = 175 KG/CM2 - PATRÓN + 10%CCM
FECHA : 20/06/22

PESO UNITARIO (DENSIDAD), RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO

TANDA PREPARADA

Insumo	Peso (kg)	Vol (m3)
Cemento	13.06	0.004
A. Fino	30.75	0.012
A. Grueso	39.02	0.015
Agua	8.66	0.009
Ceniza 10%	1.31	0.0006
TOTAL	92.79	0.041

Datos del molde

Diámetro	Altura
d=15.15 cm	h=30.40 cm

Datos técnicos elegidos para el método

-Peso del recipiente metálico	10.070 kg
-Volumen del recipiente metálico	0.00548 m3
-Peso 1 del concreto + recipiente	20.750 kg
-Peso 2 del concreto + recipiente	22.675 kg
-Masa total de todos los materiales de la tanda(W)	92.79 kg
-Volumen del concreto producido por tanda (Y)	
-Volumen del concreto/diseño/producirá la tanda (Yd)	0.041 m3
-Masa del cemento en la tanda (Nt)	13.06 kg
-Volumen total absoluto de ingredientes/tanda (V)	0.041 m3



RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS

Densidad Teórica (T) = W / V	2287.53	kg/m3
Densidad Real (Peso Unitario) (D) =	2300.14	kg/m3
Factor de Compactación = P1/P2 (*)	0.915	
Rendimiento (Y)	0.0403	m3
Rendimiento relativo (Ry) = Y/Yd (**)	0.995	
Contenido de cemento real (N = Nt/Y)	323.66	kg/m3
Contenido de aire o % de vacíos (A)	0.551	%

*Peso varillado y peso pasado por aparato de F.C.

**si es >1, exceso de concreto; <1, tanda pequeña

Nota 1: Mientras el rango del rendimiento esté comprendido entre 0.98 y 1.02 es aceptable. Pasquel, E. (1998, p.341)

Nota 2: A medida que el factor se acerque a la unidad el concreto será eficiente. Pasquel, E. (1998, p.136, Tabla 7.1)

Para slump de 1" - 2" y de 2" - 4", los F.C. mínimos son 0.85 y 0.92, respectivamente.



TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"

TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER
Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS

MUESTRA : CONCRETO F'c = 175 KG/CM2 - PATRÓN + 15%CCM

ENSAYO : NTP. 339.046 / MTC - 714

FECHA : 20/06/22

PESO UNITARIO (DENSIDAD), RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO

TANDA PREPARADA		
Insumo	Peso (kg)	Vol (m3)
Cemento	13.06	0.004
A. Fino	30.75	0.012
A. Grueso	39.02	0.015
Agua	8.66	0.009
Ceniza 15%	1.96	0.0009
TOTAL	93.45	0.041

Datos del molde	
Diámetro	Altura
d=15.12 cm	h=30.40 cm

Datos técnicos elegidos para el método	
-Peso del recipiente metálico	10.010 kg
-Volumen del recipiente metálico	0.00546 m3
-Peso 1 del concreto + recipiente	19.335 kg
-Peso 2 del concreto + recipiente	22.450 kg
-Masa total de todos los materiales de la tanda(W)	93.45 kg
-Volumen del concreto producido por tanda (Y)	
-Volumen del concreto/diseño/producirá la tanda (Yd)	0.041 m3
-Masa del cemento en la tanda (Nt)	13.06 kg
-Volumen total absoluto de ingredientes/tanda (V)	0.041 m3

RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS		
Densidad Teórica (T) = W / V	2286.10	kg/m3
Densidad Real (Peso Unitario) (D) =	2279.05	kg/m3
Factor de Compactación = P1/P2 (*)	0.861	
Rendimiento (Y)	0.0410	m3
Rendimiento relativo (Ry) = Y/Yd (**)	1.003	
Contenido de cemento real (N = Nt/Y)	318.45	kg/m3
Contenido de aire o % de vacíos (A)	0.309	%



*Peso varillado y peso pasado por aparato de F.C.

**si es >1, exceso de concreto;
<1, tanda pequeña

Nota 1: Mientras el rango del rendimiento esté comprendido entre 0.98 y 1.02 es aceptable. Pasquel, E. (1998, p.341)

Nota 2: A medida que el factor se acerque a la unidad el concreto será eficiente. Pasquel, E. (1998, p.136, Tabla 7.1)

Para slump de 1" - 2"y de 2" - 4", los F.C. mínimos son 0.85 y 0.92, respectivamente.

PARA EL CONCRETO ÓPTIMO F' C = 175 KG/CM² + 11%CCM

UNS
 UNIVERSIDAD
 NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**
TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"
TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER
 Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

ASESOR : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS **MUESTRA** : CONCRETO F' C = 175 KG/CM² - PATRÓN + 11%CCM

ENSAYO : NTP. 339.046 / MTC - 714

FECHA : 22/07/22

PESO UNITARIO (DENSIDAD), RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE (GRAVIMÉTRICO) DEL CONCRETO
TANDA PREPARADA

Insumo	Peso (kg)	Vol (m ³)
Cemento	13.42	0.005
A. Fino	31.40	0.012
A. Grueso	38.87	0.015
Agua	8.92	0.009
Ceniza 11%	1.48	0.0007
TOTAL	94.09	0.041

Datos del molde

Diámetro	Altura
d=15.12 cm	h=30.40 cm

Datos técnicos elegidos para el método

-Peso del recipiente metálico	10.075 kg
-Volumen del recipiente metálico	0.00546 m ³
-Peso 1 del concreto + recipiente	22.295 kg
-Peso 2 del concreto + recipiente	22.650 kg
-Masa total de todos los materiales de la tanda(W)	94.09 kg
-Volumen del concreto producido por tanda (Y)	
-Volumen del concreto/diseño/producirá la tanda (Yd)	0.041 m ³
-Masa del cemento en la tanda (Nt)	13.42 kg
-Volumen total absoluto de ingredientes/tanda (V)	0.041 m ³

RESULTADOS DE LOS CÁLCULOS

Densidad Teórica (T) = W / V	2282.39	kg/m ³
Densidad Real (Peso Unitario) (D) =	2303.78	kg/m ³
Factor de Compactación = P1/P2 (*)	0.984	
Rendimiento (Y)	0.0408	m ³
Rendimiento relativo (Ry) = Y/Yd (**)	0.991	
Contenido de cemento real (N = Nt/Y)	328.60	kg/m ³
Contenido de aire o % de vacíos (A)	0.937	%

*Peso varillado y peso pasado por aparato de F.C.

**si es >1, exceso de concreto; <1, tanda pequeña

Nota 1: Mientras el rango del rendimiento esté comprendido entre 0.98 y 1.02 es aceptable. Pasquel, E. (1998, p.341)

Nota 2: A medida que el factor se acerque a la unidad el concreto será eficiente. Pasquel, E. (1998, p.136, Tabla 7.1)

Para slump de 1" - 2" y de 2" - 4", los F.C. mínimos son 0.85 y 0.92, respectivamente.



7.5. ANEXO N° 05: ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO

A) ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTP. 339.034)

FECHAS DE ELABORACIÓN DE PROBETAS

Probetas Patrón $f'c = 210$ kg/cm² y $f'c = 175$ kg/cm² elaborados en moldes de 150 mm x 300 mm + 0% Ceniza

Resistencia	Edades	7 días		28 días		
		Marca	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4
175 kg/cm ²	Elaboración		6/06/2022	6/06/2022	6/06/2022	6/06/2022
	Desencofrado		7/06/2022	7/06/2022	7/06/2022	7/06/2022
	Ensayo a la compresión		13/06/2022	13/06/2022	4/07/2022	4/07/2022
	Marca		MP 11	MP 12	MP 13	MP 14
210 kg/cm ²	Elaboración		6/06/2022	6/06/2022	6/06/2022	6/06/2022
	Desencofrado		7/06/2022	7/06/2022	7/06/2022	7/06/2022
	Ensayo a la compresión		13/06/2022	13/06/2022	4/07/2022	4/07/2022
	Marca		MP 11	MP 12	MP 13	MP 14

Probetas Patrón elaborados en moldes de 150 mm x 300 mm + 5% Ceniza

Resistencia	Edades	7 días		28 días		
		Marca	MPA 1	MPA 2	MPA 3	MPA 4
175 kg/cm ²	Elaboración		20/06/2022	20/06/2022	20/06/2022	20/06/2022
	Desencofrado		21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022
	Ensayo a la compresión		27/06/2022	27/06/2022	18/07/2022	18/07/2022
	Marca		MPA 21	MPA 22	MPA 23	MPA 24
210 kg/cm ²	Elaboración		21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022
	Desencofrado		22/06/2022	22/06/2022	22/06/2022	22/06/2022
	Ensayo a la compresión		28/06/2022	28/06/2022	19/07/2022	19/07/2022
	Marca		MPA 21	MPA 22	MPA 23	MPA 24

Probetas Patrón elaborados en moldes de 150 mm x 300 mm + 10% Ceniza

Resistencia	Edades	7 días		28 días	
	Marca	MPA 5	MPA 6	MPA 7	MPA 8
175 kg/cm ²	Elaboración	20/06/2022	20/06/2022	20/06/2022	20/06/2022
	Desencofrado	21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022
	Ensayo a la compresión	27/06/2022	27/06/2022	18/07/2022	18/07/2022
210 kg/cm ²	Marca	MPA 25	MPA 26	MPA 27	MPA 28
	Elaboración	21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022
	Desencofrado	22/06/2022	22/06/2022	22/06/2022	22/06/2022
	Ensayo a la compresión	28/06/2022	28/06/2022	19/07/2022	19/07/2022

Probetas Patrón elaborados en moldes de 150 mm x 300 mm + 15% Ceniza

Resistencia	Edades	7 días		28 días	
	Marca	MPA 9	MPA 10	MPA 11	MPA 12
175 kg/cm ²	Elaboración	20/06/2022	20/06/2022	20/06/2022	20/06/2022
	Desencofrado	21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022
	Ensayo a la compresión	27/06/2022	27/06/2022	18/07/2022	18/07/2022
210 kg/cm ²	Marca	MPA 29	MPA 30	MPA 31	MPA 32
	Elaboración	21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022
	Desencofrado	22/06/2022	22/06/2022	22/06/2022	22/06/2022
	Ensayo a la compresión	28/06/2022	28/06/2022	19/07/2022	19/07/2022

Probetas elaboradas (150 mm x 300 mm) + % Óptimo de Ceniza

Resistencia	Edades	28 días	
	Marca	15 (und)	15 (und)
175 kg/cm ²	Elaboración	20/07/2022	21/07/2022
	Desencofrado	21/07/2022	22/07/2022
	Ensayo a la compresión	17/08/2022	18/08/2022
210 kg/cm ²	Marca	MPA 29	MPA 30
	Elaboración	22/07/2022	23/07/2022
	Desencofrado	23/07/2022	24/07/2022
	Ensayo a la compresión	19/08/2022	20/08/2022

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CONCRETO F'C = 175 KG/CM² A 7 DIAS

% Adición	Marca	Edad (días)	Carga (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
0 % CCM	MP 1	7 días	22990	14.85	173.198	132.74
	MP 2	7 días	21610	15	176.715	122.29
Promedio =						127.51
5 % CCM	MPA 1	7 días	23160	15.035	177.540	130.45
	MPA 2	7 días	22850	15.08	178.605	127.94
Promedio =						129.19
10 % CCM	MPA 5	7 días	23790	15.07	178.368	133.38
	MPA 6	7 días	24480	15.1	179.079	136.70
Promedio =						135.04
15 % CCM	MPA 9	7 días	22990	15.12	179.553	128.04
	MPA 10	7 días	23710	15.125	179.672	131.96
Promedio =						130.00

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CONCRETO F'C = 175 KG/CM² A 28 DIAS

% Adición	Marca	Edad (días)	Carga (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
0 % CCM	MP 3	28 días	33340	15.125	179.672	185.56
	MP 4	28 días	31530	15.275	183.254	172.06
Promedio =						178.81
5 % CCM	MPA 3	28 días	35490	15.125	179.672	197.53
	MPA 4	28 días	34420	15.145	180.148	191.07
Promedio =						194.30
10 % CCM	MPA 7	28 días	36930	15.125	179.672	205.54
	MPA 8	28 días	39610	15.15	180.267	219.73
Promedio =						212.64
15 % CCM	MPA 11	28 días	36820	15.135	179.910	204.66
	MPA 12	28 días	38880	15.145	180.148	215.82
Promedio =						210.24

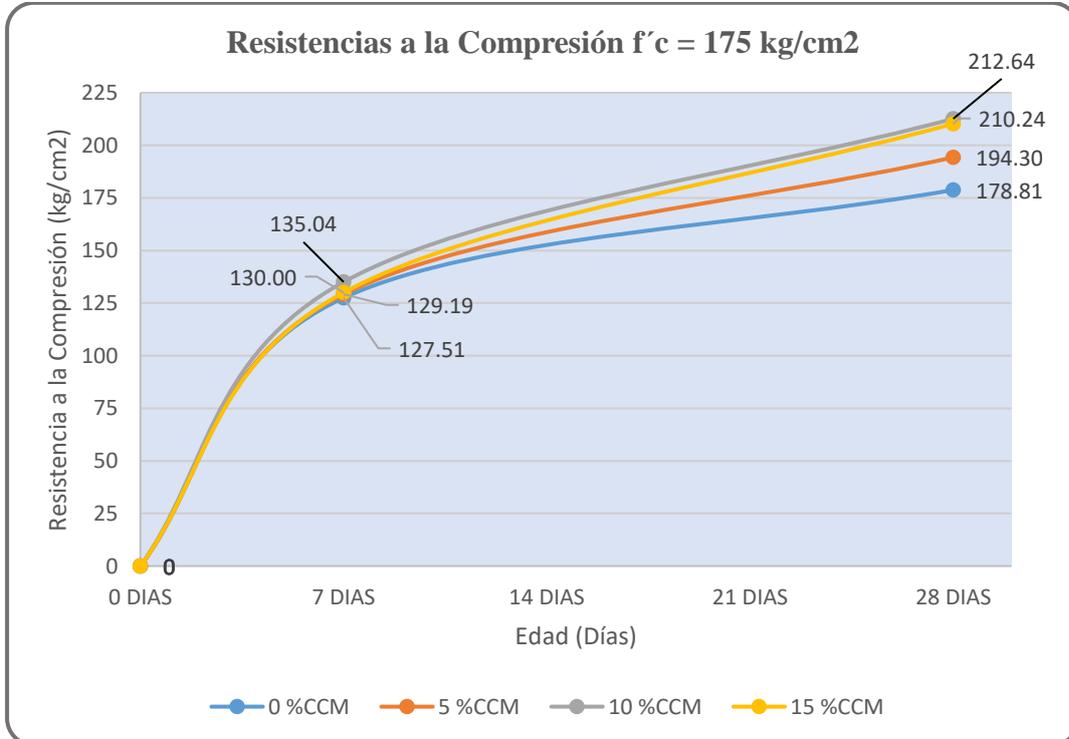
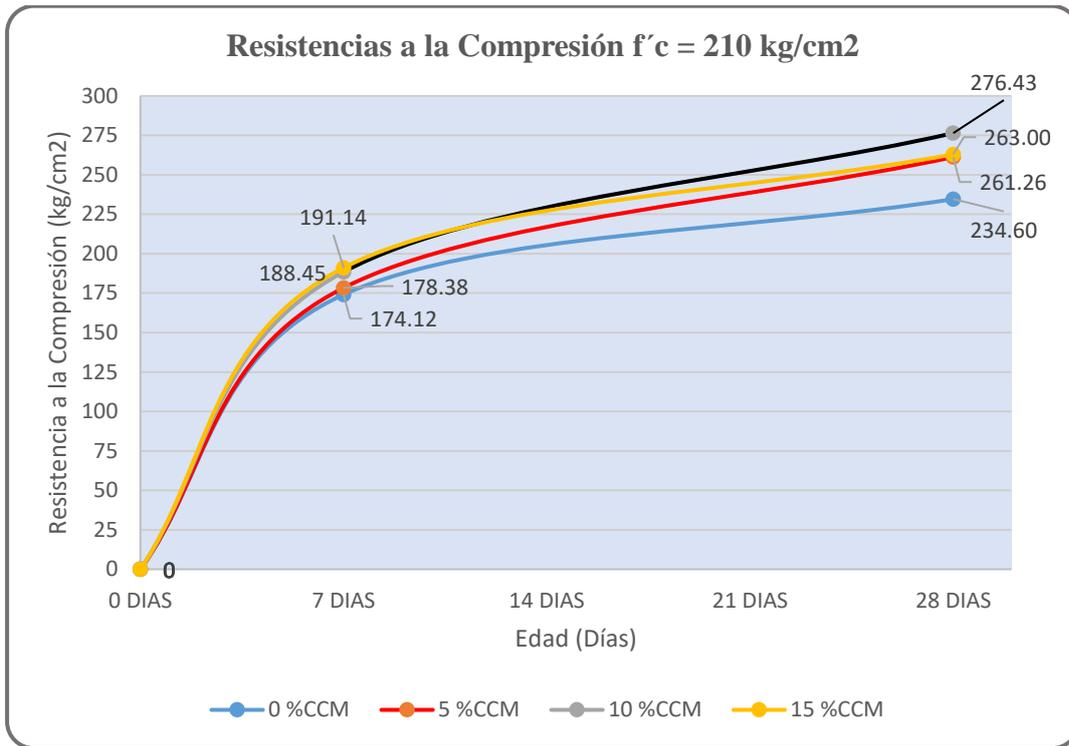
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CONCRETO F´C = 210 KG/CM2 A 7 DIAS

% Adición	Marca	Edad (días)	Carga (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
0 % CCM	MP 11	7 días	31420	15.12	179.553	174.99
	MP 12	7 días	31230	15.15	180.267	173.24
						Promedio = 174.12
5 % CCM	MPA 21	7 días	32050	15.07	178.368	179.68
	MPA 22	7 días	31710	15.1	179.079	177.07
						Promedio = 178.38
10 % CCM	MPA 25	7 días	33110	15.2	181.458	182.47
	MPA 26	7 días	35190	15.18	180.981	194.44
						Promedio = 188.45
15 % CCM	MPA 29	7 días	34350	15.17	180.743	190.05
	MPA 30	7 días	34790	15.18	180.981	192.23
						Promedio = 191.14

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CONCRETO F´C = 210 KG/CM2 A 28 DIAS

% Adición	Marca	Edad (días)	Carga (kg)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
0 % CCM	MP 13	28 días	41560	15.15	180.267	230.55
	MP 14	28 días	42850	15.12	179.553	238.65
						Promedio = 234.60
5 % CCM	MPA 23	28 días	47650	15.15	180.267	264.33
	MPA 24	28 días	46360	15.12	179.553	258.20
						Promedio = 261.26
10 % CCM	MPA 27	28 días	50660	15.17	180.743	280.29
	MPA 28	28 días	49200	15.16	180.505	272.57
						Promedio = 276.43
15 % CCM	MPA 31	28 días	47350	15.13	179.791	263.36
	MPA 32	28 días	47220	15.13	179.791	262.64
						Promedio = 263.00

RESUMEN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN



RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN PARA ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Resistencias a la compresión concreto OP $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 10\% \text{ CCM}$ (28 días)					
Nº Probeta	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg-f)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Tipo de Rotura
MC- 1	15.12	179.553	49200	274.0	d
MC- 2	15.1	179.079	47650	266.1	d
MC- 3	15.145	180.148	50660	281.2	e
MC- 4	15.125	179.672	48360	269.2	d
MC- 5	15.1	179.079	49480	276.3	d
MC- 6	15.12	179.553	49930	278.1	d
MC- 7	15.14	180.029	49220	273.4	d
MC- 8	15.12	179.553	50180	279.5	e
MC- 9	15.135	179.910	50760	282.1	d
MC- 10	15.12	179.553	49840	277.6	d
MC- 11	15.14	180.029	50100	278.3	d
MC- 12	15.12	179.553	49210	274.1	d
MC- 13	15.12	179.553	50160	279.4	d
MC- 14	15.1	179.079	47890	267.4	d
MC- 15	15.13	179.791	48910	272.0	d
MC- 16	15.125	179.672	49130	273.4	d
MC- 17	15.1	179.079	47950	267.8	d
MC- 18	15.1	179.079	48200	269.2	e
MC- 19	15.125	179.672	47960	266.9	d
MC- 20	15.1	179.079	51020	284.9	d
MC- 21	15.14	180.029	50730	281.8	d
MC- 22	15.13	179.791	49340	274.4	d
MC- 23	15.14	180.029	46980	261.0	d
MC- 24	15.1	179.079	50570	282.4	d
MC- 25	15.13	179.791	49920	277.7	d
MC- 26	15.12	179.553	51230	285.3	d
MC- 27	15.125	179.672	49610	276.1	d
MC- 28	15.1	179.079	48740	272.2	d
MC- 29	15.14	180.029	49460	274.7	d
MC- 30	15.13	179.791	50820	282.7	d

Resistencias a la compresión concreto OP $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 11\% \text{ CMM (28 días)}$

Nº Probeta	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg-f)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Tipo de Rotura
MC- 1	15.125	179.672	38860	216.3	d
MC- 2	15.13	179.791	36930	205.4	d
MC- 3	15.14	180.029	37650	209.1	d
MC- 4	15.15	180.267	39610	219.7	d
MC- 5	15.12	179.553	37730	210.1	d
MC- 6	15.13	179.791	38190	212.4	d
MC- 7	15.14	180.029	38840	215.7	e
MC- 8	15.13	179.791	38160	212.2	d
MC- 9	15.14	180.029	38930	216.2	d
MC- 10	15.12	179.553	39050	217.5	d
MC- 11	15.1	179.079	37820	211.2	d
MC- 12	15.12	179.553	38640	215.2	d
MC- 13	15.14	180.029	39420	219.0	d
MC- 14	15.1	179.079	38950	217.5	d
MC- 15	15.13	179.791	38170	212.3	e
MC- 16	15.12	179.553	38010	211.7	d
MC- 17	15.13	179.791	37040	206.0	d
MC- 18	15.1	179.079	37970	212.0	d
MC- 19	15.12	179.553	38480	214.3	d
MC- 20	15.125	179.672	38220	212.7	d
MC- 21	15.13	179.791	39680	220.7	d
MC- 22	15.12	179.553	39260	218.7	d
MC- 23	15.12	179.553	36450	203.0	d
MC- 24	15.1	179.079	37360	208.6	d
MC- 25	15.14	180.029	39200	217.7	d
MC- 26	15.13	179.791	38770	215.6	d
MC- 27	15.125	179.672	37480	208.6	d
MC- 28	15.12	179.553	38510	214.5	d
MC- 29	15.14	180.029	37130	206.2	d
MC- 30	15.1	179.079	37640	210.2	d

B) ENSAYO DE CAPACIDAD Y VELOCIDAD DE ABSORCIÓN NORMAS NTP
 339.232 E IRAM 1781

CRONOGRAMA DE ELABORACIÓN DE ESPECIMENES
Probetas Patrón elaborados en moldes de 100 mm x 200 mm + 0 % de Ceniza

Edades	28 días			
	175 kg/cm ²		210 kg/cm ²	
F'c	MP 1a	MP 1b	MP 1c	MP 1d
Elaboración	6/06/2022	6/06/2022	6/06/2022	6/06/2022
Desencofrado	7/06/2022	7/06/2022	7/06/2022	7/06/2022
Término de curado	4/07/2022	4/07/2022	4/07/2022	4/07/2022
Aserrado	6/07/2022	6/07/2022	6/07/2022	6/07/2022
Absorción	8/07/2022	8/07/2022	8/07/2022	8/07/2022

Nota: Los ensayos de Absorción duraron en promedio 7 días.

Probetas Patrón elaborados en moldes de 100 mm x 200 mm + 5 % de Ceniza

Edades	28 días			
	175 kg/cm ²		210 kg/cm ²	
F'c	MPA 1a	MPA 1b	MPA 1c	MPA 1d
Elaboración	20/06/2022	20/06/2022	21/06/2022	21/06/2022
Desencofrado	21/06/2022	21/06/2022	22/06/2022	22/06/2022
Término de curado	18/07/2022	18/07/2022	19/07/2022	19/07/2022
Aserrado	22/07/2022	22/07/2022	23/07/2022	23/07/2022
Absorción	24/07/2022	24/07/2022	25/07/2022	25/07/2022

Probetas Patrón elaborados en moldes de 100 mm x 200 mm + 10 % de Ceniza

Edades	28 días			
	175 kg/cm ²		210 kg/cm ²	
F'c	MPA 2a	MPA 2b	MPA 2c	MPA 2d
Elaboración	20/06/2022	20/06/2022	21/06/2022	21/06/2022
Desencofrado	21/06/2022	21/06/2022	22/06/2022	22/06/2022
Término de curado	18/07/2022	18/07/2022	19/07/2022	19/07/2022
Aserrado	22/07/2022	22/07/2022	23/07/2022	23/07/2022
Absorción	24/07/2022	24/07/2022	25/07/2022	25/07/2022

Probetas Patrón elaborados en moldes de 100 mm x 200 mm + 15 % de Ceniza

Edades	28 días			
F´c	175 kg/cm ²		210 kg/cm ²	
Marca	MPA 3a	MPA 3b	MPA 3c	MPA 3d
Elaboración	20/06/2022	20/06/2022	21/06/2022	21/06/2022
Desencofrado	21/06/2022	21/06/2022	22/06/2022	22/06/2022
Término de curado	18/07/2022	18/07/2022	19/07/2022	19/07/2022
Aserrado	22/07/2022	22/07/2022	23/07/2022	23/07/2022
Absorción	24/07/2022	24/07/2022	25/07/2022	25/07/2022

RESULTADOS PARA CONCRETOS F´C = 210 KG/CM²
Mediciones pesos secos
TABLA DE MEDICIONES DEL PESO (gr) DE LAS MUESTRAS SECAS (gr)

PESO	0% CCM			5% CCM		
	PM1	PM2	PM3	PM1	PM2	PM3
P -1	918.5	931	893.2	920.3	901	898.4
P -2	907.6	910.4	882.1	909.8	891.5	888.5
P -3	897	909.6	871.7	901.9	880.5	878.2
P -4	896.4	909.1	871.3	901.2	880.1	877.7
% Variación	0.07%	0.05%	0.05%	0.08%	0.05%	0.06%

TABLA DE MEDICIONES DEL PESO (gr) DE LAS MUESTRAS SECAS (gr)

PESO	10% CCM			15% CCM		
	PM1	PM2	PM3	PM1	PM2	PM3
P -1	947.6	918.7	905.4	931	926.4	892.8
P -2	939.4	912	897.2	924.2	918.9	885.1
P -3	929.9	901.3	887.5	915.7	909.3	876.2
P -4	929.3	900.6	887.1	915.2	908.7	875.9
% Variación	0.06%	0.08%	0.05%	0.05%	0.07%	0.03%

Resultados de mediciones de pesos inmersos en agua
TABLA DE MEDICIONES DEL PESO (gr) DE LAS MUESTRAS HÚMEDAS

Tiempo (min / hrs)	Tiempo (s)	Seg ^{^(1/2)}	0% CCM			5% CCM		
			PM1	PM2	PM3	PM1	PM2	PM3
0	0	0	896.4	909.1	871.3	901.2	880.1	877.7
1 min	60	7.746	900.8	913.5	875.6	905.3	884.6	881.3
5 min	300	17.321	902.9	915.8	877.8	907.2	886.8	883.4
10 min	600	24.495	904.4	917.4	879.2	909.7	888.3	884.8
20 min	1200	34.641	905.9	919.5	881.3	910.9	889.7	886.2
0.5	1800	42.426	907	921.7	883.3	911.8	890.6	887.4
1	3600	60.000	909.2	924.1	885.6	913.8	892.7	889.6
2	7200	84.853	911.6	926.5	887.9	915.6	895	891.7
3	10800	103.923	913.3	928.3	889.6	916.8	896.7	892.8
4	14400	120.000	915.5	929.9	891.7	918.7	898.1	894.3
5	18000	134.164	916.1	930.7	892.5	919.1	898.9	895.1
6	21600	146.969	916.8	931.4	893.3	920.5	899.6	895.9
24	86400	293.939	925.4	939.9	902.1	929.6	908	904.6
48	172800	415.692	929.6	944.2	906.4	934.2	912.5	909.1
72	259200	509.117	934.2	948.6	910.6	937.9	916.8	913.5
96	345600	587.878	937.1	950.3	913.5	940.6	919.6	916.3
120	432000	657.267	937.7	950.8	914.1	941.4	920.2	916.9

TABLA DE MEDICIONES DEL PESO (gr) DE LAS MUESTRAS HÚMEDAS

Tiempo (min / hrs)	Tiempo (s)	Seg ^{^(1/2)}	10% CCM			15% CCM		
			PM1	PM2	PM3	PM1	PM2	PM3
0	0	0	929.3	900.6	887.1	915.2	908.7	875.9
1 min	60	7.746	934.4	904.8	891	920.2	913.6	880.8
5 min	300	17.321	935.8	906.9	892.5	921.4	914.5	882.2
10 min	600	24.495	937	908.3	893.1	922.3	915.5	883.1
20 min	1200	34.641	938.2	909.5	894.4	923.5	916.7	884.3
0.5	1800	42.426	939	910.4	895.2	924.2	917.4	885.1
1	3600	60.000	940.9	912.3	897.1	925.4	918.5	886.2
2	7200	84.853	942.9	914.4	898.9	927.4	920.6	888.1
3	10800	103.923	944.1	915.7	900.2	928.7	922.1	889.5
4	14400	120.000	945.1	916.8	901.2	929.5	923.2	890.3
5	18000	134.164	945.7	918.5	902.7	930.2	923.8	891.1
6	21600	146.969	946.2	919.1	903.2	930.8	924.5	891.8
24	86400	293.939	952.1	925.1	909	936.8	930.2	897.6
48	172800	415.692	955.2	928.3	912.1	939.4	932.8	900.2
72	259200	509.117	958	930.1	914.9	942	935.4	903.1
96	345600	587.878	959.7	931.9	916.5	943.5	936.9	904.4
120	432000	657.267	960.4	932.5	917.2	944.1	937.4	904.9

Resultados de la capacidad de absorción

CAPACIDAD DE SUCCIÓN PARA CONCRETOS CON 0% Y 5% CCM

Tiempo	0% CCM			5% CCM		
	PM1	PM2	PM3	PM1	PM2	PM3
t = 0	0	0	0	0	0	0
t = 1 min	0.548	0.547	0.536	0.509	0.562	0.448
t = 5 min	0.810	0.833	0.810	0.744	0.836	0.709
t = 10 min	0.997	1.032	0.984	1.055	1.023	0.883
t = 20 min	1.183	1.293	1.246	1.204	1.198	1.057
t = 30 min	1.320	1.566	1.495	1.315	1.311	1.206
t = 1 hora	1.594	1.865	1.781	1.563	1.573	1.479
t = 2 horas	1.893	2.163	2.068	1.787	1.860	1.741
t = 3 horas	2.105	2.387	2.280	1.936	2.072	1.877
t = 4 horas	2.379	2.586	2.541	2.171	2.247	2.064
t = 5 horas	2.454	2.685	2.641	2.221	2.347	2.163
t = 6 horas	2.541	2.772	2.741	2.395	2.434	2.263
t = 24 horas	3.612	3.829	3.837	3.524	3.482	3.344
t = 48 horas	4.136	4.364	4.372	4.095	4.044	3.904
t = 72 horas	4.709	4.911	4.896	4.554	4.581	4.451
t = 96 horas	5.070	5.122	5.257	4.889	4.930	4.799
t = 120 horas	5.145	5.184	5.332	4.988	5.005	4.873

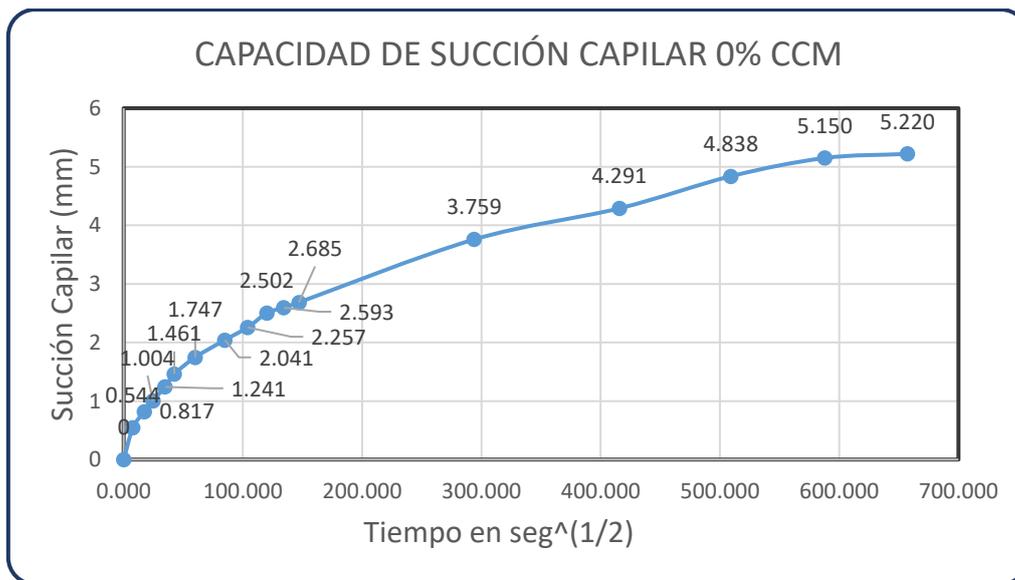
CAPACIDAD DE SUCCIÓN PARA CONCRETOS CON 10% Y 15% CCM

Tiempo	10% CCM			15% CCM		
	PM1	PM2	PM3	PM1	PM2	PM3
t = 0	0	0	0	0	0	0
t = 1 min	0.633	0.524	0.485	0.620	0.612	0.609
t = 5 min	0.807	0.786	0.671	0.769	0.724	0.783
t = 10 min	0.955	0.961	0.746	0.881	0.849	0.895
t = 20 min	1.104	1.111	0.908	1.030	0.999	1.044
t = 30 min	1.204	1.223	1.007	1.117	1.086	1.144
t = 1 hora	1.439	1.460	1.243	1.266	1.223	1.281
t = 2 horas	1.687	1.722	1.467	1.514	1.485	1.517
t = 3 horas	1.836	1.885	1.629	1.675	1.673	1.691
t = 4 horas	1.960	2.022	1.753	1.774	1.810	1.790
t = 5 horas	2.035	2.234	1.939	1.861	1.885	1.890
t = 6 horas	2.097	2.309	2.002	1.936	1.972	1.977
t = 24 horas	2.829	3.058	2.723	2.680	2.684	2.698
t = 48 horas	3.214	3.457	3.108	3.003	3.008	3.021
t = 72 horas	3.561	3.682	3.456	3.325	3.333	3.382
t = 96 horas	3.772	3.907	3.655	3.511	3.520	3.543
t = 120 horas	3.859	3.982	3.742	3.586	3.582	3.605

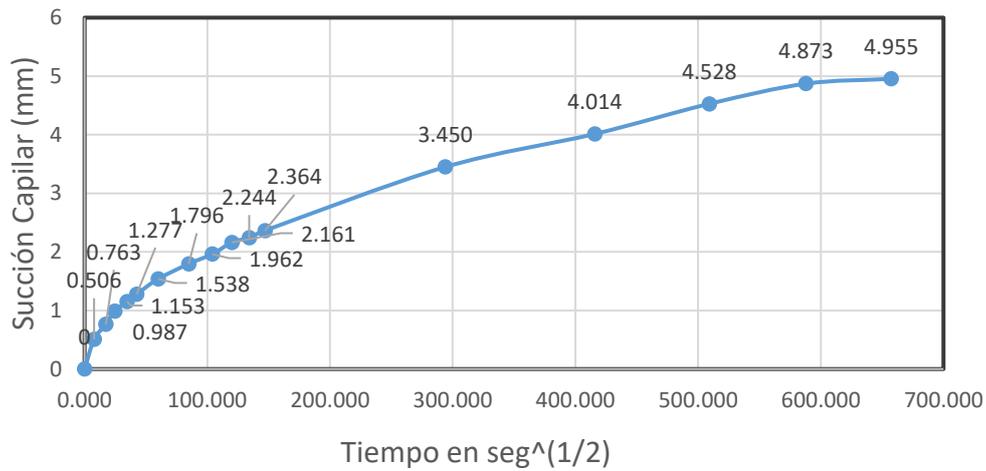
Resultados de la capacidad promedio de absorción

CAPACIDAD PROMEDIO DE ABSORCIÓN MP + %CCM (mm)					
Tiempo	Seg ^{^(1/2)}	CCM 0%	CCM 5%	CCM 10%	CCM 15%
t = 0	0.000	0	0	0	0
t = 1 min	7.746	0.5436	0.5060	0.5473	0.6137
t = 5 min	17.321	0.8174	0.7631	0.7547	0.7588
t = 10 min	24.495	1.0042	0.9869	0.8875	0.8749
t = 20 min	34.641	1.2407	1.1528	1.0409	1.0242
t = 30 min	42.426	1.4606	1.2772	1.1446	1.1155
t = 1 hora	60.000	1.7469	1.5385	1.3810	1.2564
t = 2 horas	84.853	2.0415	1.7957	1.6256	1.5053
t = 3 horas	103.923	2.2573	1.9616	1.7832	1.6794
t = 4 horas	120.000	2.5021	2.1606	1.9118	1.7915
t = 5 horas	134.164	2.5934	2.2436	2.0695	1.8785
t = 6 horas	146.969	2.6847	2.3637	2.1359	1.9615
t = 24 horas	293.939	3.7594	3.4501	2.8699	2.6871
t = 48 horas	415.692	4.2906	4.0141	3.2597	3.0106
t = 72 horas	509.117	4.8383	4.5284	3.5664	3.3465
t = 96 horas	587.878	5.1496	4.8726	3.7779	3.5248
t = 120 horas	657.267	5.2201	4.9555	3.8608	3.5911

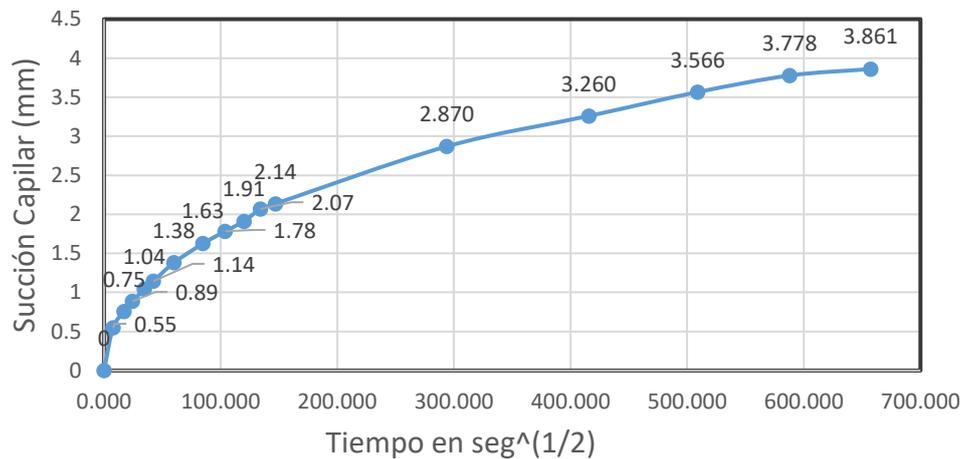
Gráficos de Capacidad de Absorción en cada porcentaje de adición de cenizas



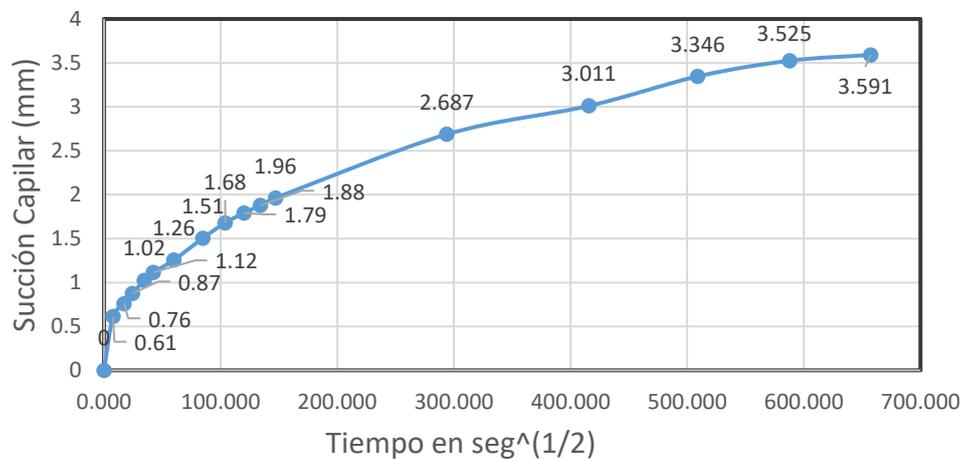
CAPACIDAD DE SUCCIÓN CAPILAR 5% CCM



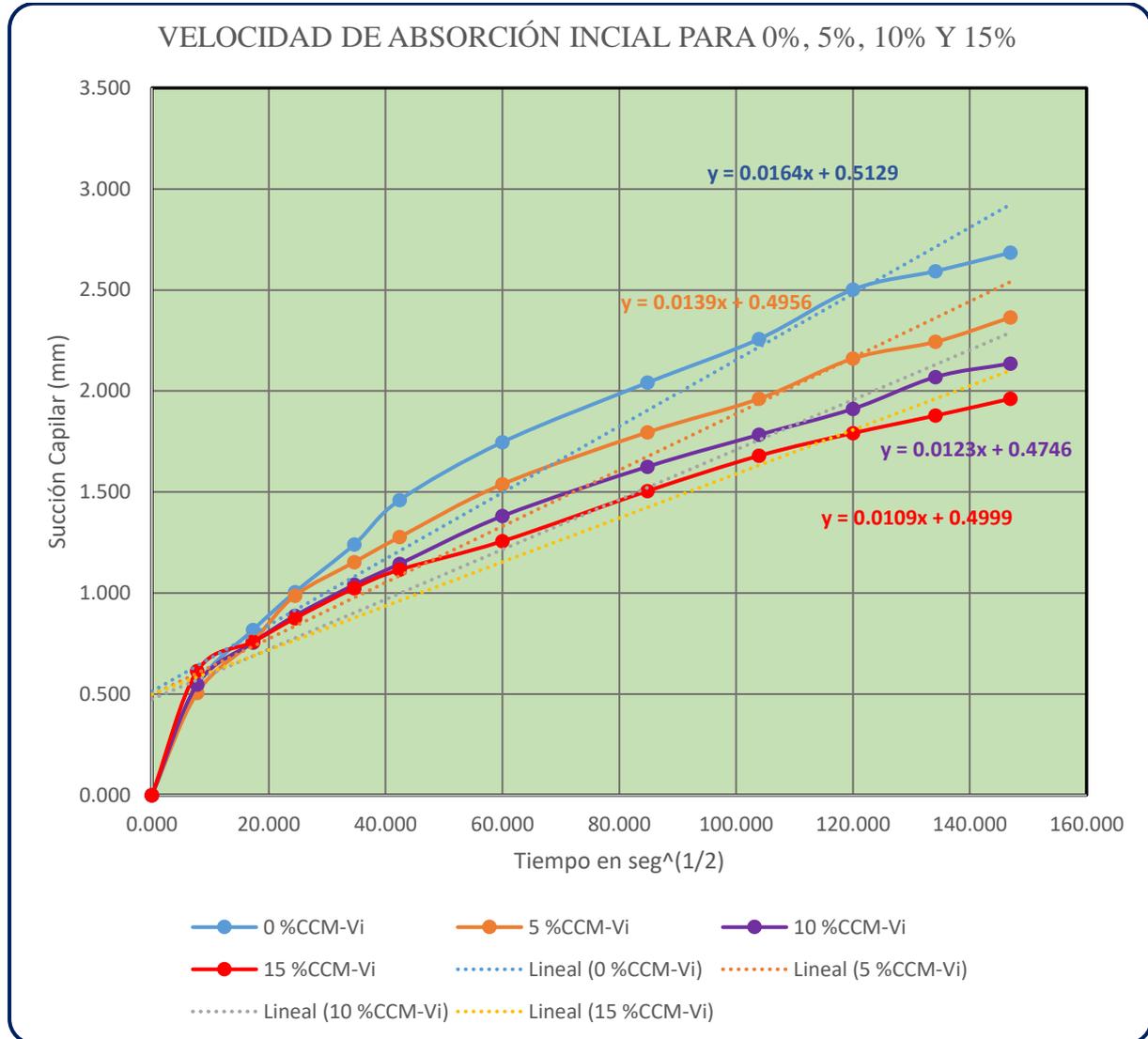
CAPACIDAD DE SUCCIÓN CAPILAR 10% CCM



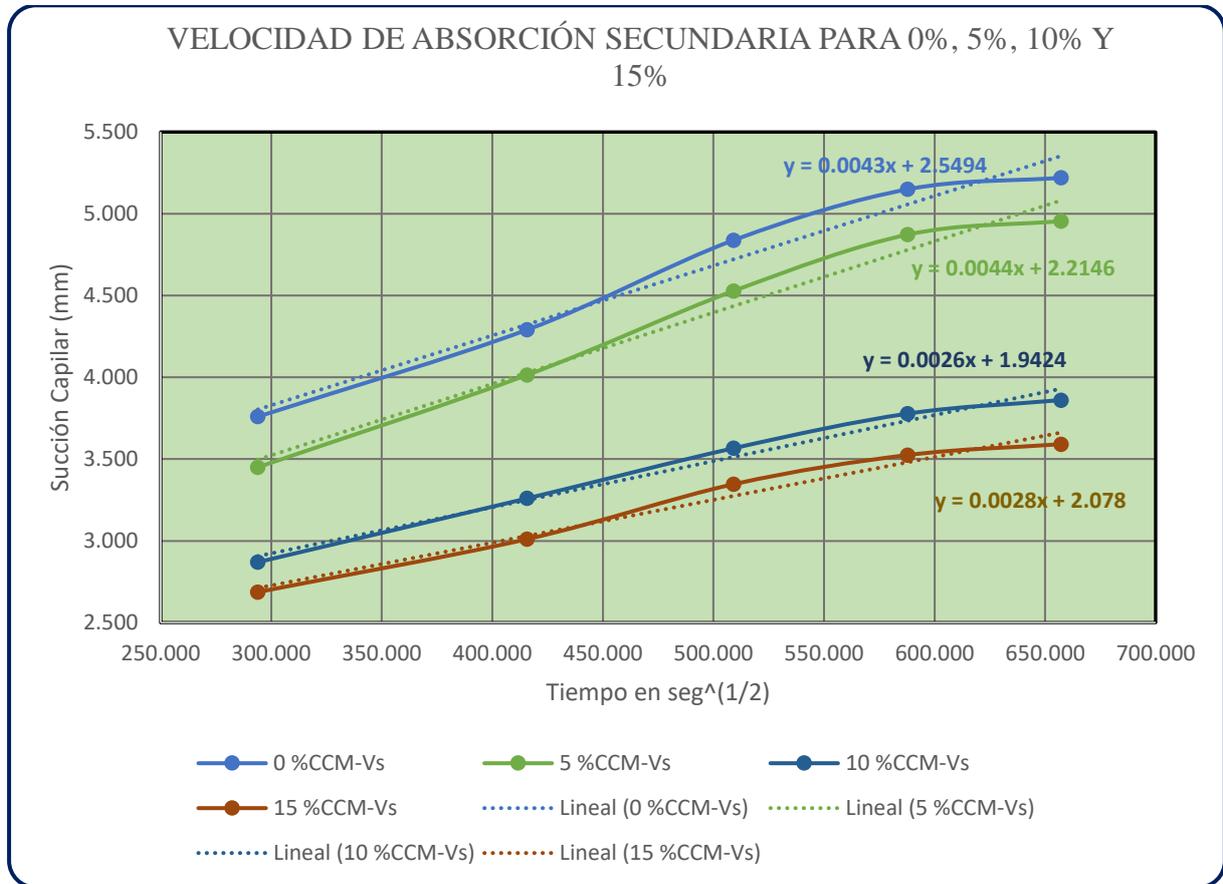
CAPACIDAD DE SUCCIÓN CAPILAR 15% CCM



Resultados de velocidad de absorción inicial



Resultados de velocidad de absorción Secundaria



RESULTADOS PARA CONCRETOS F'C = 175 KG/CM²

Mediciones pesos secos

PESO	0% CCM			5% CCM		
	PM1	PM2	PM3	PM1	PM2	PM3
P -1	909.5	927.4	915.8	925.2	921.4	912.6
P -2	898.2	914.6	903.6	916.4	909.4	903.4
P -3	894.3	910.9	899.9	906.2	895.6	892.8
P -4	893.9	910.3	899.4	905.8	895.2	892.5
% Variación	0.04%	0.07%	0.06%	0.04%	0.04%	0.03%

TABLA DE MEDICIONES DEL PESO (gr) DE LAS MUESTRAS SECAS (gr)

PESO	10% CCM			15% CCM		
	PM1	PM2	PM3	PM1	PM2	PM3
P -1	944.8	916.7	927.6	994.2	941.2	956.9
P -2	935.5	905.2	918.3	985.5	934.5	945.4
P -3	925.7	896.8	907.3	976.1	923.6	937.8
P -4	925.2	896.1	906.8	975.8	922.9	937.2
% Variación	0.05%	0.08%	0.06%	0.03%	0.08%	0.06%

Resultados de mediciones de pesos inmersos en agua
TABLA DE MEDICIONES DEL PESO (gr) DE LAS MUESTRAS HÚMEDAS

Tiempo (min / hrs)	Tiempo (s)	Seg ^(1/2)	0% CCM			5% CCM		
			PM1	PM2	PM3	PM1	PM2	PM3
0	0	0	893.9	910.3	899.4	905.8	895.2	892.5
1 min	60	7.746	899.8	916.3	905.2	911.8	901.1	898.3
5 min	300	17.321	901.8	918.2	907.4	913.9	903	900.2
10 min	600	24.495	903.4	919.9	909.1	915.4	904.5	901.7
20 min	1200	34.641	904.9	921.5	910.5	916.2	906.2	903.4
0.5	1800	42.426	906.1	922.6	911.8	917.1	907.1	904.2
1	3600	60.000	907.6	924.1	913.1	919.4	909.7	906.9
2	7200	84.853	910.4	926.7	915.9	922.1	912.4	909.2
3	10800	103.923	912.5	928.8	918	924.2	914.5	911.1
4	14400	120.000	914.1	930.3	919.7	926.1	915.9	912.4
5	18000	134.164	915.1	931.5	920.8	926.8	916.9	913.5
6	21600	146.969	915.9	932.3	921.7	928.1	917.6	914.4
24	86400	293.939	926.4	943.9	932.2	938.6	927.8	924.7
48	172800	415.692	931.8	949.3	937.7	943.6	933.1	929.8
72	259200	509.117	937.2	953.8	942.8	948.7	938.2	934.6
96	345600	587.878	939.3	955.9	944.8	950.2	941.3	937.1
120	432000	657.267	939.8	956.5	945.5	950.6	941.7	937.6

TABLA DE MEDICIONES DEL PESO (gr) DE LAS MUESTRAS HÚMEDAS

Tiempo (min / hrs)	Tiempo (s)	Seg ^{^(1/2)}	10% CCM			15% CCM		
			PM1	PM2	PM3	PM1	PM2	PM3
0	0	0	925.2	896.1	906.8	975.8	922.9	937.2
1 min	60	7.746	931.6	902.2	913.2	980.9	928	942.3
5 min	300	17.321	933.6	904.3	915.3	982.1	929.3	943.5
10 min	600	24.495	934.5	905.2	916.2	982.9	930.1	944.2
20 min	1200	34.641	936.1	906.9	917.8	983.7	930.8	945.1
0.5	1800	42.426	937.1	908	918.6	984.5	931.8	945.8
1	3600	60.000	939.6	910.4	921	986.1	933.4	947.3
2	7200	84.853	942	912.3	923.1	987.9	935.3	949.1
3	10800	103.923	943.8	914.2	925.6	989.3	936.7	950.6
4	14400	120.000	945	915.3	926.9	990.2	937.4	951.1
5	18000	134.164	946	916.4	927.6	990.8	938.1	951.9
6	21600	146.969	947.7	918.1	929.3	991.4	938.7	952.6
24	86400	293.939	955.3	925.2	936.4	997.6	942.9	958.9
48	172800	415.692	959.3	928.9	940.1	1000.2	945.8	961.8
72	259200	509.117	963.1	933.3	943.8	1002.8	948.7	964.3
96	345600	587.878	965.2	934.4	945.3	1004.4	950.6	965.9
120	432000	657.267	965.5	935.1	945.6	1004.9	950.9	966.5

Resultados de la capacidad de absorción
CAPACIDAD DE SUCCIÓN PARA CONCRETOS CON 0% Y 5% CCM

Tiempo	0% CCM			5% CCM		
	PM1	PM2	PM3	PM1	PM2	PM3
t = 0	0	0	0	0	0	0
t = 1 min	0.735	0.746	0.722	0.744	0.736	0.722
t = 5 min	0.984	0.982	0.997	1.005	0.974	0.959
t = 10 min	1.183	1.193	1.208	1.191	1.161	1.146
t = 20 min	1.370	1.392	1.383	1.290	1.373	1.358
t = 30 min	1.520	1.529	1.545	1.402	1.485	1.457
t = 1 hora	1.707	1.716	1.707	1.687	1.810	1.794
t = 2 horas	2.055	2.039	2.055	2.022	2.147	2.080
t = 3 horas	2.317	2.300	2.317	2.283	2.409	2.317
t = 4 horas	2.516	2.486	2.529	2.519	2.584	2.479
t = 5 horas	2.641	2.636	2.666	2.606	2.708	2.616
t = 6 horas	2.741	2.735	2.778	2.767	2.796	2.728
t = 24 horas	4.048	4.177	4.086	4.070	4.069	4.011
t = 48 horas	4.721	4.849	4.771	4.690	4.730	4.646
t = 72 horas	5.394	5.408	5.406	5.323	5.367	5.244
t = 96 horas	5.655	5.669	5.655	5.509	5.754	5.556
t = 120 horas	5.718	5.744	5.743	5.559	5.804	5.618

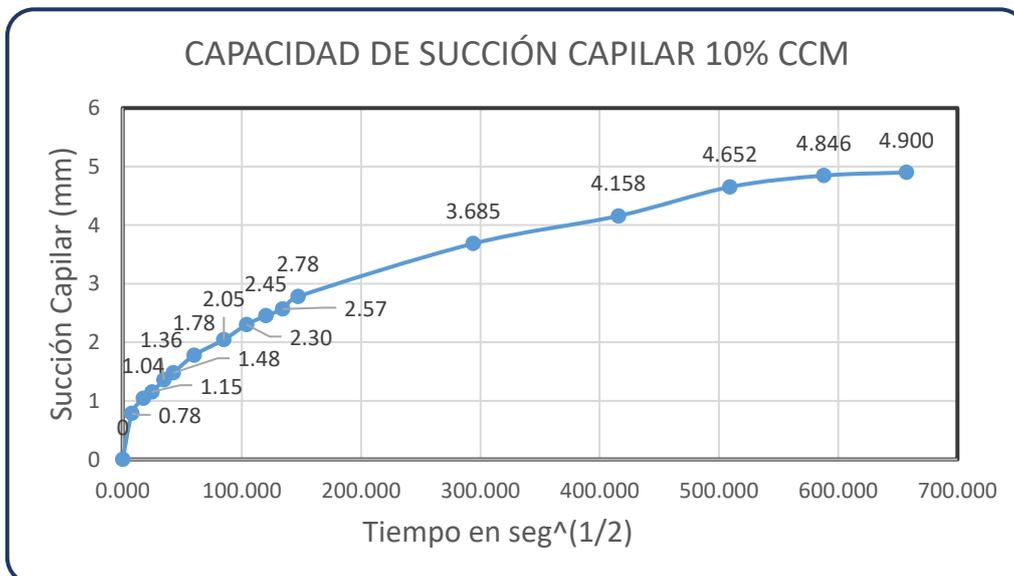
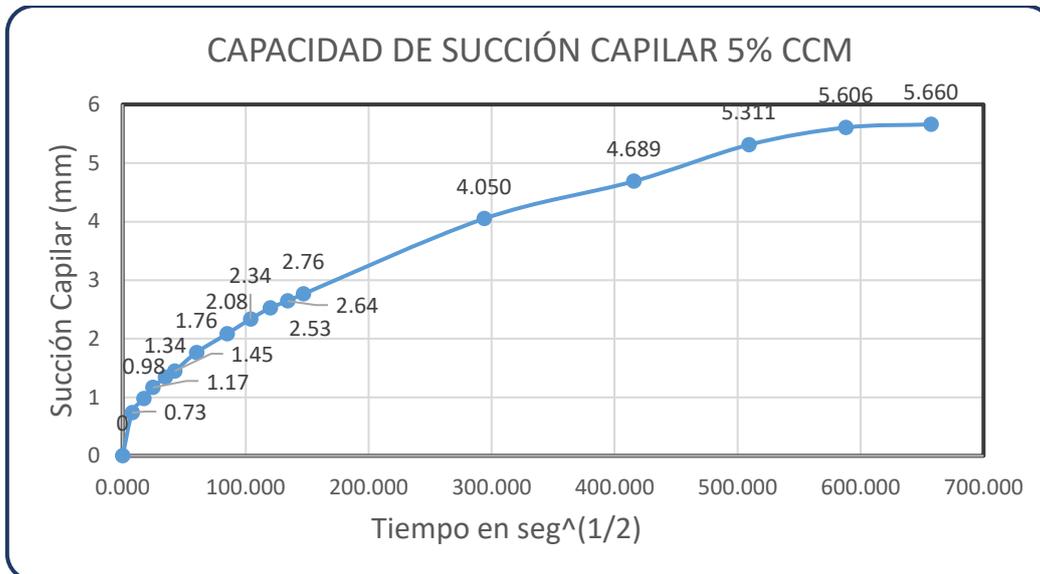
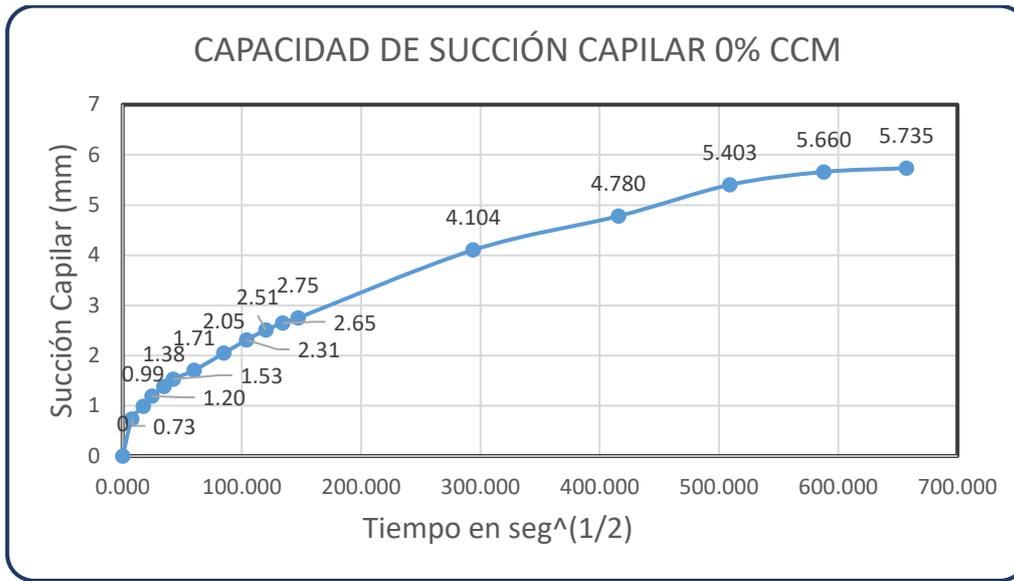
CAPACIDAD DE SUCCIÓN PARA CONCRETOS CON 10% Y 15% CCM

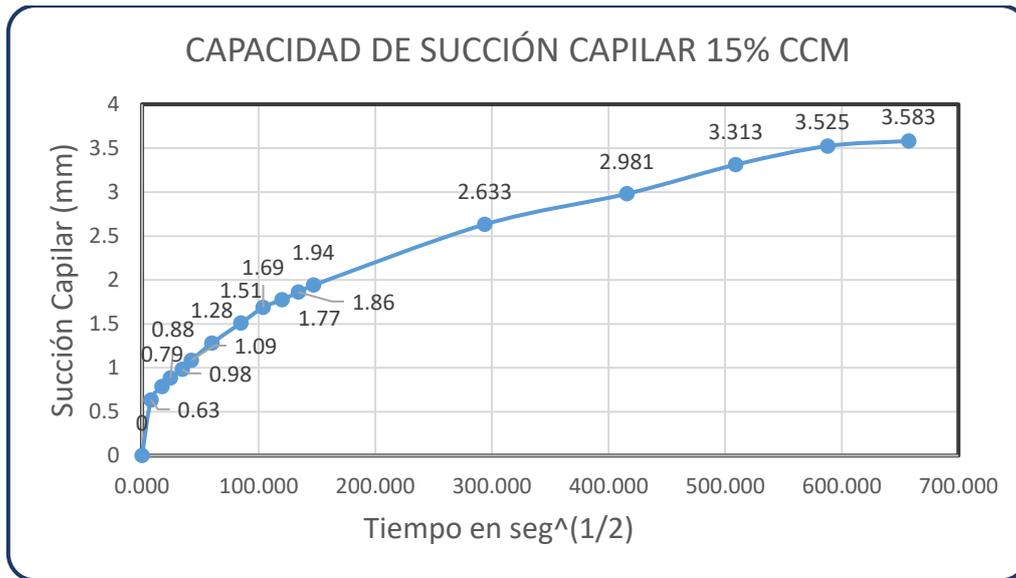
Tiempo	10% CCM			15% CCM		
	PM1	PM2	PM3	PM1	PM2	PM3
t = 0	0	0	0	0	0	0
t = 1 min	0.794	0.761	0.797	0.633	0.637	0.634
t = 5 min	1.042	1.023	1.059	0.782	0.799	0.783
t = 10 min	1.154	1.136	1.171	0.881	0.899	0.870
t = 20 min	1.352	1.348	1.370	0.980	0.986	0.982
t = 30 min	1.477	1.485	1.470	1.079	1.111	1.069
t = 1 hora	1.787	1.785	1.769	1.278	1.311	1.256
t = 2 horas	2.084	2.022	2.030	1.501	1.548	1.479
t = 3 horas	2.308	2.259	2.342	1.675	1.722	1.666
t = 4 horas	2.457	2.396	2.504	1.787	1.810	1.728
t = 5 horas	2.581	2.534	2.591	1.861	1.897	1.828
t = 6 horas	2.792	2.746	2.803	1.936	1.972	1.915
t = 24 horas	3.735	3.632	3.687	2.705	2.496	2.698
t = 48 horas	4.231	4.094	4.148	3.027	2.858	3.058
t = 72 horas	4.703	4.643	4.609	3.350	3.220	3.369
t = 96 horas	4.963	4.780	4.796	3.549	3.457	3.568
t = 120 horas	5.000	4.868	4.833	3.611	3.495	3.643

Resultados de la capacidad promedio de absorción

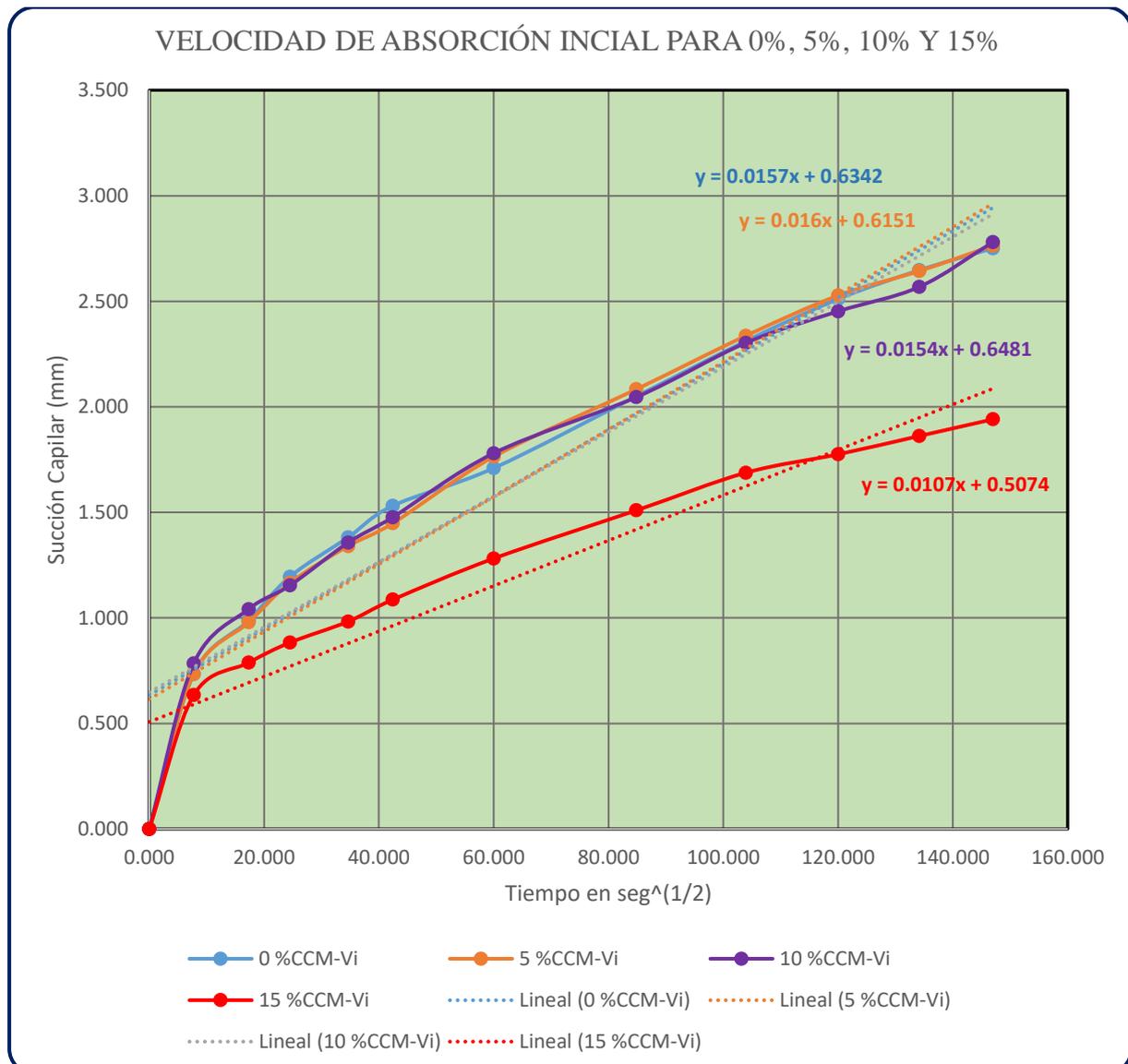
CAPACIDAD PROMEDIO DE ABSORCIÓN MP + %CCM (mm)					
Tiempo	Seg ^{1/2}	CCM 0%	CCM 5%	CCM 10%	CCM 15%
t = 0	0.000	0	0	0	0
t = 1 min	7.746	0.734	0.734	0.784	0.634
t = 5 min	17.321	0.988	0.979	1.042	0.788
t = 10 min	24.495	1.195	1.166	1.154	0.883
t = 20 min	34.641	1.382	1.340	1.357	0.983
t = 30 min	42.426	1.531	1.448	1.477	1.086
t = 1 hora	60.000	1.710	1.764	1.780	1.281
t = 2 horas	84.853	2.050	2.083	2.046	1.509
t = 3 horas	103.923	2.311	2.336	2.303	1.688
t = 4 horas	120.000	2.510	2.527	2.452	1.775
t = 5 horas	134.164	2.647	2.643	2.569	1.862
t = 6 horas	146.969	2.751	2.764	2.780	1.941
t = 24 horas	293.939	4.104	4.050	3.685	2.633
t = 48 horas	415.692	4.780	4.689	4.158	2.981
t = 72 horas	509.117	5.403	5.311	4.652	3.313
t = 96 horas	587.878	5.660	5.606	4.846	3.525
t = 120 horas	657.267	5.735	5.660	4.900	3.583

Gráficos de Capacidad de Absorción en cada porcentaje de adición de cenizas

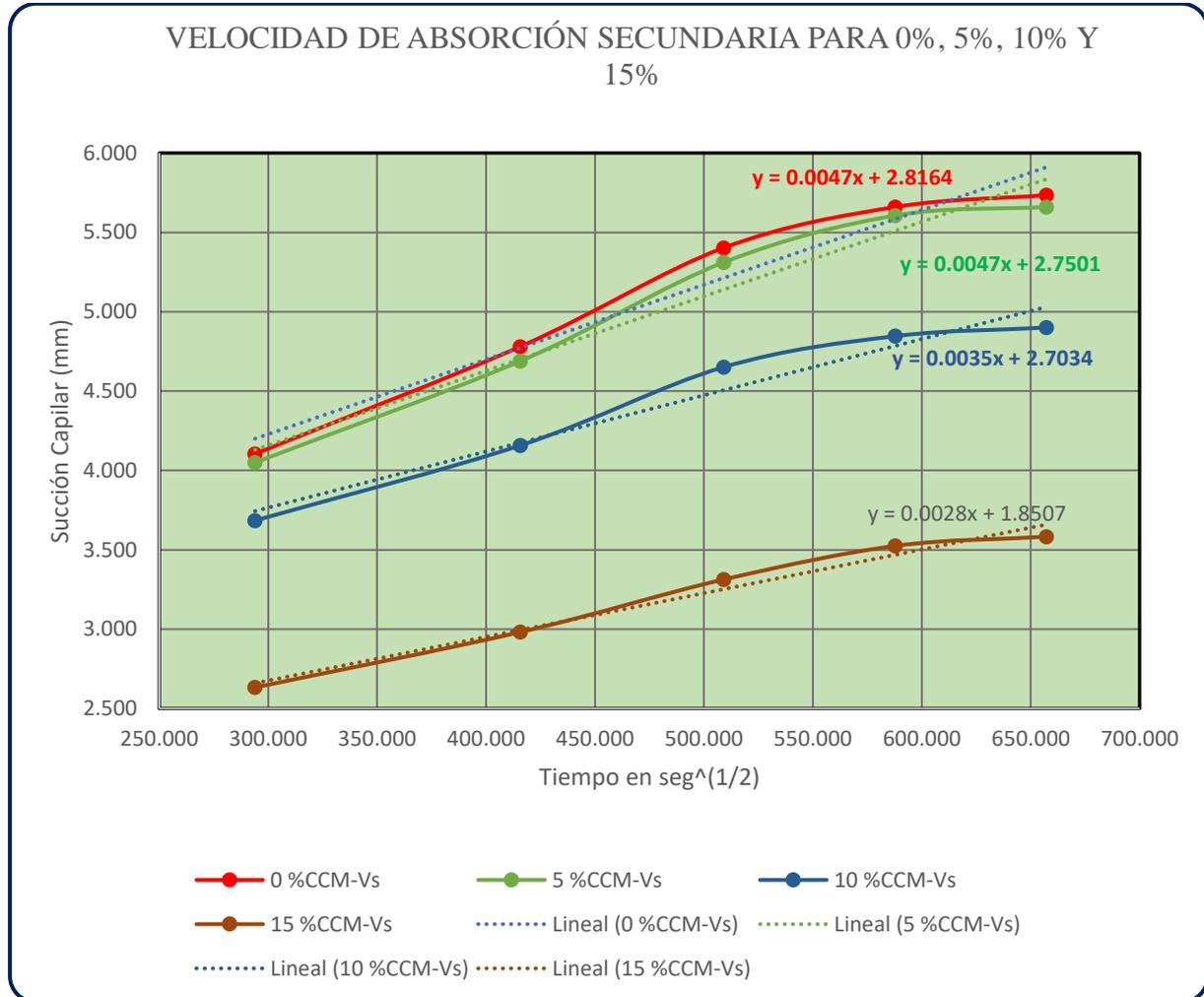




Resultados de velocidad de absorción inicial



Resultados de velocidad de absorción Secundaria



C) ENSAYO DE DENSIDAD, ABORSCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS NTP 339.187

El ensayo de densidad, absorción y porcentaje de vacíos se realizó entre el 04 y 12 de agosto del año 2022. A continuación, se muestra el ensayo de gabinete:

Ensayo de concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y adicionados

Peso de las muestras secas

Peso de muestras secas en concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

PESO (gr) DE LAS MUESTRAS SECAS (A)								
PESO	0% CCM		5% CCM		10% CCM		15% CCM	
	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2
P -1	1485.4	1468.6	1454.7	1445.3	2616	2597.4	2661.5	2648.1
P -2	1465.7	1456.8	1436	1439.7	2569.5	2579.2	2618.2	2612.8
P -3	1443.6	1432.2	1432.6	1423.5	2543.9	2541.5	2599.6	2596.5
P -4	1441.2	1431.7	1431.3	1422.4	2540	2539.5	2590.3	2586.6
% Variación	0.17%	0.03%	0.09%	0.08%	0.15%	0.08%	0.36%	0.38%

Peso de las muestras después de la inmersión

Peso de muestras luego de la inmersión en agua de concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

PESO (gr) DE LAS MUESTRAS DESPUES DE LA INMERSIÓN (B)								
PESO	0% CCM		5% CCM		10% CCM		15% CCM	
	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2
P -1	1523.8	1512.5	1523.5	1519.6	2704.6	2701.6	2761.5	2758.6
P -2	1551.6	1548.8	1546.7	1540.2	2747.2	2741.3	2795.4	2791.4
P -3	1573.9	1563.4	1563.4	1556.9	2764.6	2762.7	2807.1	2802.8
P -4	1579.4	1567.6	1569.9	1560.3	2768.1	2765.2	2808.7	2804.4
% Variación	0.35%	0.27%	0.42%	0.22%	0.13%	0.09%	0.06%	0.06%

Peso de las muestras después de inmersión y hervido

Peso de muestras luego de la inmersión y hervido de concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

PESO (gr) DE MUESTRAS DESPUES DE LA INMERSIÓN Y HERVIDO (C)								
PESO	0% CCM		5% CCM		10% CCM		15% CCM	
	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2
P -1	1581.2	1569.4	1571.1	1561.5	2770.9	2766.8	2810.1	2805.8

Peso de las muestras sumergido

Peso Sumergido de muestras de concretos $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

PESO SUMERGIDO (gr) DE MUESTRAS (D)								
PESO	0% CCM		5% CCM		10% CCM		15% CCM	
	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2
P -1	899.7	889.4	893.3	889.2	1575.8	1572.5	1604.9	1601.6

Ensayo de concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y adicionados

Peso de las muestras secas

Peso de muestras secas en concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

PESO (gr) DE LAS MUESTRAS SECAS (A)								
PESO	0% CCM		5% CCM		10% CCM		15% CCM	
	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2
P -1	2578.2	2577.6	2583.7	2587.5	2632.5	2596.6	2578.5	2593.2
P -2	2556.7	2554.8	2536.8	2538.7	2588.7	2569.2	2536.1	2572.7
P -3	2525.9	2524.4	2520.4	2523.2	2566.9	2543.9	2516.4	2533.5
P -4	2524.6	2522.6	2516.1	2520.6	2563.5	2541.7	2512.2	2532.4
% Variación	0.05%	0.07%	0.17%	0.10%	0.13%	0.09%	0.17%	0.04%

Peso de las muestras después de la inmersión

Peso de muestras luego de la inmersión en agua de concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

PESO (gr) DE LAS MUESTRAS DESPUES DE LA INMERSIÓN (B)								
PESO	0% CCM		5% CCM		10% CCM		15% CCM	
	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2
P -1	2712.5	2706.4	2668.4	2689.5	2714.6	2708.2	2695.6	2686.3
P -2	2732.8	2726.6	2725.8	2735.2	2747.2	2732.3	2702.3	2718.5
P -3	2766.7	2763.9	2757.5	2761.8	2782.6	2752.9	2726.4	2742.8
P -4	2769.4	2765.5	2758.2	2762.4	2785.8	2755.6	2728	2745.6
% Variación	0.10%	0.06%	0.03%	0.02%	0.12%	0.10%	0.06%	0.10%

Peso de las muestras después de inmersión y hervido

Peso de muestras luego de la inmersión y hervido de concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

PESO (gr) DE MUESTRAS DESPUES DE LA INMERSIÓN Y HERVIDO (C)								
PESO	0% CCM		5% CCM		10% CCM		15% CCM	
	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2
P -1	2770.5	2766.6	2758.5	2762.8	2786.4	2756.3	2729.1	2746.7

Peso de las muestras sumergidas

Peso sumergido de muestras de concretos $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 0%, 5%, 10% y 15% de CCM

PESO SUMERGIDO (gr) DE MUESTRAS (D)								
PESO	0% CCM		5% CCM		10% CCM		15% CCM	
	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2
P -1	1579.7	1576.6	1569.8	1572.4	1593.3	1578.9	1559.2	1577.5


TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"
TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER **ASESOR** : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
 Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS

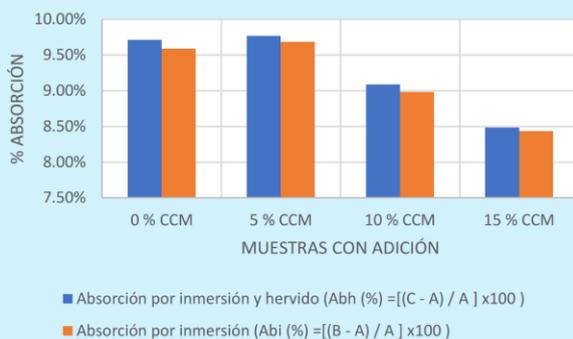
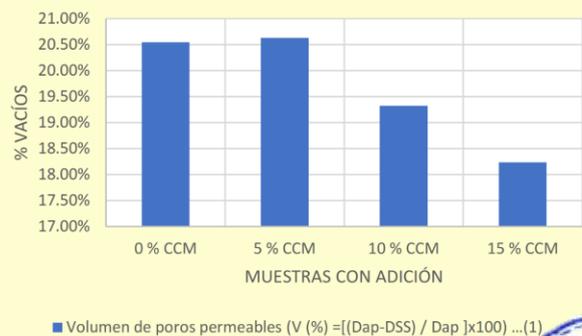
MUESTRA : CILINDROS DE CONCRETO F' C = 210 KG/CM2 **FECHA** : 04/08/22 al 12/08/2022

ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL CONCRETO ENDURECIDO (NTP 339.187)
A) RESULTADOS DE CONCRETOS F' C = 210 KG/CM2

Diámetro: 10.00 cm

Altura: 14.50 cm

DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS EN CONCRETO ENDURECIDO F' C =210 KG/CM2				
Descripción	0 % CCM	5 % CCM	10 % CCM	15 % CCM
A = Peso de muestra secada en horno	1441.20 gr	1431.30 gr	2540.00 gr	2590.30 gr
B = Peso saturado luego de la inmersión	1579.40 gr	1569.90 gr	2768.10 gr	2808.70 gr
C = Peso saturado después de hervido	1581.20 gr	1571.10 gr	2770.90 gr	2810.10 gr
D = Peso aparente sumergido	899.70 gr	893.30 gr	1575.80 gr	1604.90 gr
Absorción por inmersión (Abi (%) = $[(B - A) / A] \times 100$)	9.59%	9.68%	8.98%	8.43%
Absorción por inmersión y hervido (Abh (%) = $[(C - A) / A] \times 100$)	9.71%	9.77%	9.09%	8.49%
Densidad seca (DSS = $[A / (C-D)]\rho$)	2.11 gr/cm ³	2.11 gr/cm ³	2.13 gr/cm ³	2.15 gr/cm ³
Densidad después de inmersión (Di = $[B / (C-D)]\rho$)	2.32 gr/cm ³	2.32 gr/cm ³	2.32 gr/cm ³	2.33 gr/cm ³
Densidad después de inmersión y hervido (Dih = $[C / (C-D)]\rho$)	2.32 gr/cm ³	2.32 gr/cm ³	2.32 gr/cm ³	2.33 gr/cm ³
Densidad aparente (Dap = $[A / (A-D)]$)	2.66 gr/cm ³	2.66 gr/cm ³	2.63 gr/cm ³	2.63 gr/cm ³
Volumen de poros permeables (V (%) = $[(Dap-DSS) / Dap] \times 100$) ... (1)	20.54%	20.63%	19.32%	18.24%
Volumen de poros permeables (V (%) = $[(C - A) / (C - D)] \times 100$) (2)	20.54 %	20.63 %	19.32 %	18.24 %

ABS. POR INMERSIÓN VS ABS. POR HERVIDO

VOLUMEN DE VACIOS PARA DIFERENTES PORCENTAJES DE CCM

 * ρ = Es la densidad del agua 1gr/cm³ o 1Mg/m³.



UNS
 UNIVERSIDAD
 NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
TESIS : " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"
TESISTAS Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER **ASESOR** : Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
 Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS

LUGAR : LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS

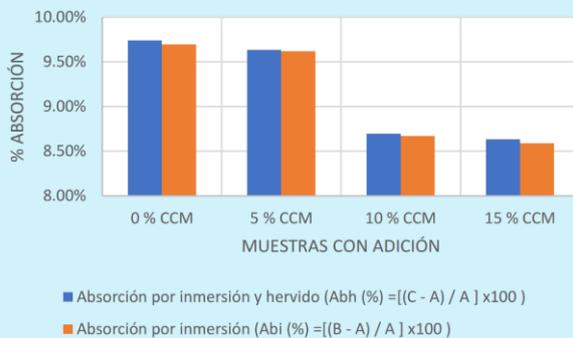
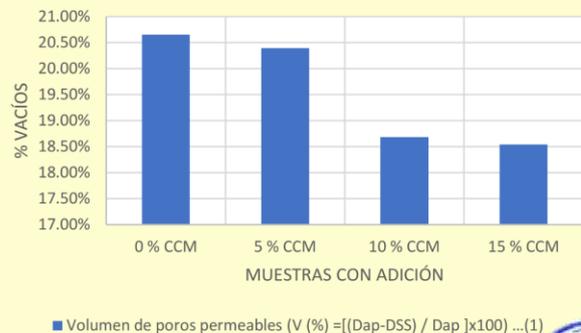
MUESTRA : CILINDROS DE CONCRETO F' C = 175 KG/CM2 **FECHA** : 04/08/22 al 12/08/2022

ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL CONCRETO ENDURECIDO (NTP 339.187)
A) RESULTADOS DE CONCRETOS F' C = 175 KG/CM2

Diámetro: 10.00 cm

Altura: 14.50 cm

DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS EN CONCRETO ENDURECIDO F' C = 175 KG/CM2				
Descripción	0 % CCM	5 % CCM	10 % CCM	15 % CCM
A = Peso de muestra secada en horno	2524.60 gr	2516.10 gr	2563.50 gr	2512.20 gr
B = Peso saturado luego de la inmersión	2769.40 gr	2758.20 gr	2785.80 gr	2728.00 gr
C = Peso saturado después de hervido	2770.50 gr	2758.50 gr	2786.40 gr	2729.10 gr
D = Peso aparente sumergido	1579.70 gr	1569.80 gr	1593.30 gr	1559.20 gr
Absorción por inmersión (Abi (%)) = $[(B - A) / A] \times 100$	9.70%	9.62%	8.67%	8.59%
Absorción por inmersión y hervido (Abh (%)) = $[(C - A) / A] \times 100$	9.74%	9.63%	8.70%	8.63%
Densidad seca (DSS = $[A / (C-D)]\rho$)	2.12 gr/cm ³	2.12 gr/cm ³	2.15 gr/cm ³	2.15 gr/cm ³
Densidad después de inmersión (Di = $[B / (C-D)]\rho$)	2.33 gr/cm ³	2.32 gr/cm ³	2.33 gr/cm ³	2.33 gr/cm ³
Densidad después de inmersión y hervido (Dih = $[C / (C-D)]\rho$)	2.33 gr/cm ³	2.32 gr/cm ³	2.34 gr/cm ³	2.33 gr/cm ³
Densidad aparente (Dap = $[A / (A-D)]$)	2.67 gr/cm ³	2.66 gr/cm ³	2.64 gr/cm ³	2.64 gr/cm ³
Volumen de poros permeables (V (%)) = $[(Dap-DSS) / Dap] \times 100$... (1)	20.65%	20.39%	18.68%	18.54%
Volumen de poros permeables (V (%)) = $[(C - A) / (C - D)] \times 100$ (2)	20.65 %	20.39 %	18.68 %	18.54 %

ABS. POR INMERSIÓN VS ABS. POR HERVIDO

VOLUMEN DE VACIOS PARA DIFERENTES PORCENTAJES DE CCM

 *ρ = Es la densidad del agua 1gr/cm³ o 1Mg/m³.


7.6. ANEXO N° 06: ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CENIZA Y FINEZA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO LABICER
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



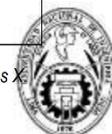
INFORME TÉCNICO N° 0132 – 22 – LABICER

- 1. DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 NOMBRE DE LOS SOLICITANTES : ALDEIR ALEXANDER POLO LOPEZ
JOSÉ LUIS ARCE FLORES
 - 1.2 DNI : 60226183
73891549
- 2. CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 11 / 02 / 2022
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 11 / 02 / 2022
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 14 / 02 / 2022
- 3. ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA
- 4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE CENIZA DE CARBÓN MINERAL DE COCINA
 - 4.2 PROCEDENCIA : CONCHUCOS – PALLASCA – ANCASH
 - 4.3 PROYECTO DE TESIS : "INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"
- 5. LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
- 6. CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 22.1°C; Humedad relativa: 65%
- 7. EQUIPO UTILIZADO** : ESPECTRÓMETRO DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X DE ENERGÍA DISPERSIVA. SHIMADZU, EDX 800HS.
- 8. RESULTADOS**
 - 8.1 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS, %	MÉTODO UTILIZADO
Silicio, Si	50.04	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ^(1,2)
Aluminio, Al	32.94	
Hierro, Fe	6.266	
Calcio, Ca	3.119	
Titano, Ti	2.955	
Potasio, K	2.412	
Azufre, S	1.601	
Fósforo, P	0.354	
Zinc, Zn	0.192	
Vanadio, V	0.087	
Cobre, Cu	0.034	

⁽¹⁾ Balance de resultados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

⁽²⁾ Método utilizado aceptado por el solicitante.



8.2 ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA EXPRESADO EN ÓXIDOS

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADOS, % ⁽²⁾	MÉTODO UTILIZADO
Óxido de aluminio, Al ₂ O ₃	51.723	Espectrometría de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva ^(1,3)
Óxido de silicio, SiO ₂	36.448	
Óxido de potasio, K ₂ O	4.326	
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	4.287	
Óxido de titanio, TiO ₂	1.456	
Óxido de calcio, CaO	1.171	
Óxido de fósforo, P ₂ O ₅	0.354	
Óxido de azufre, SO ₃	0.127	
Óxido de vanadio, V ₂ O ₅	0.055	
Óxido de zinc, ZnO	0.045	
Óxido de cobre, CuO	0.008	

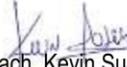
⁽¹⁾ Balance de resultados al 100% de óxidos calculados del análisis elemental (del sodio al uranio) por espectrometría de fluorescencia de rayos X. Análisis semicuantitativo en atmósfera de vacío.

⁽²⁾ Resultados expresados en óxidos según pedido del solicitante.

⁽³⁾ Método utilizado aceptado por el solicitante.

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este Informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.


Bach. Kevin Sulca
Analista
LABICER –UNI




M.Sc. Ily Marilú Maza Mejía
Responsable de análisis
Jefe de Laboratorio
CQP 1149

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

TESIS	: " INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCCHA – CONCHUCOS 2021"		
TESISTAS	Bach. POLO LOPEZ ALDEIR ALEXANDER Bach. ARCE FLORES JOSE LUIS	ASESOR	: Dr. Ing. LOPEZ CARRANZA ATILIO RUBEN
LUGAR	: LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES - UNS	ORIGEN:	: CONCHUCOS - PALLASCA - ANCASH
MUESTRA	: CENIZA DE CARBÓN MINERAL DE COCINA	FECHA	: 19/06/22

FINURA DE LA CENIZA DE CARBÓN POR EL TAMIZ DE 45 μ m(N°325) (NTP 334.045/ASTM C 430)

CALIBRACION DEL TAMIZ DE 45mm (N°325)

a) Residuo sobre el tamiz 45um utilizando cemento Portland	1.70 %
b) Residuo para 1g de muestra	0.017
c) Residuo sobre el tamiz que se calibra	0.01924 g
Diferencia	-0.00224 g
Factor de corección	-11.64 %

Con una muestra de 1000 g de cemento se obtuvo: 19.24 g

CÁLCULO DE LA FINURA DE LA CENIZA DE CARBÓN MINERAL DE COCINA

$$R_c = R_s \cdot (100 + C)$$

$$F = 100 - R_c$$

Donde:

F = Finura de la ceniza expresado como el porcentaje corregido que pasa por el tamiz de 45 um (N.325)

R_c = Residuo corregido en %

R_s = Residuo de la muestra retenida sobre el tamiz de 45 migras (en gramos)

C = Factor de corrección del tamiz (puede ser positivo o negativo)

Entonces,

Factor de corrección calculado (C) =	-11.64 %
Residuo de la muestra de ensayo	0.35270 g
Residuo corregido, R _c =	31.16 %
Cantidad corregida que pasa por F = 100 - R _c =	68.84 %
% retenido en el tamiz N° 325	31.16 %



7.7. ANEXO N° 07: EVALUACIÓN ECONÓMICA
ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO $f'c = 175\text{KG}/\text{CM}^2$

Costo para Concreto Patrón $f'c = 175 \text{ kg}/\text{cm}^2$				
Descripción	Dosificación	Cantidad	P.U.	Parcial
Agregado Fino	768.67 Kg/m ³	0.50 m ³		
Agregado Grueso	975.50 Kg/m ³	0.62 m ³		
Agregado de río	1744.17 Kg/m ³	1.12 m ³	S/ 45.00	S/ 50.42
Cemento	326.43 Kg/m ³	7.68 Bls	S/ 27.50	S/ 211.22
Agua	216.62 Lts	0.22 m ³	S/ 2.50	S/ 0.54
Total				S/ 262.18

Adición del 5% de CCM				
Descripción	Dosificación	Cantidad	P.U.	Parcial
Agregado Fino	768.67 Kg/m ³	0.50 m ³		
Agregado Grueso	975.50 Kg/m ³	0.62 m ³		
Agregado de río	1744.17 Kg/m ³	1.12 m ³	S/ 45.00	S/ 50.42
Cemento	326.43 Kg/m ³	7.68 Bls	S/ 27.50	S/ 211.22
Agua	216.62 Lts	0.22 m ³	S/ 2.50	S/ 0.54
5% Ceniza de cocina		16.32 Kg	S/ 0.20	S/ 3.26
Total				S/ 265.45

Adición del 10% de CCM				
Descripción	Dosificación	Cantidad	P.U.	Parcial
Agregado Fino	768.67 Kg/m ³	0.50 m ³		
Agregado Grueso	975.50 Kg/m ³	0.62 m ³		
Agregado de río	1744.17 Kg/m ³	1.12 m ³	S/ 45.00	S/ 50.42
Cemento	326.43 Kg/m ³	7.68 Bls	S/ 27.50	S/ 211.22
Agua	216.62 Lts	0.22 m ³	S/ 2.50	S/ 0.54
10% Ceniza de cocina		32.64 Kg	S/ 0.20	S/ 6.53
Total				S/ 268.71

Adición del 15% de CCM				
Descripción	Dosificación	Cantidad	P.U.	Parcial
Agregado Fino	768.67 Kg/m ³	0.50 m ³		
Agregado Grueso	975.50 Kg/m ³	0.62 m ³		
Agregado de río	1744.17 Kg/m ³	1.12 m ³	S/ 45.00	S/ 50.42
Cemento	326.43 Kg/m ³	7.68 Bls	S/ 27.50	S/ 211.22
Agua	216.62 Lts	0.22 m ³	S/ 2.50	S/ 0.54
15% Ceniza de cocina		48.96 Kg	S/ 0.20	S/ 9.79
Total				S/ 271.98

ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO $f'c = 210 \text{ KG/CM}^2$

Costo para Concreto Patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$				
Descripción	Dosificación	Cantidad	P.U.	Parcial
Agregado Fino	696.84 Kg/m ³	0.45 m ³		
Agregado Grueso	987.99 Kg/m ³	0.63 m ³		
Agregado de río	1684.83 Kg/m ³	1.08 m ³	S/ 45.00	S/ 48.68
Cemento	383.57 Kg/m ³	9.03 Bls	S/ 27.50	S/ 248.19
Agua	225.87 Lts	0.23 m ³	S/ 2.50	S/ 0.56
Total				S/ 297.44

Adición del 5% de CCM				
Descripción	Dosificación	Cantidad	P.U.	Parcial
Agregado Fino	696.84 Kg/m ³	0.45 m ³		
Agregado Grueso	987.99 Kg/m ³	0.63 m ³		
Agregado de río	1684.83 Kg/m ³	1.08 m ³	S/ 45.00	S/ 48.68
Cemento	383.57 Kg/m ³	9.03 Bls	S/ 27.50	S/ 248.19
Agua	225.87 Lt/m ³	0.23 m ³	S/ 2.50	S/ 0.56
5% Ceniza de cocina		19.18 Kg	S/ 0.20	S/ 3.84
Total				S/ 301.27

Adición del 10% de CCM				
Descripción	Dosificación	Cantidad	P.U.	Parcial
Agregado Fino	696.84 Kg/m ³	0.45 m ³		
Agregado Grueso	987.99 Kg/m ³	0.63 m ³		
Agregado de río	1684.83 Kg/m ³	1.08 m ³	S/ 45.00	S/ 48.68
Cemento	383.57 Kg/m ³	9.03 Bls	S/ 27.50	S/ 248.19
Agua	225.87 Lt/m ³	0.23 m ³	S/ 2.50	S/ 0.56
10% Ceniza de cocina		38.36 Kg	S/ 0.20	S/ 7.67
Total				S/ 305.11

Adición del 15% de CCM				
Descripción	Dosificación	Cantidad	P.U.	Parcial
Agregado Fino	696.84 Kg/m ³	0.45 m ³		
Agregado Grueso	987.99 Kg/m ³	0.63 m ³		
Agregado de río	1684.83 Kg/m ³	1.08 m ³	S/ 45.00	S/ 48.68
Cemento	383.57 Kg/m ³	9.03 Bls	S/ 27.50	S/ 248.19
Agua	225.87 Lt/m ³	0.23 m ³	S/ 2.50	S/ 0.56
15% Ceniza de cocina		57.54 Kg	S/ 0.20	S/ 11.51
Total				S/ 308.94

EVALUACIÓN COSTO-BENEFICIO PARA CONCRETOS ÓPTIMOS
Adición del 11% de CCM ÓPTIMO F'c = 175 KG/CM2

Descripción	Dosificación	Cantidad	P.U.	Parcial
Agregado Fino	785.05 Kg/m ³	0.51 m ³		
Agregado Grueso	971.71 Kg/m ³	0.62 m ³		
Agregado de río	1756.76 Kg/m ³	1.13 m ³	S/ 45.00	S/ 50.79
Cemento	335.52 Kg/m ³	7.89 Bls	S/ 27.50	S/ 217.10
Agua	223.12 Lts	0.22 m ³	S/ 2.50	S/ 0.56
11% Ceniza de cocina		36.91 Kg	S/ 0.20	S/ 7.38
Total				S/ 275.83

Adición del 10% de CCM ÓPTIMO F'c = 210 KG/CM2

Descripción	Dosificación	Cantidad	P.U.	Parcial
Agregado Fino	710.31 Kg/m ³	0.46 m ³		
Agregado Grueso	987.99 Kg/m ³	0.63 m ³		
Agregado de río	1698.31 Kg/m ³	1.09 m ³	S/ 45.00	S/ 49.07
Cemento	394.29 Kg/m ³	9.28 Bls	S/ 27.50	S/ 255.13
Agua	231.99 Lts	0.23 m ³	S/ 2.50	S/ 0.58
10% Ceniza de cocina		39.43 Kg	S/ 0.20	S/ 7.89
Total				S/ 312.67

7.8. ANEXO N° 08: PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía N° 01: Vista del agregado de río acumulado en sacos para transporte.



Fotografía N° 02: Cuarteo del agregado de río (global) en Laboratorio



Fotografía N° 03: Peso y tamizado inicial del agregado de río.



Fotografía N° 04: Separación por tamizado del agregado grueso y fino.



Fotografía N° 05: Tamizado del agregado global con el asesor de tesis.



Fotografía N° 06: Tamizado del A. Grueso, para análisis granulométrico.



07

Fotografía N° 07: Cuarteo de Arena Gruesa, del mismo modo para la piedra.



08

Fotografía N° 08: Tamizado de Arena Gruesa para análisis granulométrico.



09

Fotografía N° 09: Secado del A. Grueso y Fino para C. humedad.



10



11

Fotografías N° 10 y 11: Realizando el ensayo de peso unitario del A. grueso y fino.



12



13



14

Fotografías N° 12, 13, 14: Realizando el enrasado, varillado y registro del peso obtenido para el cálculo del peso unitario de ambos agregados, en estado suelto y compactado.



Fotografía N° 15: Se bota el agua de la arena, luego de hidratarse por 24 hrs.



Fotografía N° 16: Secado de arena con aire caliente, Ensayo de Absorción.



Fotografía N° 17: Procedimiento del llenado de cono con 25 golpes por capa.



Fotografía N° 18: Muestra secado superficialmente, estado SSS. de A. fino.



Fotografía N° 19: Toma de muestras de arena e estado SSS y se saca su peso.



Fotografía N° 20: Se introdujo las muestras de A. Fino al horno.



Fotografía N° 21: Llenado de 500gr de muestra al picnómetro.



Fotografía N° 22: Se eliminó las burbujas de aire, para ensayo de Peso Específico.



Fotografía N° 23: Se hidrató 24 hr la muestra de piedra para el Ensayo de P.E. y Absorción.



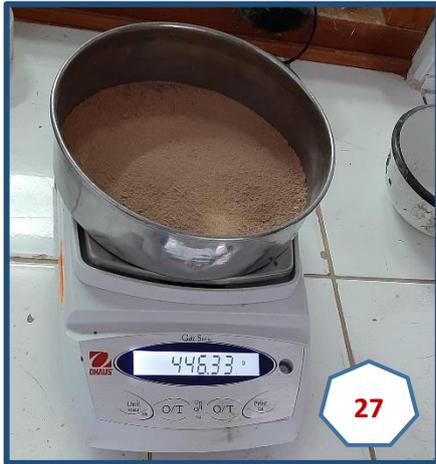
Fotografía N° 24: Obtención de la SSS del agregado grueso hidratado.



Fotografía N° 25: Se colocó la muestra a la canasta en estado SSS para el peso sumergido.



Fotografías N° 26 y 27: Secado de muestras de A. Grueso al horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.



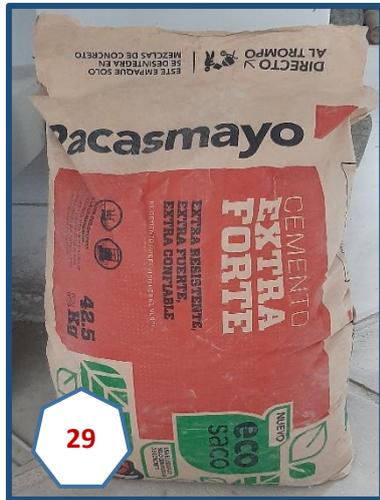
27



28

Fotografía N° 27: Vista de la ceniza de carbón mineral de cocina a utilizar.

Fotografía N° 28: Se realizó el ensayo de finura de la ceniza tamiz N°325 por lavado.



29



30



31

Fotografías N° 29, 30 y 31: Cemento, y pesado de agregados para mezcla de la tanda de concreto patrón, se procede de la misma manera para ambas resistencias f'c.



32



33



34

Fotografías N° 32 y 33: Arena para la tanda y mezclado empezando con piedra y agua.

Fotografía N° 34: Bachada de la tanda y toma de temperatura del concreto.



Fotografías N° 35, 36 y 37: Ensayo de Asentamiento del concreto llenando el cono en 3 capas y su respectivo varillado con varilla de 5/8", enrasado y medida del Slump.



Fotografía N° 38: Se realizó el ensayo de Factor de Compactación.

Fotografías N° 39 y 40: Peso del concreto compactado para ensayo de Densidad y Aire, y medición de la temperatura con 2 termómetros.



Fotografía N° 41: Elaboración de probetas 150 mm x 300 mm, en 3 capas y su varillado.



Fotografía N° 42: Se realizó el tapping con 15 a 25 golpes en los costados del molde. El acabado se dio con plancha.



Fotografía N° 43: Tanda de elaboración de probetas 150 mm x 300 mm y 100mmx200mm para muestras patrón.



Fotografía N° 44: Se observa parte de la tanda para el análisis estadístico.



Fotografía N° 45: Desencofrado de las probetas tras 24 horas de su elaboración.



Fotografía N° 46: Se realizó el curado de los testigos, para cada edad específica.



Fotografía N° 47: Masa de ceniza a utilizar para la tanda de concreto con adición.



Fotografía N° 48: Ingreso de la ceniza a la mezcladora, luego que se echa el cemento.



Fotografías N° 49 y 50: Probetas curadas a la edad de 28 días, listas para ensayo de rotura. El control de la temperatura de curado se realizó adicionando cal al agua.





Fotografía N° 51: Ensayo de resistencia a la compresión Concreto Patrón 175 kg/cm². (28d)



Fotografía N° 52: Ensayo de rotura del Concreto Patrón 210kg/cm². (28días)



Fotografía N° 53: Ensayo de resistencia a la compresión MP + 5% CCM f'c = 210 kg/cm².



Fotografía N° 54: Ensayo de resistencia a la compresión MP+10% CCM f'c = 210 kg/cm².



Fotografía N° 55: Ensayo de rotura del Concreto 210 kg/cm² MP+15% CCM. (28d)



Fotografía N° 56: Ensayo de rotura del Concreto 175 kg/cm² MP+5% CCM (28días)



Fotografía N° 57: Ensayo de resistencia a la compresión MP+ 10% CCM f'c = 175 kg/cm².



Fotografía N° 58: Ensayo de resistencia a la compresión MP+15% CCM f'c = 175 kg/cm².



59

Fotografía N° 59: Obtención de rodajas de concreto para el ensayo de la capacidad y velocidad de absorción. Pintado de superficie con pintura impermeabilizante. Se hizo para ambas resistencias y adiciones.



60

Fotografía N° 60: Secado de rodajas en el horno a $50^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$, las muestras se ensayan a la edad de 28 días y curadas. Para obtener la variación del peso mínimo pasaron 72 horas.



61

Fotografía N° 61: Inmersión de las rodajas de concreto a una altura de 5mm de agua, se obtiene el peso a los tiempos que requiere el ensayo. Para absorción inicial y secundaria.



62

Fotografía N° 62:
Secado del agua en exceso de la muestra al retirarla del agua. Continúa ensayo de absorción tomando lectura del peso.



63



64



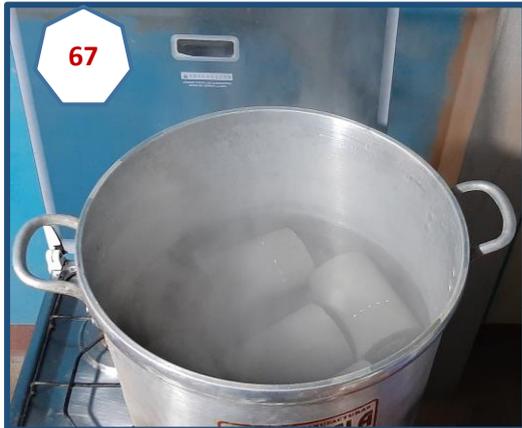
65

Fotografías N° 63, 64 y 65: Peso de muestras (rodajas) sumergidas en agua con una altura de 5 mm para el ensayo de absorción. Con la con mínima variación culmina el ensayo.



66

Fotografía N° 66: Se observan las muestras de distintos concretos que fueron sumergidos en agua, hasta que la variación de su peso hidratado no varíe en más del 0.5%. Inicio del ensayo de absorción, densidad, y % de vacíos permeables del concreto endurecido. "B"



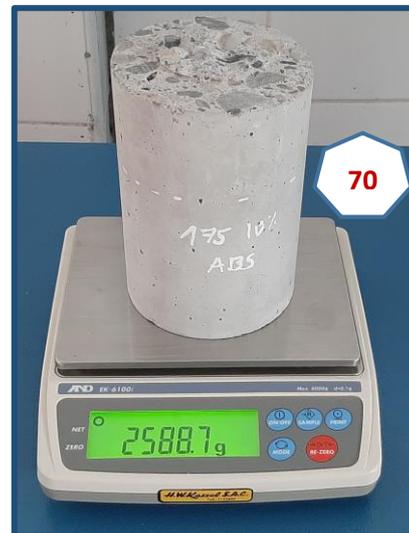
Fotografía N° 67: Hervido de las muestras del ensayo por 5 horas. "C"



Fotografía N° 68: Peso sumergido de las muestras, peso "D".



Fotografía N° 69: Secado de muestras del Ensayo de absorción a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.



Fotografía N° 70: Peso de muestras secas con variación no mayor al 0.5%.

“INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCHA – CONCHUCOS 2021”

por Polo Lopez - Arce Flores

Fecha de entrega: 02-sep-2022 07:47a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1891296054

Nombre del archivo: INFORME_POLO_1.docx (2.24M)

Total de palabras: 45088

Total de caracteres: 222528

"INFLUENCIA DE CENIZAS DE CARBÓN MINERAL DE COCINA EN CONCRETOS ESTANDAR ELABORADOS CON AGREGADOS DEL RÍO LLAMACOCHA – CONCHUCOS 2021"

INFORME DE ORIGINALIDAD

29%

INDICE DE SIMILITUD

28%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	6%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	pt.scribd.com Fuente de Internet	1%
7	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%

9	www.scribd.com Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1 %
11	1library.co Fuente de Internet	1 %
12	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
17	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad Católica de Santa María	<1 %

21 repositorio.uncp.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

22 B. N. Desai. "Die Koagulation von Thorium-
hydroxydsol durch Elektrolyte",
Kolloidchemische Beihefte, 1928 <1 %
Publicación

23 repository.udistrital.edu.co <1 %
Fuente de Internet

24 idoc.pub <1 %
Fuente de Internet

25 repositorio.unsm.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

26 www.cedex.es <1 %
Fuente de Internet

27 doku.pub <1 %
Fuente de Internet

28 repositorio.upeu.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

29 Submitted to Universidad Continental <1 %
Trabajo del estudiante

30 repositorio.uandina.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

31 repositorio.undac.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

32	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
35	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
36	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
37	www.ici.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	www.mincetur.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
39	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
40	www.academia.edu Fuente de Internet	<1 %
41	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
43	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

44	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
45	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
46	Kejiang Ye, Xiaohong Jiang, Ran Ma, Fengxi Yan. "VC-Migration: Live Migration of Virtual Clusters in the Cloud", 2012 ACM/IEEE 13th International Conference on Grid Computing, 2012 Publicación	<1 %
47	documents.mx Fuente de Internet	<1 %
48	intranet.cip.org.pe Fuente de Internet	<1 %
49	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
50	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
51	www.abc.gob.bo Fuente de Internet	<1 %
52	www.repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
53	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Submitted to University of St Andrews

54

Trabajo del estudiante

<1 %

55

renatiqa.sunedu.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

56

repository.usta.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

57

repositorio.unach.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

58

tesis.Ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

59

repositorioslatinoamericanos.uchile.cl

Fuente de Internet

<1 %

60

repositorio.ucp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

61

repositorio.unh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

62

ciencia.lasalle.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

63

ikua.iiap.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

64

kupdf.net

Fuente de Internet

<1 %

65

cdigital.udem.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

66	m.repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
67	Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante	<1 %
68	www.indecopi.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
69	documents.tips Fuente de Internet	<1 %
70	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
71	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
72	Submitted to Universidad Nacional Autonoma de Chota Trabajo del estudiante	<1 %
73	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
74	Pablo Lorca Aranda. "EFECTO DE LA ADICIÓN DE HIDRÓXIDO CÁLCICO SOBRE MEZCLAS CON ALTA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CENIZA VOLANTE.", Universitat Politecnica de Valencia, 2014 Publicación	<1 %
75	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

76	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
77	www.cismid.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
78	repositorio.udch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
79	www.dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
80	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
81	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
82	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
83	www.adecglobal.cat Fuente de Internet	<1 %
84	S. A. Bernal, R. Mejía de Gutiérrez, F. Ruiz, H. Quiñones, J. L. Provis. "Desempeño a temperaturas altas de morteros y hormigones basados en mezclas de escoria/metacaolín activadas alcalinamente", <i>Materiales de Construcción</i> , 2012 Publicación	<1 %
85	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

86

mat120estadisticaaplicada.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

87

mef.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

88

Submitted to Atlantic International University

Trabajo del estudiante

<1 %

89

inba.info

Fuente de Internet

<1 %

90

docshare04.docshare.tips

Fuente de Internet

<1 %

91

repositorio.upt.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

92

revistas.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

93

studyres.com

Fuente de Internet

<1 %

94

www.chileresiduos.cl

Fuente de Internet

<1 %

95

www.repositorio.unu.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

96

Luis Felipe Lalinde Castrillón. "Estudio de compuestos de GRC y adiciones activas: Propiedades mecánicas, envejecimiento"

<1 %

acelerado y durabilidad", Universitat
Politecnica de Valencia, 2020

Publicación

97

WALTER LEOPOLDO ROLDAN LATORRE.

"Materiales puzolánicos para uso en
conglomerantes especiales basados en yeso",
Universitat Politecnica de Valencia, 2011

Publicación

<1 %

98

www.clubensayos.com

Fuente de Internet

<1 %

99

www.oaxaca.gob.mx

Fuente de Internet

<1 %

100

www.scielo.org.co

Fuente de Internet

<1 %

101

Fr. Bartschat, O. Windhausen, J. Großfeld, Cl.
Grimme, J. J. Eck, M. Müller, E. Bodländer, J.
Großfeld. "Referate", Zeitschrift für
Untersuchung der Lebensmittel, 1928

Publicación

<1 %

102

docslide.us

Fuente de Internet

<1 %

103

dokumen.tips

Fuente de Internet

<1 %

104

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

www.asocem.org.pe

105	Fuente de Internet	<1 %
106	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
107	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1 %
108	vitela.javerianacali.edu.co Fuente de Internet	<1 %
109	Stuber, E., and B. Kljatschkina. "Die quantitative Bestimmung des Strychnins als Silicowolframmat", Archiv der Pharmazie, 1928. Publicación	<1 %
110	bibliotecadigital.usb.edu.co Fuente de Internet	<1 %
111	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
112	pt.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
113	repositorio.ucsp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
114	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
115	"Proceedings of the 3rd RILEM Spring Convention and Conference (RSCC 2020)",	<1 %

116

Submitted to Tecsup

Trabajo del estudiante

<1 %

117

documentop.com

Fuente de Internet

<1 %

118

cdn.www.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

119

Joffrey Valdivia, Diego Huapaya, Jose Rodriguez, Carlos Eyzaguirre. "Use of Waste Glass Powder as an Addition in the Elaboration of Ecological Concrete", 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), 2019

Publicación

<1 %

120

Mirella Ruggeri, Nazario Santolini, Marco Stegagno, Giuseppe Imperadore, Rosa Bruna Dall'Agnola. "Risultati", Epidemiologia e psichiatria sociale. Monograph Supplement, 2014

Publicación

<1 %

121

mydokument.com

Fuente de Internet

<1 %

122

tesis.unsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

123	www.amazon.in Fuente de Internet	<1 %
124	cnnespanol.cnn.com Fuente de Internet	<1 %
125	news.un.org Fuente de Internet	<1 %
126	weather.noaa.gov Fuente de Internet	<1 %
127	www.goodreads.com Fuente de Internet	<1 %
128	www.mcg.upv.es Fuente de Internet	<1 %
129	www.tutareaescolar.com Fuente de Internet	<1 %
130	Submitted to Universidad Manuela Beltrán Trabajo del estudiante	<1 %
131	angelabriesingcivil.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
132	civilgeeks.com Fuente de Internet	<1 %
133	es.advantacell.com Fuente de Internet	<1 %
134	forum.prisonplanet.com Fuente de Internet	<1 %

135	healthlibrary.brighamandwomens.org Fuente de Internet	<1 %
136	idetec.frvm.utn.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
137	oa.upm.es Fuente de Internet	<1 %
138	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
139	repositorio.uax.es Fuente de Internet	<1 %
140	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
141	terremotos-peru.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
142	www.eforobolivia.org Fuente de Internet	<1 %
143	www.msal.gov.ar Fuente de Internet	<1 %
144	creativecommons.org Fuente de Internet	<1 %
145	dspace.utpl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
146	www.cedexmateriales.es Fuente de Internet	<1 %

147	www.cepchile.cl Fuente de Internet	<1 %
148	www.cocef.org Fuente de Internet	<1 %
149	www.construaprende.com Fuente de Internet	<1 %
150	www.ing.unlpam.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
151	www.inteco.or.cr Fuente de Internet	<1 %
152	www.minas.upm.es Fuente de Internet	<1 %
153	www.minem.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
154	Ferrán Navarro Ferrer. "Modelos predictivos de las características prestacionales de hormigones fabricados en condiciones industriales", Universitat Politecnica de Valencia, 2016 Publicación	<1 %
155	Lourdes Soriano Martinez. "Nuevas aportaciones en el desarrollo de materiales cementantes con residuo de catalizador de craqueo catalítico (fcc)", Universitat Politecnica de Valencia, 2007 Publicación	<1 %

156	elexiliodegardel.hotusa.org Fuente de Internet	<1 %
157	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
158	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
159	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
160	repository.upb.edu.co Fuente de Internet	<1 %
161	studylib.es Fuente de Internet	<1 %
162	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
163	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
164	www.econ.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
165	www.imcyc.com Fuente de Internet	<1 %
166	www.mitsubishi-electric.com.au Fuente de Internet	<1 %
167	Antonio García Barberá. "Study of the Degradation of New Lubricant Oil"	<1 %

Formulations with the Design and Demands of Current and Future Engines", Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

168

Gianfranco Catanzaro, Oscar Zapana, Carlos Eyzaguirre, Manuel Silvera. "Evaluation of Structural Concrete Made with Biologically Treated Waters as an Alternative to the Use of Drinking Water", 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), 2019

Publicación

<1 %

169

moam.info

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado