UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

“Diseño y evaluación de concreto especial con cenizas de cáscara de arroz
(RHA) para aumentar la durabilidad de las estructuras frente a la exposición
al ambiente marino”

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Martinez Urtecho, Francisco Alfredo (0000-0003-0530-0777)

Oyanguren Gallo, Luis Julio (0000-0002-5953-0877)

ASESOR

Carrera Cabrera, Elsa Carmen (0000-0001-9546-9060)

Lima, 22 de noviembre de 2019

DEDICATORIA

A Dios por estar siempre a nuestro lado y darnos las fuerzas para continuar en este camino de hacernos unos grandes y exitosos Ingenieros Civiles.

A nuestros padres, Luzmila, Julio, Lita y Alfredo, por apoyarnos en todo sentido desde el inicio de nuestra formación académica y en valores.

A nuestra asesora, la Ing. Elsa Carrera, por cumplir el rol de asesora, y a la vez, de amiga y compañera; siendo sus críticas y consejos sinceros pilares para el desarrollo de nuestra tesis.

A nuestros compañeros y amigos en general que estuvieron involucrados hasta en lo más mínimo en son de apoyo para el desarrollo de nuestra tesis.

A nuestra casa de estudios, la UPC, por habernos provisto de sus instalaciones y servicios; así también a los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil por habernos hecho sentir como si todos fuesen asesores nuestros.

¡Gracias totales!

RESUMEN

El presente estudio se realizó con la finalidad de diseñar y analizar un concreto con reemplazo parcial de ceniza de cáscara de arroz (RHA) más resistente que el convencional frente a la exposición a los ambientes marinos. Esta ceniza, resulta de la combustión de cascarillas de arroz que genera una empresa encargada de elaborar pulitón en el departamento de La Libertad – Perú. La ceniza resultante de dicho proceso posee características similares a las del cemento, empezando por el alto contenido de sílice, haciéndolo apto para ser utilizado como adición. Este componente se utilizó para reemplazar en 5, 10 y 15% al cemento tipo V dentro de la mezcla de concreto con la finalidad de estudiar su reactividad puzolánica. Adicionalmente, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas a los 28 días de curado en agua. Asimismo, se optó por realizar ensayos de durabilidad a los agregados grueso y fino según la Norma C88 utilizando sulfato de magnesio ($MgSO_4$). Finalmente, se obtuvo el porcentaje de RHA más óptimo para conseguir los mejores resultados en cuanto a la resistencia a la compresión y al ataque de sulfatos.

Palabras clave: Ceniza de cáscara de arroz; Sílice; Ataque de sulfatos; Ambiente marino; Concreto; Estructura marina.

“Design and evaluation of special concrete with rice hush ash (RHA) to increase the durability of the structures against exposure to the marine environment”

ABSTRACT

The present study was carried out in order to design and analyze a concrete with partial replacement of rice husk ash (RHA) more resistant than the conventional one against exposure to marine environments. This ash, is the result of the combustion of rice husks that generates a company responsible for making pulitón in the department of La Libertad - Peru. The ash resulting from this process has characteristics similar to those of cement, starting with the high silica content, making it suitable for use as an addition. This component was used to replace the type V cement in the concrete mix in 5, 10 and 15% in order to study its pozzolanic reactivity. Additionally, tests of compressive strength of cylindrical specimens were carried out after 28 days of curing in water. Likewise, it was decided to perform durability tests on coarse and fine aggregates according to Standard C88 using magnesium sulfate (MgSO_4). Finally, the most optimal percentage of RHA was obtained to achieve the best results in terms of resistance to compression and sulfate attack.

Keywords: Rice husk ash; Silica; Sulfate attack; Marine environment; Concrete; Marine structure.

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	REALIDAD PROBLEMÁTICA	2
1.3	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4	HIPÓTESIS.....	4
1.5	OBJETIVOS.....	4
1.5.1	Objetivo general	4
1.5.2	Objetivos específicos.....	5
2	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1	CORROSIÓN MARINA	5
2.2	PH.....	7
2.3	CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ (RHA)	7
2.4	PROPIEDADES FÍSICAS	9
2.5	DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA	10
2.6	COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ACTIVIDAD PUZOLÁNICA.....	11
2.7	TRABAJABILIDAD	12
2.8	DURABILIDAD.....	13
2.9	NORMAS	13
2.9.1	ASTM C39: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens	13
2.9.2	ASTM C127: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.....	14
2.9.3	ASTM C33: Standard Specification for Concrete Aggregates.....	14
2.9.4	ASTM C136: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates	14
2.9.5	ASTM C192: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory	15
2.9.6	ACI 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete	16

2.9.7	ASTM C143: Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete	16
2.9.8	ASTM C350: Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency	16
2.9.9	ASTM C109: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)	16
2.9.10	ASTM C1202: Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration	16
2.9.11	ASTM C452: Standard Test Method for Potential Expansion of Portland Cement Mortars Exposed to Sulfate	18
2.10	ASENTAMIENTO	18
2.11	SALINIDAD DEL ÁREA	18
2.12	CONSIDERACIONES DEL DISEÑO DE MEZCLA	19
2.13	DISEÑOS DE MEZCLAS CON RHA	20
2.13.1	Muestras	20
2.13.2	Diseños de Mezcla de Referencia.....	21
2.14	RELACIONES	22
2.14.1	Concreto Convencional	22
2.14.2	Concreto con RHA a 5%	23
2.14.3	Concreto con RHA a 10%	23
2.14.4	Concreto con RHA a 15%	24
3	MATERIAL Y MÉTODOS.....	24
3.1	MATERIALES	24
3.1.1	Población	24
3.1.2	Muestra	24
3.2	MÉTODOS	25
3.2.1	Nivel de investigación	25
3.2.2	Diseño de investigación.....	25
3.2.3	Variables de estudio y operacionalización	25
3.2.4	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	25
3.2.5	Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos	26
4	DISEÑO DE MEZCLA Y MATERIALES	26

4.1	ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO DE CHIMBOTE.....	26
4.2	ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO DE CHIMBOTE	27
4.3	MÓDULOS DE FINEZA DEL AGREGADO GRUESO Y FINO DE CHIMBOTE.....	28
4.4	ENSAYOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO DE LIMA.....	29
4.5	ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO DE LIMA	30
4.6	MÓDULOS DE FINEZA DEL AGREGADO DE LIMA	32
4.7	ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO DE CHIMBOTE	32
4.8	ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO DE CHIMBOTE	33
4.9	ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO DE LIMA.....	33
4.10	ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO DE LIMA	34
4.11	ANÁLISIS COMPARATIVO.....	35
4.11.1	Módulos de fineza	35
4.11.2	Pesos específicos	35
4.11.3	Porcentaje de absorción	36
4.12	ENSAYO DE SOLIDEZ O DISGREGACIÓN DE LOS AGREGADOS EN SULFATO DE MAGNESIO.....	36
4.12.1	Análisis cuantitativo del agregado grueso	36
4.12.2	Análisis cuantitativo del agregado fino	37
4.13	DISEÑO DE MEZCLA Y MATERIALES DEFINITIVO	37
4.13.1	Elaboración de Diseño de Mezcla Concreto de Control.....	37
4.13.2	Reemplazo de Mezcla de Concreto con porcentajes de RHA.....	40
5	RESULTADOS	41
5.1	ASENTAMIENTOS (SLUMP)	41
5.1.1	Asentamiento en Concreto de Control.....	41
5.1.2	Asentamiento en Concreto Especial con 5% de RHA.....	41
5.1.3	Asentamiento en Concreto Especial con 10% de RHA.....	41
5.1.4	Asentamiento en Concreto Especial con 15% de RHA.....	41
5.2	ENSAYOS DE COMPRESIÓN AL CONCRETO DE CONTROL.....	41
5.2.1	Ensayo de Compresión a 7 días	41
5.2.2	Ensayo de Compresión a 14 días	42
5.2.3	Ensayo de Compresión a 28 días	42
5.3	ENSAYOS DE COMPRESIÓN AL CONCRETO ESPECIAL.....	43

5.3.1	Concreto con 5% de RHA a 7 días	43
5.3.2	Concreto con 5% de RHA a 14 días	43
5.3.3	Concreto con 5% de RHA a 28 días	43
5.3.4	Concreto con 10% de RHA a 7 días	44
5.3.5	Concreto con 10% de RHA a 14 días	44
5.3.6	Concreto con 10% de RHA a 28 días	44
5.3.7	Concreto con 15% de RHA a 7 días	45
5.3.8	Concreto con 15% de RHA a 14 días	46
5.3.9	Concreto con 15% de RHA a 28 días	46
5.4	ENSAYO DE PENETRACIÓN RÁPIDA POR IONES CLORURO.....	47
5.5	ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE AGUA EN CONCRETO ENDURECIDO	47
5.6	COMPARACIÓN DE COSTOS DE CONCRETO DE CONTROL Y CONCRETO ESPECIAL	47
6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	48
6.1	VALIDACIÓN DE DATOS	48
6.2	DISCUSIÓN.....	49
7	CONCLUSIONES	49
8	RECOMENDACIONES	50
9	REFERENCIAS	51
7. ANEXOS		54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción mundial de arroz.....	1
Tabla 2: Salinidad en varias aguas oceánicas.....	5
Tabla 3: Salinidad en varias aguas oceánicas.....	6
Tabla 4: Composición de RHA.	8
Tabla 5: Valores del índice puzolánico acelerado de RHA según ASTM 1240 98 y a temperatura ambiente (RT).....	11
Tabla 6: Relación de los componentes de la mezcla y su trabajabilidad.....	12
Tabla 7: Diámetros de muestras de pruebas.	13
Tabla 8: Tolerancias Permisibles.....	14
Tabla 9: Método de Consolidación y Número de Capas.	15
Tabla 10: Diámetro de varilla y número de golpes.	15
Tabla 11: Descripción de la célula de Voltaje Aplicado	17
Tabla 12: Interpretación de la Carga Transmitida desde la Célula hasta la Muestra a Ensayar	17
Tabla 13: Diseño de mezcla con cemento tipo V	19
Tabla 14: Diseño de mezcla con cemento tipo I.....	20
Tabla 15: Diseño de Mezcla	20
Tabla 16: Proporción de mezcla de pasta y mortero para probetas en forma de prismas ...	20
Tabla 17: Proporción de mezcla de diferentes mezclas.....	21
Tabla 18: Proporciones por peso.	21
Tabla 19: Diseño de Mezcla	21
Tabla 20: Proporciones por peso.	22
Tabla 21: Ensayo granulométrico del Agregado Fino de Chimbote de la cantera “La Sorpresa”	26
Tabla 22: Ensayo granulométrico del Agregado Grueso de Chimbote de la cantera “La Sorpresa”	27
Tabla 23: Módulos de fineza del agregado grueso y el agregado fino de Chimbote	28
Tabla 24: Ensayo Granulométrico del Agregado Fino de Lima de la Cantera “Jicamarca”	29
Tabla 25: Ensayo Granulométrico del Agregado Grueso de Lima de la Cantera “Jicamarca”	30
Tabla 26: Módulos de fineza del agregado grueso y el agregado fino de Lima.....	32

Tabla 27: Ensayo de absorción del Agregado Grueso de Chimbote de la cantera “La Sorpresa”	32
Tabla 28: Ensayo de absorción del Agregado Grueso de Chimbote de la cantera “La Sorpresa”	33
Tabla 29: Ensayo de absorción del Agregado Grueso de Lima de la cantera “Jicamarca”. 33	
Tabla 30: Ensayo de absorción del Agregado Fino de Lima de la cantera “Jicamarca”	34
Tabla 31: Análisis Cuantitativo	36
Tabla 32: Análisis Cuantitativo	37
Tabla 33: Resistencia promedio propuestas por el ACI – 211	38
Tabla 34: Consistencia de mezcla propuesta por el ACI – 211	38
Tabla 35: Tabla de relación agua – cemento propuesta por el ACI – 211	39
Tabla 36: Corrección por humedad a agregado propuesta por el ACI – 211	39
Tabla 37: Materiales corregidos (Fuente: Elaboración Propia).....	40
Tabla 38: Dosificación de Probetas a Ensayar (Fuente: Elaboración Propia).....	40
Tabla 39: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto de control a los 07 días	42
Tabla 40: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto de control a los 14 días	42
Tabla 41: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto de control a los 28 días	42
Tabla 42: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 5% de RHA a los 07 días.....	43
Tabla 43: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 5% de RHA a los 14 días.....	43
Tabla 44: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 5% de RHA a los 28 días.....	43
Tabla 45: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 10% de RHA a los 07 días.....	44
Tabla 46: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 10% de RHA a los 14 días.....	44
Tabla 47: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 10% de RHA a los 28 días.....	44

Tabla 48: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 15% de RHA a los 07 días.....	45
Tabla 49: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 15% de RHA a los 14 días.....	46
Tabla 50: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 15% de RHA a los 28 días.....	46
Tabla 51: Resultado de prueba de Penetración Rápida por Iones Cloruro.....	47
Tabla 52: Resultado de prueba de Permeabilidad de agua en Concreto Endurecido	47
Tabla 53: Costo Unitario por m ³ del concreto de control	47
Tabla 54: Costo Unitario por m ³ del concreto especial con 5% de RHA.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Perú: Composición de la población ocupada, según ramas de actividad 2008 y 2014 (Porcentaje) (Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Encuesta Nacional de Hogares)	3
Figura 2: Problemas con los lastres en los 20 mil metros de tubería submarina de APROFERROL (Fuente: PERÚ PESQUERO).....	4
Figura 3: Oxígeno disuelto (OD) versus temperatura en agua de mar natural de 35 ‰ de salinidad a 1 atm de presión. (Fuente: B. Phull, 2010).....	7
Figura 4: OD versus salinidad en agua de mar sintética a 20 °C y 1 atm de presión. (Fuente: B. Phull, 2010).....	7
Figura 5: Ilustración esquemática del mecanismo de hidratación de la pasta de cemento que contiene RHA. Fuente: (Roorkee, Indian Institute of Technology, 2018)	9
Gráfico 6: Micrografía electrónica de barrido de RHA. (A) 500 aumentos y (B) 1000 aumentos (Fuente: Hwang & Wu, 1989).....	10
Gráfico 7: Relación entre el tiempo de molienda y la finura de RHA quemado a varias temperaturas durante 2 horas (Al-Khalaf & Yousif, 1984).	11
Figura 8: Dibujo de Construcción de la Célula de Voltaje Aplicado (Fuente: Norma ASTM C1202)	17
Figura 9: Distribución de a) Temperatura superficial del mar (°C), b) Anomalía térmica (°C) y Salinidad superficial del mar (ups) (Fuente: IMARPE)	19
Figura 10: Análisis comparativo concreto Convencional (Fuente: Elaboración Propia)	22

Figura 11: Análisis comparativo concreto con RHA al 5% (Fuente: Elaboración Propia).	23
Figura 12: Análisis comparativo concreto con RHA al 10% (Fuente: Elaboración Propia)	23
Figura 13: Análisis comparativo concreto con RHA al 15% (Fuente: Elaboración Propia)	24
Figura 14: Gráfico granulométrico de Agregado Fino de Chimbote de la cantera “La Sorpresa” (Fuente: Elaboración Propia)	27
Figura 15: Gráfico granulométrico de Agregado Grueso de Chimbote de la cantera “La Sorpresa”(Fuente: Elaboración Propia)	28
Figura 16: Gráfico granulométrico de Agregado Fino de Lima de la cantera “Jicamarca” (Fuente: Elaboración Propia).....	30
Figura 17: Gráfico granulométrico de Agregado Grueso de Lima de la cantera “Jicamarca” (Fuente: Elaboración Propia).....	31
Figura 18: Comparación de Los Módulos de Fineza de los agregados de Chimbote y Lima (Fuente: Elaboración Propia).....	35
Figura 19: Comparación de Los Pesos Específicos de los agregados de Chimbote y Lima (Fuente: Elaboración Propia).....	35
Figura 20: Comparación de Los Porcentajes de Absorción de los agregados de Chimbote y Lima (Fuente: Elaboración Propia)	36
Figura 21: Resultados de asentamientos (SLUMP) obtenidos para cada tipo de mezcla ...	41
Figura 22: Resumen de pruebas de compresión de probetas del concreto de control	42
Figura 23: Resumen de pruebas de compresión de probetas de concreto especial con 5% de RHA.....	43
Figura 24: Resumen de pruebas de compresión de probetas de concreto especial con 10% de RHA.....	45
Figura 25: Resumen de pruebas de compresión de probetas de concreto especial con 15% de RHA.....	46
Figura 26: Resumen de resultados de compresión de todos los tipos de concreto a 7, 14 y 28 días de curado.	48

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El arroz es uno de los productos de agricultura más importantes a nivel mundial, debido a sus altos contenidos nutritivos; sin embargo, en su producción, las cantidades de desechos (cáscaras) son muy considerables, por lo que en varios países se propone su uso, ya sean para fertilizante o combustión, y en nuestro tema de estudio, en la construcción. En la tabla siguiente se puede observar los principales países que tienen la mayor producción de arroz (GR, 2008)

Tabla 1: Producción mundial de arroz

País	Producción de Arroz en millones de Toneladas (Mt)	Cáscara producida (20% de arroz) (Mt)	Ceniza potencial (18 - 20% de cáscara) (Mt)
China	211.2	42.24	7.6
India	158.4	31.68	5.7
Indonesia	71.9	14.38	2.59
Bangladés	52.9	10.58	1.9
Vietnam	44.5	8.9	1.6
Tailandia	30.3	6.06	1.09
África	29.1	5.82	1.05
Birmania	28	5.6	1.01
Sudamérica	23.7	4.74	0.85
Filipinas	18.7	3.74	0.67
Japón	10.6	2.12	0.38
Norteamérica	10.4	2.08	0.37
Pakistán	9.9	1.98	0.36
Camboya	9.4	1.88	0.34
Europa	4.2	0.84	0.15
Otros	32.3	6.46	1.16
Área (ha)	165 millones		
Total (mundial)	745.5 millones de toneladas		

Fuente: (Pitt, 1976)

La ceniza de corteza de cascarilla de arroz contiene SiO_2 , como componente químico principal, tan alto como 70%, lo que indica un alto potencial de reactividad puzolánica. Estudios previos encontraron que el uso de ceniza de corteza de cascarilla de arroz molido (GRBA), con una distribución de tamaño de partícula similar a la del cemento Portland tipo I y usado como reemplazo del cemento entre 10% y 20%, se obtiene un material puzolánico reactivo que tiene índices de actividad de fuerza a los 28 días hasta el 110%. (Vanchai Sata J. T., 2012) Además, Sata y otros (Vanchai Sata C. J., 2007) informaron que el uso de ceniza de corteza de cáscara de arroz con alta finura (la cantidad de partículas retenidas en un tamiz de 45 ml era inferior al 2%) para reemplazar el cemento Portland hasta 30% en peso de aglutinante podría producir concreto de alta resistencia. No obstante, se debe tener en cuenta la temperatura y el tiempo del proceso en que el RHA será quemado; cuando se produce en una temperatura en el intervalo de 550-700°C, el contenido de sílice ya no será cristalina ni amorfa en un 90%, lo cual aumenta la cantidad de material puzolánico. (GR, 2008)

Estos estudios y otras investigaciones previas han demostrado que la ceniza de corteza de cáscara de arroz puede utilizarse como material cementante en el hormigón y proporciona buenas propiedades similares a otras puzolanas. Si la ceniza de corteza de cáscara de arroz se puede utilizar en una mezcla de concreto para mejorar el rendimiento de durabilidad, especialmente en un entorno marino, reducirá el costo de eliminación y el área de eliminación, así como proporcionará un material valioso en el trabajo de concreto.

1.2 Realidad problemática

El sector pesca, en el Perú, es uno de los que poseen mayor porcentaje de población ocupada como se muestra en el Figura 1 que, junto con el sector construcción, laboran de alguna u otra forma en el sector industrial pesquero de este país.

Figura 1: Perú: Composición de la población ocupada, según ramas de actividad 2008 y 2014 (Porcentaje)¹ (Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Encuesta Nacional de Hogares)

Estos sectores concentran gran cantidad de obras constructivas debido a la alta demanda de infraestructura de fábricas pesqueras. Estas infraestructuras son, mayormente, elaboradas con concretos, desde simples hasta con aditivos para evitar la corrosión por estar en contacto con un ambiente marino. Asimismo, las estructuras que se encuentran en contacto directo con la fuerza de la marea sufren las consecuencias de la corrosión y erosión marina. Este es el caso de los lastres encargados de mantener sumergidas las tuberías submarinas encargadas de eliminar efluentes de fábricas pesqueras.

De la misma manera, al ser de concreto simple estos anclajes, se enfrenta al problema de corrosión bacteriana, también generado por el mar y sus propiedades, cuantificando de manera alarmante este proceso lo cual causa la degeneración de estos anclajes. Este problema se vio reflejado en el incidente del 22 de junio del 2015, cuando “...la Capitanía del Puerto de Chimbote tuvo que limpiar la bahía debido a la varazón de los pesados lastres,

¹ Incluye: Electricidad, Gas y Agua, Intermediación Financiera, Actividades de Servicios Sociales, Administración Pública, Defensa, Enseñanza, entre los principales.

peor aún más de mil metros de tubería submarina flotó significando un peligro para todas las embarcaciones que cruzan la zona...” (Cruz, 2015)

Figura 2: Problemas con los lastres en los 20 mil metros de tubería submarina de APROFERROL (Fuente: PERÚ PESQUERO)

1.3 Formulación del problema

¿Cómo mejorar la resistencia a la constante exposición al ambiente marino del concreto de las estructuras marinas (lastres o anclajes de concreto armado) en el distrito de Chimbote?

1.4 Hipótesis

Utilizando la ceniza de cáscara de arroz debido a su alta actividad puzolánica, en la dosificación de mezcla para el concreto armado, se logrará aumentar la durabilidad del concreto de las estructuras marinas.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar y evaluar un concreto especial con ceniza de cáscara de arroz para aumentar la durabilidad del concreto de las estructuras expuestas a ambientes marinos.

1.5.2 Objetivos específicos

- Describir los ensayos de granulometría, peso específico y porcentaje de absorción de los agregados de la cantera “La Sorpresa” situada en Chimbote y los agregados de la cantera “Jicamarca” situada en Lima.
- Diseñar mezcla de concreto de control según el método ACI y concreto especial con reemplazo parcial del 5, 10 y 15 % de cenizas de cáscara de arroz (RHA).
- Analizar la influencia sobre el asentamiento del concreto fresco y la influencia sobre la resistencia a la compresión de todas las muestras y tipos del concreto endurecido con la finalidad de demostrar una mejora del concreto especial respecto al concreto de control.
- Estimar la estabilidad a la disgregación mediante el uso del sulfato de magnesio según la norma ASTM C88 de los agregados de la cantera “La Sorpresa” en Chimbote con la finalidad de analizar la resistencia al ataque de sulfatos de los agregados.
- Analizar la penetración de por iones cloruro de todos los tipos de mezcla según la Norma ASTM C 1202.
- Analizar la permeabilidad del concreto endurecido bajo presión de agua según la Norma europea UNE-EN-12390-8.
- Comparar los precios unitarios del concreto de control de 280 kgf/cm² con el concreto especial con 5% de cenizas de cáscara de arroz de 280 kgf/cm².

2 MARCO TEÓRICO

2.1 CORROSIÓN MARINA

El agua del mar cubre aproximadamente el 70% de la superficie terrestre. La sabiduría convencional atribuye la corrosividad del agua de mar debido a su contenido de sal (principalmente NaCl). Sin embargo, como se analiza más adelante en esta sección, no es la sal per se, sino otros componentes, especialmente el oxígeno disuelto (DO) y contaminantes como los sulfuros que a menudo juegan un papel crítico. El contenido total de sal se expresa típicamente en términos de salinidad y / o clorinidad. La salinidad es la materia sólida total (gramos) en un kilogramo de agua de mar (después de que toda la materia orgánica se haya oxidado, el carbonato se haya convertido en óxido y el bromo y el yodo hayan sido reemplazados por cloro). (B. Phull, 2010)

Tabla 2: Salinidad en varias aguas oceánicas

Salinidad de varias aguas oceánicas expresada como sólidos totales disueltos aproximados (mg l⁻¹ o ppm)	
Agua de mar	TDS aproximado (ppm)
Golfo Árabe	47000
Mar Rojo	43000
Mar Mediterráneo	41000
Océano Atlántico	36000
Océano Indio	35000
Océano Pacífico	34000
Mar del Norte	33000
Mar de Bering	32000
Mar Negro	22000
Mar Caspio	13000
Mar Báltico	8000
Mar Muerto	322000

(Fuente: B. Phull, 2010)

Tabla 3: Salinidad en varias aguas oceánicas

Principales componentes iónicos en agua de mar de 35 ‰ de salinidad (35 000 ppm TDS)	
Ion	Concentración (ppm)
Cloruro	19353
Sodio	10760
Sulfato	2712
Magnesio	1294
Calcio	413
Potasio	387
Bicarbonato	142
Bromuro	67
Estroncio	8
Borato	4
Fluoruro	1

(Fuente: B. Phull, 2010)

2.2 PH

El agua de mar de superficie limpia es típicamente ligeramente alcalina. Esto está relacionado con el equilibrio de dióxido de carbono (CO_2) con la atmósfera. El agua de mar contiene iones de bicarbonato (HCO_3^-), iones de carbonato (CO_3^{2-}), ácido carbónico no disociado (H_2CO_3) y CO_2 disuelto.

Figura 3: Oxígeno disuelto (OD) versus temperatura en agua de mar natural de 35 ‰ de salinidad a 1 atm de presión. (Fuente: B. Phull, 2010)

Figura 4: OD versus salinidad en agua de mar sintética a 20 °C y 1 atm de presión. (Fuente: B. Phull, 2010)

2.3 CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ (RHA)

Las cáscaras de arroz son las cubiertas que protegen los granos de arroz; estas son separadas durante el proceso de molienda. Este material contiene alrededor de 30% a 50% de carbono orgánico, y esta abarca casi el 20% del peso del arroz (Roorkee, Indian Institute of Technology, 2018). La composición de la cáscara de arroz es la siguiente:

Tabla 4: Composición de RHA.

Composición de RHA	
Sustancia	Porcentaje (%)
Celulosa	50%
Lignina	25%-30%
Sílice	15%-20%
Humedad	10%-17%

Fuente: (Roorkee, Indian Institute of Technology, 2018)

La ceniza de cáscara de arroz se crea por la combustión o quema de la cáscara, la cual depende de su composición, la temperatura y el calor a la que será quemada. No obstante, se debe tener en cuenta que una combustión A TEMPERATURA mayor a 700°C - 800°C contendrá cantidades significantes de cristobalita y tridimita, los cuales son sílices que no reaccionan; para ello, la temperatura de combustión debe estar en un rango de 500°C - 700°C en un tiempo aproximado de 1 hora. En este caso la sílice amorfa es el principal componente en la ceniza, seguida de carbono y óxido de Potasio (K_2O). Las aplicaciones que destacan en el uso de RHA en la construcción son: relleno, aditivo, agente abrasivo. Sin embargo, lo que buscamos nosotros es utilizar el RHA como reemplazo parcial del cemento en la mezcla de las estructuras a construir; cabe añadir que, si esta es usada como material cementoso suplementario, el RHA por su estructura porosa puede generar una gran demanda de agua; si esta excesiva demanda no se puede controlar, se debe mezclar el RHA y el cemento in situ. En la siguiente figura se muestra el mecanismo de hidratación de la pasta de cemento que contiene RHA, la cual, al estar mezclada con el cemento, le contribuye a esta resistencia temprana a 13 días de maduración.

0 - 3 horas

3 - 8 horas

8 - 40 horas

Después de 40 horas

Figura 5: Ilustración esquemática del mecanismo de hidratación de la pasta de cemento que contiene RHA. Fuente: (Roorkee, Indian Institute of Technology, 2018)

2.4 Propiedades Físicas

Las partículas de RHA son altamente celulares y tienen un carácter microporoso con una superficie interna alta, de modo que las partículas de RHA pueden tener un área de superficie específica 3 veces mayor que las de partículas de humo de sílice. El tamaño del RHA generalmente es inferior a 45 μm y un tamaño de partícula promedio en el rango de 6 a 10 μm . En la figura se muestra el tamaño de las partículas a nivel celular. (Hwang & Wu, 1989)

Gráfico 6: Micrografía electrónica de barrido de RHA. (A) 500 aumentos y (B) 1000 aumentos (Fuente: Hwang & Wu, 1989)

2.5 Distribución de tamaño de partícula

El tamaño de partícula promedio de RHA después de quemar las cáscaras de arroz a 700 °C durante 6 horas fue de aproximadamente 33 µm, con todas las partículas en la muestra menores de 112 µm. Cuando la muestra se molió durante 80 minutos, el tamaño medio se redujo a 0,68 µm, siendo todas las partículas más pequeñas que 6 µm. (Al-Khalaf & Yousif, 1984)

Gráfico 7: Relación entre el tiempo de molienda y la finura de RHA quemado a varias temperaturas durante 2 horas (Al-Khalaf & Yousif, 1984).

La RHA quemada incorrectamente puede tener valores de área de superficie específicos de aproximadamente 177 m² / g, y cuando dichas muestras están sujetas a quemado controlado a temperaturas de 700 ° C durante 6 horas, el área de superficie específica puede disminuir a valores tan bajos como 54 m² / g.

Al-Khalaf & Yousif (1984) afirman que esta disminución en el área de superficie específica es proporcional a la temperatura y el tiempo de calentamiento, y el calentamiento prolongado a temperaturas elevadas provoca un efecto de aglomeración que conduce a una disminución de la porosidad. Cuando las muestras quemadas se sometieron a una molienda húmeda durante 80 minutos, la superficie específica aumentó a 81 m² / g.

2.6 Composición química y actividad puzolánica

Después de quemar a una temperatura en el rango de 600 °C – 700 °C durante 2 horas, RHA consistirá en 90% - 95% de SiO₂, 1% - 3% de K₂O, y alrededor del 5% de carbono sin quemar. Siempre que se queme adecuadamente, la calidad de las cenizas de diferentes fuentes no variará significativamente. Si se propone que RHA se use como una puzolana en cemento o en concreto, entonces debe satisfacer los requisitos de composición química dados en ASTM C618, que entre otras cosas establece que la proporción combinada de dióxido de silicio, óxido de aluminio y óxido de hierro en la ceniza debería no debe ser inferior al 70% y LOI no debe superar el 12%.

Tabla 5: Valores del índice puzolánico acelerado de RHA según ASTM 1240 98 y a temperatura ambiente (RT)

Sistema	Índice Puzolánico Acelerado (kg/cm²)	Porcentaje de Control	7 días (Temperatura Ambiente) kg/cm²	28 días (Temperatura Ambiente) kg/cm²
Cemento Portland Ordinario de 43 Grados	310	100	250	360

RHA (1.2% de LOI) (como se recibió)	260	84	140	260
150 pasante reteniendo 75 μ m	340	110	180	340
Reteniendo 45 μ m	420	135	240	390
Menos de 45 μ m	460	148	240	415
RHA (13 % de LOI) <75 μ m	390	126	260	400
RHA (20 % de LOI) <45 μ m	380	123	260	140

Fuente: (S.K.Agarwal, 2006)

2.7 Trabajabilidad

En general, se puede esperar que la adición de cualquier aditivo mineral fino al concreto aumente su cohesión y lo haga ligeramente más rígido. RHA no es una excepción y su uso en concreto reducirá la caída inicial y, por lo tanto, puede ser necesario el uso de una mayor proporción de agua / cemento o un aditivo para mejorar la trabajabilidad en el concreto que contiene RHA. Cabe señalar que, con un contenido de agua dado, pequeñas adiciones de RHA (menos del 3% en peso de cemento) serán útiles para mejorar la capacidad de trabajo y la estabilidad del concreto al suprimir la tendencia a la hemorragia y la segregación. Ikpong y Okpala (1992) investigaron el efecto sobre la depresión y el factor de compactación del concreto en el que el cemento se reemplazó parcialmente con 20%, 25% y 30% de RHA para hormigones de los grados 20, 25, 30 y 40 MPa. Sus resultados se reproducen en la Tabla 6; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** e indican que para alcanzar el mismo nivel de trabajabilidad, las mezclas con el aglutinante binario (cemento 1 RHA) requerirán un mayor contenido de agua en comparación con el concreto en el que PC es el único aglutinante.

Tabla 6: Relación de los componentes de la mezcla y su trabajabilidad

Esfuerzo (MPA)	RHA (%)	Relación A/C	Slump (mm)	Factor de Compactación
20	0	0.80	40	0.93
	30	0.83	33	0.93
	40	0.85	35	0.92
25	0	0.69	35	0.89
	30	0.72	35	0.92
	40	0.75	37	0.92
30	0	0.64	50	0.90
	30	0.64	55	0.90
	40	0.65	35	0.89
40	0	0.54	50	0.90
	30	0.57	45	0.87
	40	0.61	45	0.91

Fuente: (A.A.Ikpong, 2003)

2.8 Durabilidad

Según el ACI 318, la durabilidad es la capacidad que tiene el concreto de resistir los efectos del medio ambiente, procesos para la puesta en servicio y ataques químicos. Debido a que el concreto es poroso, su permeabilidad es una propiedad crucial que tiene que ser estudiada para que la estructura no se vea afectada; es por ello que la permeabilidad del concreto define la resistencia que presenta la estructura ante la durabilidad y calidad (ACI 318, 2008)

2.9 Normas

2.9.1 ASTM C39: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Esta norma nos ayuda a determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto, la cual es obtenida del cociente entre la carga máxima obtenida durante la prueba y el área transversal del cilindro de hormigón.

Tabla 7: Diámetros de muestras de pruebas.

Diámetro de muestras de prueba en pulgadas [mm]	Diámetro máximo de la cara del soporte en pulgadas [mm]
2 [50]	4 [105]

3 [75]	5 [130]
4 [100]	6.5 [165]
6 [150]	10 [255]
8 [200]	11 [280]

(Fuente: Norma ASTM C39, 2004)

El ensayo consiste en el uso de una máquina que comprime, tanto por el lado inferior como por el lado superior, una probeta de concreto; dicha máquina cuantifica los esfuerzos máximos hasta la rotura de la probeta. No obstante, todas las muestras para una edad de prueba determinada se romperán dentro de las tolerancias de tiempo permisibles en la Tabla 8.

Tabla 8: Tolerancias Permisibles.

Edad de Prueba	Tolerancia Permisible
24 h	± 0.5 h ó 2.1%
3 días	± 2 h ó 2.8%
7 días	± 6 h ó 3.6%
28 días	± 20 h ó 3.0%
90 días	± 2 días 2.2%

(Fuente: Norma ASTM C39, 2004)

2.9.2 ASTM C127: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate

Esta norma se refiere la determinación de la densidad promedio de partículas de agregado grueso, densidad relativa y la absorción de agregado grueso.

2.9.3 ASTM C33: Standard Specification for Concrete Aggregates

Esta norma define los requisitos de clasificación y calidad de los agregados finos y grueso a utilizarse en el hormigón. Además, permite determinar la calidad del agregado, el tamaño máximo nominal del agregado y otros requerimientos para su clasificación.

2.9.4 ASTM C136: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

Este método de ensayo cubre la determinación de la distribución granulométrica de agregados finos y gruesos por tamizado. Los agregados que hacen referencia a este método

de ensayo deben cumplir ciertos requisitos de clasificación que incluyen tanto fracciones gruesas como finas. Se incluyen instrucciones para el análisis de tamices de tales agregados.

2.9.5 ASTM C192: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

La presente norma cubre los procedimientos necesarios para la realización y el curado de los especímenes de hormigón en laboratorio. Al seguir todos los procedimientos descritos en la norma, es posible obtener información que cumpla con los siguientes propósitos:

- Proporciones para concreto proyectado.
- Evaluación de diferentes mezclas y mezclas.
- Correlación con pruebas no destructivas.
- Proveer especímenes para fines de estudio.

La norma además menciona sobre el método de varillado para la consolidación del espécimen de hormigón mediante las siguientes dos tablas:

Tabla 9: Método de Consolidación y Número de Capas.

Diámetro de los cilindros en pulgadas (mm)	Métodos de consolidación	Número de capas
3 o 4 (75 a 100)	Varillado	2
6 (150)	Varillado	3
9 (225)	Varillado	4
mayores a 9 (225)	Vibrado	2

(Fuente: Norma ASTM C192, 2007)

Tabla 10: Diámetro de varilla y número de golpes.

Diámetro del cilindro en pulgadas (mm)	Diámetro de la varilla en pulgadas (mm)	Número de Golpes
3 (75) a 6 (150)	3/8 (10)	25
6 (150)	5/8 (16)	25
8 (200)	5/8 (16)	50
10 (250)	5/8 (16)	75

(Fuente: Norma ASTM C192, 2007)

2.9.6 ACI 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete

Esta norma del ACI describe métodos para seleccionar una dosificación adecuada usando cemento hidráulico para mezclas de concreto normal, es decir, consta de agregados de densidad normal y/o alta con una trabajabilidad adecuada para la construcción en sitio. Permite una primera aproximación de las proporciones destinadas a ser verificadas por lotes de ensayo en el laboratorio y ajustadas, según sea necesario, para obtener las características deseadas del concreto.

2.9.7 ASTM C143: Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete

Este método de ensayo cubre la determinación del asentamiento del concreto de cemento hidráulico, tanto en el laboratorio y en el campo.

2.9.8 ASTM C350: Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency

Esta práctica abarca la mezcla mecánica de pastas y morteros de cemento hidráulico de consistencia plástica. Este ensayo se realiza con el fin de verificar las propiedades cementantes de la ceniza de cáscara de arroz y determinar cómo reacciona al unirse con el cemento usado en la mezcla.

2.9.9 ASTM C109: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)

Esta norma cubre la determinación de la resistencia a compresión de un espécimen cúbico de mortero de cemento hidráulico de 2-in o 50-mm.

2.9.10 ASTM C1202: Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration

Esta norma se refiere a la determinación de la conducción eléctrica del concreto para proporcionar una indicación rápida de su resistencia a la penetración de iones cloruro. Este método es aplicable a los tipos de concreto donde hay relaciones entre dicho procedimiento y los de encharcamiento de cloruro de largo plazo. Este ensayo consiste en monitorear la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través de placas de 5 cm de espesor de núcleos.

Figura 8: Dibujo de Construcción de la Célula de Voltaje Aplicado (Fuente: Norma ASTM C1202)

Tabla 11: Descripción de la célula de Voltaje Aplicado

Item N°	Calidad	Descripción	Especificación
1A	1	Bloque de celdas	Metacrilato de metilo
1B	1		
2	4	Cuña de bronce	0.5 mm de espesor
3	2	Lamina de bronce	Malla N° 20
4	2	Alambre de cobre sólido	Revestimiento de nylon de 2 mm
5	2	Anillo terminal	Para cable de 2 mm
6	2	Conector banana	6.4 mm con espárrago roscado

Fuente: Norma ASTM C1202

Tabla 12: Interpretación de la Carga Transmitida desde la Célula hasta la Muestra a Ensayar

Carga Transmitida (Coulombs)	Penetración de iones de cloruro
> 40000	Alto
2000 - 4000	Moderado
1000 - 2000	Bajo
100 - 1000	Muy bajo
< 100	Despreciable

Fuente: Norma ASTM C1202

2.9.11 ASTM C452: Standard Test Method for Potential Expansion of Portland Cement Mortars Exposed to Sulfate

Esta norma se aplica únicamente a los cementos portland. El ensayo a realizar cubre la determinación de la expansión de las barras de mortero hechas de una mezcla con cemento Portland y yeso; de la cual se espera un contenido de trióxido de azufre (SO₃) de 7.0% en masa.

Este método de prueba es utilizado principalmente por aquellos interesados en la investigación de métodos para determinar la resistencia potencial a los sulfatos del cemento portland. Este método de prueba también se utiliza para establecer que un cemento Portland resistente a los sulfatos cumple con los requisitos de rendimiento de la Especificación C150.

2.10 Asentamiento

Según la NTP 339.035, este ensayo se realiza para proporcionar al usuario una técnica para monitorear la consistencia del concreto no endurecido (NTP, 2009). Para ello se utiliza el Cono de Abrams para realizar el procedimiento adecuado y verificar en cuanto se asentó la mezcla generada.

2.11 Salinidad del área

La salinidad en la zona de la bahía de Chimbote en los últimos años se encuentra bordeando los 35 ups (Unidades Prácticas de Salinidad) uno de los mayores registros de salinidad de toda la costa peruana. Asimismo, se registró la temperatura de esta bahía, la cual bordeaba los 18 °C. Datos obtenidos por el Instituto del Mar del Perú –IMARPE por el crucero 1605-06. A continuación, se observa el Figura 9 de la toma de datos de las temperaturas y la salinidad de toda la costa peruana del año 2016.

Figura 9: Distribución de a) Temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$), b) Anomalía térmica ($^{\circ}\text{C}$) y Salinidad superficial del mar (ups) (Fuente: IMARPE)

2.12 Consideraciones del diseño de mezcla

Para el diseño de mezcla se analiza la viabilidad de la utilización de cemento tipo I, comparándolo con el tipo V, para que luego sea reemplazado en porcentaje por la ceniza de cáscara de arroz.

Tabla 13: Diseño de mezcla con cemento tipo V

				Proporción en Obra
Materiales	Peso Seco (kg/m ³)	Peso Húmedo (kg/m ³)	Volumen Resultante (m ³)	Dosificación Recomendada en Volumen (m ³)
Cemento	345.88	345.88	0.231	1.00
Agregado Fino	821.98	826.10	0.463	2.00
Agregado Grueso	1,044.17	1,047.13	0.715	3.10
Agua de Mezcla	193.00	217.84	0.218	0.90

Asentamiento Obtenido: 4 pulgadas (4")

Fuente: Diseño de mezcla hecho por el Ing. Juan P. Manriquez Ulloa

Tabla 14: Diseño de mezcla con cemento tipo I

Muestra	Proporción de Mezcla de Concreto (kg/m ³)						Relación A/C
	Cemento Tipo I	GRBA	Agregado Grueso	Agregado Fino	Agua	SP	
145	424	-	979	767	190	-	0.45
165	295	-	1039	814	192	-	0.65
145GRBA15	360	64	957	767	190	0.85	0.45
145GRBA25	318	106	938	767	190	1.70	0.45
145GRBA35	276	148	925	767	190	2.54	0.45
145GRBA50	212	212	952	767	190	3.82	0.45
165GRBA15	251	44	1023	814	192	-	0.65
165GRBA25	221	74	1012	814	192	-	0.65
165GRBA35	192	103	1000	814	192	0.30	0.65
165GRBA50	148	148	982	814	192	0.30	0.65

Fuente: (W. Chalee, 2013)

La cantidad de kilogramos por cada metro cúbico del cemento ya sea tipo I o tipo V, es similar, por ende, se optará por considerar posible el diseño con cemento tipo V, teniendo en cuenta la diferencia de generación de resistencia según las especificaciones de cada cemento y de los costos de estos dos.

2.13 Diseños de Mezclas con RHA

A continuación, se mostrarán las muestras de mezclas de cemento con el determinado porcentaje de RHA. Así mismo, se escogerá un diseño de mezcla en base a nuestro criterio para poder plasmarlos en nuestros ensayos. Cabe recalcar que estas muestras fueron obtenidas de estudios anteriores sobre la dosificación de concreto con RHA:

2.13.1 Muestras

Tabla 15: Diseño de Mezcla

Diseño de Mezcla (kg/m ³)							
Mezcla	w/c	Ratio de RHA	Cemento	Agua	Grava	Arena	Plastificante
Convencional	0.4	0	400	180	840	750	15
RHA 5%	0.4	5	380	180	840	750	15
RHA 10%	0.4	10	360	180	840	750	15
RHA 15%	0.4	15	340	180	840	750	15

Fuente: (Zareei, Ameri, & Dorostkar, 2017)

Tabla 16: Proporción de mezcla de pasta y mortero para probetas en forma de prismas

Cuantificación del material en gramos					
Mezcla	w/c	RHA	Cemento	Agua	Arena
Convencional	0.48	0	1500	720	4125
RHA 5%	0.48	75	1425	720	4125
RHA 15%	0.48	225	1275	720	4125

Fuente: (Khan, Shehzada, Bibi, Islam, & Khan, 2018)

2.13.2 Diseños de Mezcla de Referencia

Tabla 17: Proporción de mezcla de diferentes mezclas.

Diseño de Mezcla							
Mezcla	Cemento (kg/m3)	Agregado Fino (kg/m3)	Agregado Grueso (kg/m3)	Agua (kg/m3)	Superplastificante (kg/m3)	RHA (kg/m3)	Nro de Cubos
Convencional	481.25	831.6	732.37	190.5	5.77	0	21
RHA 5%	457.19	831.6	732.37	190.5	5.77	24.06	21
RHA 10%	433.13	831.6	732.37	190.5	5.77	48.12	21
RHA 15%	409.06	831.6	732.37	190.5	5.77	72.18	21

Fuente: (Kumar & Pandey, 2017)

Tabla 18: Proporciones por peso.

Proporciones por peso (kg) para realizar 1 m3 de hormigón							
Mezcla	Agua	Cemento	RHA	Agregado Grueso	Agregado Fino	Total	
Convencional	197.7	380.1	0	861.4	704.7	2143.9	
RHA 10%	189.4	327.8	36.4	825.4	675.4	2054.4	
RHA 15%	185.6	303.3	53.5	808.6	661.6	2012.6	

Fuente: (Montero Trujillo, 2017)

Por criterio, decidimos usar las muestras de Zareei (Zareei, Ameri, & Dorostkar, 2017) y la de Montero (Montero Trujillo, 2017) puesto que son las últimas investigaciones que se hicieron y presentan ambientes muy parecidos a la zona de nuestra problemática:

Tabla 19: Diseño de Mezcla

Diseño de Mezcla (kg/m3)							
Mezcla	w/c	Ratio de RHA	Cemento	Agua	Grava	Arena	Plastificante
Convencional	0.4	0	400	180	840	750	15
RHA 5%	0.4	5	380	180	840	750	15
RHA 10%	0.4	10	360	180	840	750	15
RHA 15%	0.4	15	340	180	840	750	15

Fuente: (Zareei, Ameri, & Dorostkar, 2017)

Tabla 20: Proporciones por peso.

Proporciones por peso (kg) para realizar 1 m ³ de hormigón						
Mezcla	Agua	Cemento	RHA	Agregado Grueso	Agregado Fino	Total
Convencional	197.7	380.1	0	861.4	704.7	2143.9
RHA 10%	189.4	327.8	36.4	825.4	675.4	2054.4
RHA 15%	185.6	303.3	53.5	808.6	661.6	2012.6

Fuente: (Montero Trujillo, 2017)

2.14 Relaciones

Se comparan las referencias que posiblemente sean usadas. A continuación, se muestran los gráficos según los datos de Zareei (Zareei, Ameri, & Dorostkar, 2017), Kumar (Kumar & Pandey, 2017) y Montero (Montero Trujillo, 2017).

2.14.1 Concreto Convencional

Figura 10: Análisis comparativo concreto Convencional (Fuente: Elaboración Propia)

2.14.2 Concreto con RHA a 5%

Figura 11: Análisis comparativo concreto con RHA al 5% (Fuente: Elaboración Propia)

2.14.3 Concreto con RHA a 10%

Figura 12: Análisis comparativo concreto con RHA al 10% (Fuente: Elaboración Propia)

2.14.4 Concreto con RHA a 15%

Figura 13: Análisis comparativo concreto con RHA al 15% (Fuente: Elaboración Propia)

Finalmente se decidió por usar el diseño de mezcla obtenido por Montero, debido a que este diseño no utiliza el aditivo de plastificante o supe plastificante. Además, se debe tener en cuenta que presenta una mayor relación a/c lo que favorecerá a la trabajabilidad de la mezcla de concreto. Cabe recalcar que este diseño de mezcla será usado como base para realizar nuestra dosificación según los porcentajes de RHA determinados (5%, 10% y 15%).

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Población

El proyecto Aproferrol, ubicado en el Distrito de Chimbote de la Provincia del Santa, contempla la construcción de 7800 lastres de 950 kg para tuberías de 630 mm, elaborados para el funcionamiento de un Emisor Submarino.

3.1.2 Muestra

Dentro de los encargados de realizar el proyecto Aproferrol, se tiene como subcontratista a la fábrica pesquera Pacífico, que fue delegada a fabricación de 175 lastres. La vida útil del conjunto de lastres se vio afectada por la falla total de alguno de ellos, y evidente desgaste de la mayoría de estos. Para nuestro estudio se realizará el ensayo de 3 probetas por cada tipo de mezcla que se propondrá, las cuales serán elaboradas con las mismas características que se desea hacer el concreto especial para los futuros lastres a ser elaborados.

3.2 Métodos

3.2.1 Nivel de investigación

Consideramos un nivel de investigación correlacional o explicativa a través de la formulación de la relación de la durabilidad del concreto expuesto al ambiente marino con el agregado de la ceniza de cáscara de arroz.

3.2.2 Diseño de investigación

Se considera un diseño experimental. Se medirá la durabilidad del concreto expuesto al ambiente marino de las estructuras con concreto de control. Seguidamente, se analizará el concreto especial elaborado con ceniza de cáscara de arroz.

3.2.3 Variables de estudio y operacionalización

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Instrumentos de investigación
Dependiente (VD): Durabilidad del concreto de los anclajes de tuberías submarinas en el sector industrial pesquero del distrito de Chimbote	Permeabilidad y resistencia.	Carga transmitida (Coulomb)	Ensayo de Permeabilidad Rápida por Corrosión de Iones Cloruros	Ficha de resultados
Independiente (VI): Diseño y evaluación de concreto especial con cenizas de cáscara de arroz (RHA)	Porcentaje de RHA	Magnitud en kgf/cm^2 de cada testigo	Ensayo de ruptura de probetas o testigos	Gráficos de resultados

3.2.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Se obtendrán datos realizando pruebas de laboratorio como:

- Ensayo de compresión y asentamiento
- Ensayo de agregados
- Ensayo de permeabilidad rápida por cloruros

3.2.5 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos

Para la propuesta de investigación se realizarán tablas comparativas como las siguientes:

- Porcentaje de RHA VS f'_c (kgf/cm²)
- Porcentaje de RHA VS Permeabilidad (cm²)

4 DISEÑO DE MEZCLA Y MATERIALES

4.1 Ensayo granulométrico del agregado fino de Chimbote

Se tomó una muestra de la cantera con razón social “Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada La Sorpresa”, considerada una de las mejores canteras proveedoras de agregados en Chimbote. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio HUB de San Miguel, brindado por la UPC.

Tabla 21: Ensayo granulométrico del Agregado Fino de Chimbote de la cantera “La Sorpresa”

						NTP 400.037	
(mm)	MALLA	PESO RETENIDO (gr.)	% RETENIDO	%RET. ACU.	%PASA	MINIMO	MAXIMO
50.00	2"		0.00	0.00	100.00		
37.50	1 1/2"		0.00	0.00	100.00		
25.00	1"		0.00	0.00	100.00		
19.00	3/4"		0.00	0.00	0.00		
12.50	1/2"		0.00	0.00	100.00		
TM 9.50	3/8"	4.50	0.84	0.84	99.16	100	100
TMN 4.75	Nº4	21.10	3.93	4.77	95.23	95	100
2.36	Nº8	82.00	15.29	20.06	79.94	80	100
1.18	Nº16	142.40	26.55	46.61	53.39	50	85
0.60	Nº30	142.90	26.64	73.25	26.75	25	60
0.30	Nº50	80.10	14.93	88.18	11.82	5	30
0.15	Nº100	39.80	7.42	95.60	4.40	0	10
0.08	Nº200		0.00	95.60	4.40		
	FONDO	23.60	4.40	100.00	0.00	0	0
	TOTAL	536.40	100				

Fuente: Elaboración Propia

Figura 14: Gráfico granulométrico de Agregado Fino de Chimbote de la cantera “La Sorpresa” (Fuente: Elaboración Propia)

Cómo se puede observar, este agregado cumple con la gradación estipulada por la norma NTP 400.037 (ASTM C 33/C33M:2013, Standard Specification for Concrete Aggregates, 2014)

4.2 Ensayo granulométrico del agregado grueso de Chimbote

Tabla 22: Ensayo granulométrico del Agregado Grueso de Chimbote de la cantera “La Sorpresa”

					HUSO 57	
MALLA	PESO RETENIDO (gr.)	%RETENIDO	%RET. ACU.	%PASA	MINIMO	MAXIMO
2"	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	1190.40	17.65	17.65	82.35	100	100
3/4"	4379.50	64.95	82.60	17.40	90	100
1/2"	1173.00	17.40	100.00	0.00	55	77.5
3/8"	0.00	0.00	100.00	0.00	20	55
N°4	0.00	0.00	100.00	0.00	0	10
N°8	0.00	0.00	100.00	0.00	0	5
N°16	0.00	0.00	100.00	0.00		
N°30		0.00	100.00	0.00		
N°50		0.00	100.00	0.00		
N°100		0.00	100.00	0.00		
N°200		0.00	100.00	0.00		
FONDO		0.00	100.00	0.00		
TOTAL	6742.90	100				

Fuente: Elaboración Propia

Figura 15: Gráfico granulométrico de Agregado Grueso de Chimbote de la cantera “La Sorpresa”(Fuente: *Elaboración Propia*)

Cómo se puede observar, este agregado también cumple con la gradación estipulada por la Norma NTP 400.037 (ASTM C 33/C33M:2013, Standard Specification for Concrete Aggregates, 2014)

4.3 Módulos de fineza del agregado grueso y fino de Chimbote

Tabla 23: Módulos de fineza del agregado grueso y el agregado fino de Chimbote

MALLA	RETENIDO ACUMULADO	
	Grueso	Fino
2"	0.00	0.00
1 1/2"	0.00	0.00
1"	17.65	0.00
3/4"	82.60	0.00
1/2"	100.00	0.00
3/8"	100.00	0.84
N°4	100.00	4.77
N°8	100.00	20.06
N°16	100.00	46.61
N°30	100.00	73.25
N°50	100.00	88.18
N°100	100.00	95.60
N°200	100.00	95.60
FONDO	100.00	100.00
MF	7.83	3.29

Fuente: Elaboración Propia

4.4 Ensayos granulométricos del agregado fino de Lima

De igual forma, se obtuvieron muestras de agregado fino y agregado grueso de la cantera “Jicamarca” ubicada en Huachipa, la cual es proveedora asociada de la empresa Unicon. Igualmente, se realizaron los ensayos en el Laboratorio HUB de San Miguel brindado por la UPC.

Tabla 24: Ensayo Granulométrico del Agregado Fino de Lima de la Cantera “Jicamarca”

						NTP 400.037	
(mm)	MALLA	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	%RET. ACU.	%PASA	MINIMO	MAXIMO
50.00	2"		0.00	0.00	100.00		
37.50	1 1/2"		0.00	0.00	100.00		
25.00	1"		0.00	0.00	100.00		
19.00	3/4"		0.00	0.00	0.00		
12.50	1/2"		0.00	0.00	100.00		
9.50	3/8"	3.80	0.68	0.68	99.32	100	100
4.75	N°4	22.20	3.95	4.63	95.37	95	100
2.36	N°8	85.50	15.23	19.86	80.14	80	100
1.18	N°16	135.20	24.08	43.94	56.06	50	85
0.60	N°30	135.80	24.19	68.13	31.87	25	60
0.30	N°50	85.70	15.27	83.40	16.60	5	30
0.15	N°100	59.10	10.53	93.93	6.07	0	10
0.08	N°200		0.00	93.93	6.07		
	FONDO	34.10	6.07	100.00	0.00	0	0
	TOTAL	561.40	100				

Fuente: Elaboración Propia

Figura 16: Gráfico granulométrico de Agregado Fino de Lima de la cantera "Jicamarca" (Fuente: Elaboración Propia)

4.5 Ensayo granulométrico del agregado grueso de Lima

Tabla 25: Ensayo Granulométrico del Agregado Grueso de Lima de la Cantera "Jicamarca"

					NTP 400.037	
					HUSO 67	
MALLA	PESO RETENIDO (gr)	%RETENIDO	%RET. ACU.	%PASA	MINIMO	MAXIMO
2"	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	421.30	6.25	6.25	93.75	100	100
3/4"	2245.00	33.29	39.53	60.47	90	100
1/2"	1624.90	24.09	63.63	36.37	55	77.5
3/8"	2453.20	36.37	100.00	0.00	20	55
Nº4	0.00	0.00	100.00	0.00	0	10
Nº8	0.00	0.00	100.00	0.00	0	5
Nº16	0.00	0.00	100.00	0.00		
Nº30		0.00	100.00	0.00		
Nº50		0.00	100.00	0.00		
Nº100		0.00	100.00	0.00		
Nº200		0.00	100.00	0.00		
FONDO		0.00	100.00	0.00		
TOTAL	6744.40	100				

Fuente: Elaboración Propia

Figura 17: Gráfico granulométrico de Agregado Grueso de Lima de la cantera “Jicamarca”
(Fuente: Elaboración Propia)

El agregado grueso en este caso no está completamente dentro de la gradación estipulada, pero se considera óptimo según el rango permisible dado por la Norma NTP 400.037. (ASTM C 33/C33M:2013, Standard Specification for Concrete Aggregates, 2014)

4.6 Módulos de fineza del agregado de Lima

Tabla 26: Módulos de fineza del agregado grueso y el agregado fino de Lima

MALLA	RETENIDO ACUMULADO	
	Grueso	Fino
2"	0.00	0.00
1 1/2"	0.00	0.00
1"	6.25	0.00
3/4"	39.53	0.00
1/2"	63.63	0.00
3/8"	100.00	0.68
N°4	100.00	4.63
N°8	100.00	19.86
N°16	100.00	43.94
N°30	100.00	68.13
N°50	100.00	83.40
N°100	100.00	93.93
N°200	100.00	93.93
FONDO	100.00	100.00
MF	7.40	3.15

Fuente: Elaboración Propia

4.7 Ensayo de Absorción del agregado grueso de Chimbote

Con la misma muestra a la que se le hizo el ensayo granulométrico se pasará a realizar los ensayos de absorción en el mismo laboratorio.

Tabla 27: Ensayo de absorción del Agregado Grueso de Chimbote de la cantera “La Sorpresa”

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS		
AGREGADO GRUESO ASTM C-127 / 400.21		
COD	DATOS DE ENSAYO	PRUEBA 1
A	PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO (AIRE) (g)	2453.40
B	PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO (SUMERGIDO)(g)	1586.30
C	VOLUMEN DE LA MASA + VOLUMEN DE VACIOS (A-B)	867.10
D	PESO DE MATERIAL SECO(g)	2433.30
E	PESO ESPECIFICO DE MASA D/C	2.81
F	PESO ESPECIFICO SSS (BASE SATURADA) A/C	2.83
G	PESO ESPECIFICO APARENTE (BASE SECA) D/(D-B)	2.87
H	ABSORCION $((A-D)/D)*100$	0.83

Fuente: Elaboración Propia

4.8 Ensayo de Absorción del agregado grueso de Chimbote

Tabla 28: Ensayo de absorción del Agregado Grueso de Chimbote de la cantera “La Sorpresa”

AGREGADO FINO ASTM C-187/NTP 400.022		
COD	DATOS DEL ENSAYO	PRUEBA 1
A		
B	PESO FIOLA CON AGUA DESTILADA (HASTA MARCA)(g)	665.50
C	PESO DE MUESTRA SSS(g)	500.00
D	PESO FIOLA + AGUA + MUESTRA SSS(g)	977.30
E	IDENTIFICACIÓN DEL RECIPIENTE	2A
F	PESO DEL RECIPIENTE(g)	161.00
G	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECADA AL HORNO(g)	656.10
H	PESO DE MUESTRA SECA AL HORNO G-F(g)	495.10
I	PESO ESPECIFICO DE MASA $H/(B+C-D)$	2.63
J	PESO ESPECIFICO SSS (BASE SATURADA) $C/(B+C-D)$	2.66
K	PESO ESPECIFICO APARENTE (BASE SECA) $H/(B+H-D)$	2.70
L	% ABSORCIÓN $((C-H)/H)*100$	0.99

Fuente: Elaboración Propia

4.9 Ensayo de Absorción del agregado grueso de Lima

De la misma manera, se usará la misma muestra del ensayo granulométrico y en el mismo laboratorio.

Tabla 29: Ensayo de absorción del Agregado Grueso de Lima de la cantera “Jicamarca”

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS		
AGREGADO GRUESO ASTM C-127 / 400.21		
COD	DATOS DE ENSAYO	PRUEBA 1
A	PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO (AIRE) (g)	2009.30
B	PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO (SUMERGIDO)(g)	1272.30
C	VOLUMEN DE LA MASA + VOLUMEN DE VACIOS (A-B)	737.00
D	PESO DE MATERIAL SECO(g)	1991.60
E	PESO ESPECIFICO DE MASA D/C	2.70
F	PESO ESPECIFICO SSS (BASE SATURADA) A/C	2.73
G	PESO ESPECIFICO APARENTE (BASE SECA) D/(D-B)	2.77
H	ABSORCION $((A-D)/D)*100$	0.89

Fuente: Elaboración Propia

4.10 Ensayo de Absorción del agregado fino de Lima

Tabla 30: Ensayo de absorción del Agregado Fino de Lima de la cantera “Jicamarca”

AGREGADO FINO ASTM C-187/NTP 400.022		
COD	DATOS DEL ENSAYO	PRUEBA 1
B	PESO FIOLA CON AGUA DESTILADA (HASTA MARCA)(g)	665.50
C	PESO DE MUESTRA SSS(g)	500.00
D	PESO FIOLA + AGUA + MUESTRA SSS(g)	981.40
E	IDENTIFICACIÓN DEL RECIPIENTE	2A
F	PESO DEL RECIPIENTE(g)	161.00
G	PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECADA AL HORNO(g)	655.90
H	PESO DE MUESTRA SECA AL HORNO G-F(g)	494.90
I	PESO ESPECIFICO DE MASA $H/(B+C-D)$	2.69
J	PESO ESPECIFICO SSS (BASE SATURADA) $C/(B+C-D)$	2.72
K	PESO ESPECIFICO APARENTE (BASE SECA) $H/(B+H-D)$	2.76
L	% ABSORCIÓN $((C-H)/H)*100$	1.03

Fuente: Elaboración Propia

4.11 Análisis Comparativo

4.11.1 Módulos de fineza

Figura 18: Comparación de Los Módulos de Fineza de los agregados de Chimbote y Lima
(Fuente: Elaboración Propia)

4.11.2 Pesos específicos

Figura 19: Comparación de Los Pesos Específicos de los agregados de Chimbote y Lima
(Fuente: Elaboración Propia)

4.11.3 Porcentaje de absorción

Figura 20: Comparación de Los Porcentajes de Absorción de los agregados de Chimbote y Lima (Fuente: Elaboración Propia)

Luego de realizar las comparaciones necesarias, se concluye que se pueden realizar ensayos propios de los objetivos de nuestro estudio con agregados procedentes de cualquiera de las canteras analizadas, ya que poseen propiedades similares.

Sin embargo, debido a la cercanía del proyecto situado en la localidad de Chimbote, se optó por utilizar el agregado de la cantera “La Sorpresa” ubicada en las afueras de Chimbote. Así mismo, se opta por obtener una muestra grande de la cantera mencionada para ser ensayada en toda nuestra investigación, esto para evitar cualquier tipo de variación que se pueda presentar en las propiedades de nuestros materiales, ya sea por el tiempo o por el lugar exactos de dónde se obtuvieron las muestras.

4.12 Ensayo de Solidez o Disgregación de los Agregados en Sulfato de Magnesio

4.12.1 Análisis cuantitativo del agregado grueso

Tabla 31: Análisis Cuantitativo

N ^o	Tamaño	%	Peso Requerido (g)	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Pérdida de Peso (g)	Pérdida de Peso (%)	Gradación original (%)	Pérdida Corregida (%)
1	2 1/2" a 1 1/2"		5000 ± 300						

	2 1/2" a 2"	6 0	3000 ± 300						
	2" a 1 1/2"	4 0	2000 ± 200						
2	1 1/2" a 3/4"		1500 ± 50						
	1 1/2" a 1"	6 7	1000 ± 50						
	1" a 3/4"	3 3	500 ± 30						
3	3/4" a 3/8"		1000 ± 10						
	3/4" a 1/2"	6 7	670 ± 10	665.0	633. 3	31.7	4.77%	18.2	0.867
	1/2" a 3/8"	3 3	330 ± 5	325.0	287. 6	37.4	11.51%	14.5	1.673
4	3/8" a N° 4		300 ± 5	300.1	289. 0	11.1	3.70%	48.7	1.800
TOTALES								81.4	4.34%

Fuente: GEOMG

4.12.2 Análisis cuantitativo del agregado fino

Tabla 32: Análisis Cuantitativo

Tamaño	Peso Requerido (g)	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Pérdida de Peso (g)	Pérdida de Peso (%)	Gradación original (%)	Pérdida Corregida (%)
3/8" a N°4	100						
N°4 a N°8	100	100.0	91.5	8.5	8.50%	19.6	1.670
N°8 a N°16	100	100.0	92.1	7.9	7.90%	24.7	1.955
N°16 a N°30	100	100.0	80.3	19.7	19.70%	18.0	3.549
N°30 a N°50	100	100.0	79.1	20.9	20.90%	12.8	2.681
N°50 a N°100							
Pasan N° 100							
TOTALES						75.2	9.86%

Fuente: GEOMG

4.13 Diseño de Mezcla y Materiales Definitivo

4.13.1 Elaboración de Diseño de Mezcla Concreto de Control

El diseño de mezcla que contiene cemento Tipo V para ambientes expuestos a sulfatos será denominado “diseño de mezcla de control”, debido a que, comúnmente, las estructuras marinas utilizan este tipo de cemento.

El diseño de mezcla sigue las recomendaciones de la norma ACI-211, por ello se han ejecutado los siguientes procedimientos:

4.13.1.1 Resistencia promedio Requerida

El tipo de concreto a utilizar estará en contacto con ambientes marinos, para ello se escogió una resistencia a la compresión $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$; sin embargo, para una resistencia promedio en obra se debe seguir la siguiente tabla:

Tabla 33: Resistencia promedio propuestas por el ACI – 211

$f'_c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	f'_{cr}
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Más de 350	$f'_c + 98$

Fuente: GEOMG

$$f'_c = 280$$

$$f'_{cr} = 280 + 84$$

$$f'_{cr} = 364 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

4.13.1.2 Asentamiento

El tipo de concreto a utilizar será para estructuras de anclajes en ambientes marinos, por lo tanto, la mezcla debe presentar una consistencia plástica. Para cuantificar nuestro asentamiento se hace uso de la siguiente tabla:

Tabla 34: Consistencia de mezcla propuesta por el ACI – 211

Consistencia	Asentamiento en Pulgadas
Seca	0 a 2"
Plástica	3" a 4"
Fluida	Más de 4"

Fuente: GEOMG

Por lo tanto, para nuestro concreto especial se necesitará un asentamiento de 3" a 4"

4.13.1.3 Tamaño Máximo Nominal del Agregado

Nuestro agregado grueso obtenido de la cantera “La Sorpresa” presenta un Tamaño Máximo Nominal de 1 pulgada (1").

$$T.M.N. = 1/2"$$

4.13.1.4 Relación Agua – Cemento y Resistencia a la Compresión del Concreto

En base a nuestra resistencia promedio requerida (364 kg/cm²), se obtendrá una relación de agua / cemento según la siguiente tabla:

Tabla 35: Tabla de relación agua – cemento propuesta por el ACI – 211

Resistencia a la compresión a los 28 días (f'cp) kg /cm²	Relación Agua - Cemento de Diseño en Peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: GEOMG

Interpolando los valores de 0.38 y 0.43 obtenemos una relación de agua / cemento de 0.45.

$$\text{Relación } a/c = 0.45$$

4.13.1.5 Contenido de Cemento

$$\text{Contenido de Cemento} = \frac{\text{Agua de mezclado (kg/m}^3\text{)}}{\text{Relación agua – cemento}}$$

$$\text{Contenido de Cemento} = \frac{205}{0.45}$$

$$\text{Contenido de Cemento} = 455.6 \text{ kg}$$

4.13.1.6 Ajuste por Contenido de Humedad de los Agregados

Para tener el ajuste de humedad en los agregados se debe usar la siguiente tabla:

Tabla 36: Corrección por humedad a agregado propuesta por el ACI – 211

	Agregado Grueso	Agregado Fino
Humedad Total (%)	0.19%	0.47%
Porcentaje de Absorción (%)	0.29%	0.94%

Fuente: GEOMG

4.13.1.7 Ajuste de Materiales por Humedad

Una vez obtenido los porcentajes de corrección se procede a calcular los pesos de los materiales por metro cúbico de mezcla., del cual se obtiene la siguiente la tabla:

Tabla 37: Materiales corregidos (Fuente: Elaboración Propia)

	Pesos materiales/ m3 sin corrección	Pesos materiales/ m3 corregidas
Cemento	455.6 kg	455.6 kg
Agregado Fino	838.6 kg	842.5 kg
Agregado Grueso	897.12 kg	898.8 kg
Agua	205 litros	209.8 litros

Fuente: GEOMG

4.13.1.8 Expresiones de las Proporciones en Volumen

Cemento = 1 pie³

Agregado Fino = 1.67 pie³

Agregado Grueso = 2.08 pie³

Agua Efectiva = 20.30 litros/bolsa

4.13.2 Reemplazo de Mezcla de Concreto con porcentajes de RHA

Del diseño de mezcla del concreto de control, se va adicionando ceniza de cáscara de arroz según el porcentaje a estudiar (5%, 10% y 15%); obteniendo así el siguiente cuadro:

Tabla 38: Dosificación de Probetas a Ensayar (Fuente: Elaboración Propia)

Dosificación de Mezcla para Probetas (kg/m³)				
Materiales	Control	Ceniza de cáscara de arroz (RHA)		
		5% de RHA	10% de RHA	15 % de RHA
Cemento	13.39 kg	12.75 kg	12.11 kg	11.47 kg
RHA	-	0.64 kg	1.28 kg	1.92 kg
Agua	8.19 litros	8.19 litros	8.19 litros	8.19 litros
Agregado Fino	23.58 kg	23.58 kg	23.58 kg	23.58 kg
Agregado Grueso	25.15 kg	25.15 kg	25.15 kg	25.15 kg

Fuente: Elaboración propia

5 RESULTADOS

5.1 Asentamientos (SLUMP)

5.1.1 Asentamiento en Concreto de Control

Según la NTP 339.035, procedemos a realizar el ensayo de cono de Abrams para poder obtener los resultados de la consistencia de nuestra mezcla realizada.

El resultado obtenido fue de 3.58" o 9.09 cm.

5.1.2 Asentamiento en Concreto Especial con 5% de RHA

El resultado obtenido fue de 3.10" o 7.87 cm.

5.1.3 Asentamiento en Concreto Especial con 10% de RHA

El resultado obtenido fue de 2.97" o 7.54 cm

5.1.4 Asentamiento en Concreto Especial con 15% de RHA

El resultado obtenido fue de 2.85" o 7.24 cm

Figura 21: Resultados de asentamientos (SLUMP) obtenidos para cada tipo de mezcla

Fuente: Elaboración Propia

5.2 Ensayos de Compresión al Concreto de Control

5.2.1 Ensayo de Compresión a 7 días

Para la compresión se siguió los procesos y recomendaciones de la norma ASTM C-39, así se logró obtener los siguientes resultados:

Tabla 39: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto de control a los 07 días

Testigo		Diámetro (cm)	Edad (días)	Resistencia Diseño f'_c (kg/cm ²)	Kgf	f'_c (kg/cm ²)	f_c/f'_c (%)
N°	Elemento						
1	Probeta 1	15.15	7	280	39760	220.56	78.77

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2 Ensayo de Compresión a 14 días

Tabla 40: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto de control a los 14 días

Testigo		Diámetro (cm)	Edad (días)	Resistencia Diseño f'_c (kg/cm ²)	Kgf	f'_c (kg/cm ²)	f_c/f'_c (%)
N°	Elemento						
2	Probeta 2	14.99	14	280	44415	251.68	89.68

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3 Ensayo de Compresión a 28 días

Tabla 41: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto de control a los 28 días

Testigo		Diámetro (cm)	Edad (días)	Resistencia Diseño f'_c (kg/cm ²)	Kgf	f'_c (kg/cm ²)	f_c/f'_c (%)
N°	Elemento						
3	Probeta 3	14.99	28	280	54026	306.13	109.33

Fuente: Elaboración Propia

Figura 22: Resumen de pruebas de compresión de probetas del concreto de control

Fuente: Elaboración Propia

5.3 Ensayos de Compresión al Concreto Especial

5.3.1 Concreto con 5% de RHA a 7 días

Tabla 42: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 5% de RHA a los 07 días

Testigo		Diámetro (cm)	Edad (días)	Resistencia Diseño f'_c (kg/cm ²)	Kgf	f'_c (kg/cm ²)	fc/f'_c (%)
N°	Elemento						
1	Probeta 5%	15.09	7	280	40772	227.98	81.42

Fuente: Elaboración Propia

5.3.2 Concreto con 5% de RHA a 14 días

Tabla 43: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 5% de RHA a los 14 días

Testigo		Diámetro (cm)	Edad (días)	Resistencia Diseño f'_c (kg/cm ²)	Kgf	f'_c (kg/cm ²)	fc/f'_c (%)
N°	Elemento						
2	Probeta 5%	14.91	14	280	44980	257.62	84.68

Fuente: Elaboración Propia

5.3.3 Concreto con 5% de RHA a 28 días

Tabla 44: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 5% de RHA a los 28 días

Testigo		Diámetro (cm)	Edad (días)	Resistencia Diseño f'_c (kg/cm ²)	Kgf	f'_c (kg/cm ²)	fc/f'_c (%)
N°	Elemento						
3	Probeta 5%	15.03	28	280	59089	316.13	112.9

Fuente: Elaboración Propia

Figura 23: Resumen de pruebas de compresión de probetas de concreto especial con 5% de RHA

Fuente: Elaboración Propia

5.3.4 Concreto con 10% de RHA a 7 días

Tabla 45: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 10% de RHA a los 07 días

Testigo		Diámetro (cm)	Edad (días)	Resistencia Diseño f'c (kg/cm²)	Kgf	f'c (kg/cm²)	fc/f'c (%)
N°	Elemento						
1	Probeta 10%	15.24	7	280	39614	217.16	77.56

Fuente: Elaboración Propia

5.3.5 Concreto con 10% de RHA a 14 días

Tabla 46: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 10% de RHA a los 14 días

Testigo		Diámetro (cm)	Edad (días)	Resistencia Diseño f'c (kg/cm²)	Kgf	f'c (kg/cm²)	fc/f'c (%)
N°	Elemento						
2	Probeta 10%	15.22	14	280	45215	250.82	89.58

Fuente: Elaboración Propia

5.3.6 Concreto con 10% de RHA a 28 días

Tabla 47: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 10% de RHA a los 28 días

Testigo		Diámetro (cm)	Edad (días)	Resistencia Diseño f'_c (kg/cm ²)	Kgf	f'_c (kg/cm ²)	f_c/f'_c (%)
N°	Elemento						
3	Probeta 10%	14.97	28	280	47129	277.77	99.20

Fuente: Elaboración Propia

Figura 24: Resumen de pruebas de compresión de probetas de concreto especial con 10% de RHA

Fuente: Elaboración Propia

5.3.7 Concreto con 15% de RHA a 7 días

Tabla 48: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 15% de RHA a los 07 días

Testigo		Diámetro (cm)	Edad (días)	Resistencia Diseño f'_c (kg/cm ²)	Kgf	f'_c (kg/cm ²)	f_c/f'_c (%)
N°	Elemento						
1	Probeta 15%	15.04	7	280	33104	186.33	66.55

Fuente: Elaboración Propia

5.3.8 Concreto con 15% de RHA a 14 días

Tabla 49: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 15% de RHA a los 14 días

Testigo		Diámetro (cm)	Edad (días)	Resistencia Diseño f'_c (kg/cm ²)	Kgf	f'_c (kg/cm ²)	f_c/f'_c (%)
N°	Elemento						
2	Probeta 15%	15.04	14	280	38977	222.34	79.41

Fuente: Elaboración Propia

5.3.9 Concreto con 15% de RHA a 28 días

Tabla 50: Resultado de prueba de compresión a probeta de concreto especial con 15% de RHA a los 28 días

Testigo		Diámetro (cm)	Edad (días)	Resistencia Diseño f'_c (kg/cm ²)	Kgf	f'_c (kg/cm ²)	f_c/f'_c (%)
N°	Elemento						
3	Probeta 10%	15.02	28	280	43702	256.65	91.66

Fuente: Elaboración Propia

Figura 25: Resumen de pruebas de compresión de probetas de concreto especial con 15% de RHA

Fuente: Elaboración Propia

5.4 Ensayo de Penetración Rápida por Iones Cloruro

Tabla 51: Resultado de prueba de Penetración Rápida por Iones Cloruro

Muestra	Relación a/c	% RHA	Resultado (Coulomb)	Penetrabilidad (ASTM C1202)
Control	0.45	-	4059	Alta
Control			3982	Moderada
Control			3520	Moderada
5 % RHA	0.45	5.0	2537	Moderada
5 % RHA			1783	Baja
5 % RHA			1436	Baja
10% RHA	0.45	10.0	1625	Baja
10% RHA			1542	Baja
10% RHA			1835	Baja
15% RHA	0.45	15.0	1381	Baja
15% RHA			1139	Baja
15% RHA			977	Muy baja

Fuente: UNICON

5.5 Ensayo de Permeabilidad de agua en Concreto Endurecido

Tabla 52: Resultado de prueba de Permeabilidad de agua en Concreto Endurecido

Muestra	Edad (días)	Profundidad de Penetración Máxima (mm)
5% de RHA	28	55
10% de RHA	28	49
15% de RHA	28	35

Fuente: UNICON

5.6 Comparación de Costos de Concreto de Control y Concreto Especial

Tabla 53: Costo Unitario por m³ del concreto de control

Concreto de Control				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario ²	Parcial
Agregado Fino	m3	0.6	S/ 42.37	S/ 25.42
Agregado Grueso	m3	0.73	S/ 54.15	S/ 39.53
Cemento V	m3	9	S/ 23.05	S/ 207.45
Agua	m3	0.172	S/ 10.00	S/ 1.72
				S/ 274.12

² Datos obtenidos de la revista Costos.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 54: Costo Unitario por m³ del concreto especial con 5% de RHA

Concreto con Reemplazo del 5% de RHA				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario ³	Parcial
Agregado Fino	m3	0.6	S/ 42.37	S/ 25.42
Agregado Grueso	m3	0.73	S/ 54.15	S/ 39.53
Cemento V	m3	8.55	S/ 23.05	S/ 197.08
RHA	Bls	0.45	S/ 5.00	S/ 2.25
Agua	m3	0.172	S/ 10.00	S/ 1.72
				S/ 266.00

Fuente: Elaboración Propia

6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Validación de datos

En base a la información recolectada de los entregables en los ensayos de resistencia a la compresión, se ha elaborado el siguiente gráfico comparativo.

Figura 26: Resumen de resultados de compresión de todos los tipos de concreto a 7, 14 y 28 días de curado.

Fuente: Elaboración propia

³ Datos obtenidos de la revista Costos. La RHA se obtuvo de valorizaciones hechas a terceros.

6.2 Discusión

Para el análisis de los resultados se necesita tener en cuenta, en primera instancia, la resistencia de las muestras de concreto ya sea la de control o concreto especial. Esta resistencia debe superar la resistencia requerida para el diseño que, en nuestro caso, es de 280 kg/cm².

Por otro lado, para motivos de estudio, se debe considerar, en el análisis, la resistencia a la corrosión, la cual fue analizada con el ensayo de Penetración Rápida de Cloruros, teniendo como control, la muestra de concreto de control.

En base a nuestro trabajo de investigación, se presentan las siguientes discusiones:

- Se observa que las propiedades de los agregados, tanto de la cantera de Chimbote como de Lima, presentan resultados parecidos en módulo de fineza y porcentaje de absorción.
- La disgregación, tanto en agregado fino como en agregado grueso, presenta una solidez aceptable con pérdida de 9.86% y 4.34%, respectivamente.
- Según el gráfico, podemos apreciar que el cemento con adición de 5% de RHA llega a superar la resistencia requerida de 280 kg/cm² con un resultado de 306.13 kg/cm².
- Asimismo, las muestras con 10% y 15% no logran superar la muestra del concreto de control respecto al ensayo de rotura a los 28 días y, tampoco, el requerimiento de diseño de 280 kg/cm².
- El concreto con adición de 5% posee un 2.96% de disminución en relación con el costo del concreto de control
- Finalmente, en el ensayo de permeabilidad de agua se observa que la menor profundidad de penetración fue en 35mm del concreto con reemplazo del 15% de RHA.

7 CONCLUSIONES

A continuación, se presentarán las siguientes conclusiones:

- En base a los ensayos de compresión, se concluye que la adición de 5% de ceniza de cáscara de arroz (RHA) en la mezcla mejora la resistencia a la compresión en comparación con el concreto de control en ambientes marinos, mejorando hasta en un 3.2% la resistencia del concreto.

- Con el ensayo de durabilidad podemos apreciar que la disgregación o solidez de los agregados es casi nula por lo que se concluye que los agregados tienen un buen rendimiento.
- El diseño de concreto especial con 5% de RHA se considera como óptimo en nuestro caso de estudios debido al cumplimiento del requerimiento de resistencia y al requerimiento de permeabilidad, analizados con los resultados de los ensayos.
- El uso de 10% y 15% de RHA no supera o iguala la resistencia de compresión del concreto de control. Aun así, el concreto especial con 10% de reemplazo presenta una alta resistencia temprana a los 7 días de curado evidenciando así, el rápido mecanismo de hidratación de la pasta de cemento que contiene RHA.
- La penetración de iones cloruros en términos de Coulombs disminuye a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de RHA, siendo el de 15% la más resistente a esta penetración con solo
- La permeabilidad en mm del concreto bajo presión de agua disminuye a medida que se le agrega mayor porcentaje de RHA a la pasta cementicia, siendo la mezcla de 15% la menos permeable con solo 35 mm de permeabilidad.
- Al realizar la comparación de los concretos diseñados con cemento Portland Tipo V se aprecia una disminución en el costeo por m³ del concreto especial con RHA respecto al de control. Esto, en proyectos de gran envergadura, se volvería significativo, teniendo ahorros de hasta más del 2.96% por cada m³ de concreto a realizar.

8 RECOMENDACIONES

Para nuestra investigación se presentan las siguientes recomendaciones:

- Se debe llevar un control constante de la relación agua cemento debido al alto porcentaje de absorción que posee la ceniza.
- Se recomienda utilizar aditivo plastificante para mejorar la Trabajabilidad de la mezcla de concreto a medida que se va aumentando el porcentaje de ceniza de cáscara de arroz debido a la disminución del asentamiento (Slump) que se fue presentando en el concreto en estado fresco.
- Es necesario tamizar siempre la ceniza debido a su método de elaboración, porque al ser incinerada y, posteriormente, empaquetadas suelen generarse grumos de este material.

- Se recomienda realizar más comprobaciones con otros tipos de cementos disponibles en el mercado, ya sea el tipo HS o el nuevo cemento tipo Andino Ultra.
- Se recomienda realizar ensayos de tracción a las probetas de concreto debido a que la ceniza de cáscaras de arroz presenta una composición química que podría beneficiar al concreto en la resistencia a esfuerzos de tracción.
- Es recomendable realizar ensayos no acelerados de ataques de sulfato al concreto en ambientes marinos (muelles, orillas del mar, etc.) en estado endurecido, obteniendo resultados más exactos sobre la afectación de estos ambientes en el concreto reforzado.
- Asimismo, se recomienda realizar ensayos de porosidad al concreto para determinar la exposición ambiental del material y daños provenientes del ambiente marino que lo penetra.

9 REFERENCIAS

- UNE-EN-12390-8 Norma Española. (2001). *12390-8, Profundidad de penetración de agua bajo presión*. Madrid: AENOR.
- A.A.Ikpong. (2003). Strength characteristics of medium workability ordinary Portland cement-rice husk ash concrete. *Building and Environment*, 27(1), 105-111. doi:[https://doi.org/10.1016/0360-1323\(92\)90014-G](https://doi.org/10.1016/0360-1323(92)90014-G)
- ACI 318. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal*. Estados Unidos.
- ACI 318. (2008). *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. Estados Unidos.
- ASTM C 33/C33M:2013, Standard Specification for Concrete Aggregates. (2014). *NTP 400.037*. INDECOPI.
- ASTM International. (2015). ASTM C452-15, Standard Test Method for Potential Expansion of Portland-Cement Mortars Exposed to Sulfate. doi:10.1520/C0452-15
- ASTM International. (2018). ASTM C39/C39M - 18, Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto. 04.02. Obtenido de <https://www.astm.org/Standards/C39C39M-SP.htm>

- ASTM International. (2018). *ASTM C88 / C88M-18, Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate or Magnesium Sulfate*. West Conshohocken, PA. doi:10.1520/C0088_C0088M-18
- ASTM International. (2019). ASTM C1202 - 19, Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. doi:10.1520/C1202-19
- B. Phull, A. A. (2010). Marine Corrosion. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, 1107-1148. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.09209-2
- Cruz, E. (7 de Julio de 2015). *PERÚ PESQUERO*. Recuperado el 28 de Junio de 2018, de <http://www.perupesquero.org/edicion-22-junio-julio-2015>
- GR, D. S. (2008). Effects of RHA on autogenous shrinkage of Portland cement pastes. *Cem Concr Compos*, 30, 892-897.
- Hwang, C.-L., & Wu, D.-S. (1989). Properties of Cement Paste Containing Rice Husk Ash. *International Concrete Abstracts Portal*, 114, 733-762. Obtenido de <https://bit.ly/2A3WbDf>
- INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ - IMARPE. (2016). *Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos*.
- Khan, W., Shehzada, K., Bibi, T., Islam, S. U., & Khan, S. W. (10 de Julio de 2018). Performance evaluation of Khyber Pakhtunkhwa Rice Husk Ash (RHA) in improving mechanical behavior of cement. *Construction and Building Materials*, 176, 89-102. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.213
- Kumar, V., & Pandey, D. (Junio de 2017). Mechanical Behaviour of Self Compacting Concrete Using Rice Husk Ash as Partial Replacement of Cement A Comparative Study. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 6(6), 10299-10309.
- Montero Trujillo, D. A. (2017). *Uso de la ceniza de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del cemento en la fabricación de hormigones convencionales en el Ecuador*.

Tesis para Titulación de Ingeniero Civil, UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ, Quito, Ecuador.

- NTP. (2009). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland*. Lima.
- Pitt. (1976). Process for preparation of siliceous ashes. *U.S. Patent 3959007*.
- Roorkee, Indian Institute of Technology. (2018). Rice husk ash. *Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete*, 417-460. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102156-9.00013-4>
- S.K.Agarwal. (2006). Pozzolanic activity of various siliceous materials. *Cement and Concrete Research*, 36(9), 1735-1739. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.025>
- Vanchai Sata, C. J. (Julio de 2007). Influence of pozzolan from various by-product materials on mechanical properties of high-strength concrete. *Construction and Building Materials*, 27(7), 1589-1598. Recuperado el 7 de Setiembre de 2006, de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.09.011>
- Vanchai Sata, J. T. (Enero de 2012). Effect of W/B ratios on pozzolanic reaction of biomass ashes in Portland cement matrix. *Cement and Concrete Composites*, 34(1), 94-100. Recuperado el 9 de Setiembre de 2012, de <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.09.003>
- W. Chalee, T. S. (Marzo de 2013). Utilization of rice husk–bark ash to improve the corrosion resistance of concrete under 5-year exposure in a marine environment. *Cement & Concrete Composites*, 37, 47-53. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.12.007>
- Zareei, S. A., Ameri, F., & Dorostkar, F. (Diciembre de 2017). Rice husk ash as a partial replacement of cement in high strength concrete containing micro silica: Evaluating durability and mechanical properties. *Case Studies in Construction Materials*, 7, 73-81. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.05.001>

7. ANEXOS

PANEL FOTOGRÁFICO DE EVIDENCIAS

Fotografía 1: Ensayo de Peso específico (Fuente: Propia)

Fotografía 2: Ensayo de Peso específico a Agregado Fino (Fuente Propia)

Fotografía 3: Anotación de peso retenido para granulometría (Fuente: Propia)

Fotografía 4: Anotación de peso fiola para absorción (Fuente: Propia)

Fotografía 5: Equipo de trabajo para ensayos en Chimbote (Fuente: Propia)

Fotografía 6: Ensayo de absorción de arena en Chimbote (Fuente: Propia)

Fotografía 7: Anotación de absorción de arena en Chimbote (Fuente: Propia)

Fotografía 8: Moldes con mezcla del concreto de control (Fuente: Propia)

Fotografía 9: Medicón de Slump en mezcla de concreto de control (Fuente: Propia)

Fotografía 10: Sacos con ceniza de cáscara de arroz, RHA (Fuente: Propia)

Fotografía 11: Ceniza de cáscara de arroz, RHA (Fuente: Propia)

Fotografía 12: Mezcla reemplazando ceniza de cáscara de arroz (Fuente: Propia)

Fotografía 13: Medición de diámetro de probetas (Fuente: Propia)

Fotografía 14: Ruptura de probeta de concreto de control a 7 días (Fuente: Propia)

*Fotografía 15: Fuerza utilizada para ruptura de probeta de concreto de control a 7 días
(Fuente: Propia)*

Fotografía 16: Ruptura de probeta de concreto de control a 7 días (Fuente: Propia)

Fotografía 17: Probeta de cemento con 5% de RHA (Fuente: Propia)

Fotografía 18: Probetas de cemento con 15% de RHA (Fuente: Propia)

INFORME N° S19-160 /4 pag

Paginas 1 de 4

DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

Comité de Diseño 211 ACI

PROYECTO : TESIS: "DISEÑO Y EVALUACION DE CONCRETO ESPECIAL CON CENIZAS DE CASCARA DE ARROZ (RHA) PARA DISMINUIR LA CORROSION DE LOS ANCLAJES DE TUBERIAS SUBMARINAS EN EL SECTOR INDUSTRIAL PESQUERRO DEL DISTRITO DE CHIMBOTE"
SOLICITA : Srs: MARTINEZ URTECHO FRANCISCO ALFREDO y OYANGUREN GALLO LUIS JULIO
UBICACIÓN: NUEVO CHIMBOTE - SANTA - ANCASH
FECHA: 07 /03/2019

CEMENTO:

- Cemento Pacasmayo Tipo V
- Peso específico 3.13 gr/cm³

SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

TABLA N°1

ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA VARIOS
TIPOS DE CONSTRUCCIÓN

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	MÁXIMO	MÍNIMO
- Zapatas y Muros de cimentación reforzados	3"	1"
- Zapatas simples , cajones y muros de subestr.	3"	1"
- Vigas y Muros reforzados	4"	1"
- Columnas de edificios	4"	1"
- Pavimentos y losas	3"	1"
- Concreto ciclópeo	2"	1"

Para un asentamiento de 3" a 4"

SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

Los concretos con mayor tamaño de agregados , requieren menos mortero por unidad de volumen de concreto que tamaños menores.

El tamaño máximo del agregado deberá ser el mayor que sea económicamente compatible con las dimensiones de la estructura ; en la medida en que el tamaño máximo del agregado grueso (piedra) nunca será mayor de:

- 1/5 de la dimensión más angosta entre caras del encofrado.
- 1/3 del espesor de las losas.
- 3/4 de la distancia libre entre barras o paquetes de barras o cables pretensores.

En el caso en que la trabajabilidad y los métodos de consolidación sean lo suficientemente buenos como para que el concreto sea colocado sin cangrejas, las 3 limitaciones anteriores pueden ser más flexibles. Para una relación agua-cemento dada , la reducción en el tamaño máximo del agregado nos lleva a un incremento en la resistencia del concreto.

Agregado Grueso: A) 3/8" - B) 1/2" - C) 3/4" - D) 1" - E) 1,1/2" - F) 2" - G) 3" - H) 6"

TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO	D
---------------------------	---

ingresar opción desde A - H

GEOMG S.A.C.
Ing. Jorge R. Moyillo Trujillo
CIP N° 68738

Fotografía 19: Diseño de mezcla $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ según ACI 211 (Fuente: GEOMG)

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Punto de Precisión SAC

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 178 - 2018

Página : 1 de 2

Expediente : T 188-2018
Fecha de emisión : 2018-05-29

1. Solicitante : GEOMG S.A.C.

Dirección : MZA. J2 LOTE. 8 URB. LOS HEROES - NUEVO
CHIMBOTE - SANTA - ANCASH

2. Descripción del Equipo : MÁQUINA DE ENSAYO UNIAxIAL

Marca de Prensa : DSGI

Modelo de Prensa : CC-30010

Serie de Prensa : 120

Capacidad de Prensa : 100 t

Marca de indicador : ADMET

Modelo de Indicador : NO INDICA

Serie de Indicador : PAR-0712073

Marca de Transductor : DYNISCO

Modelo de Transductor : PT-130-10M

Bomba Hidráulica : ELÉCTRICA

3. Lugar y fecha de Calibración
LABORATORIO DE GEOMG S.A.C.
23 - MAYO - 2018

4. Método de Calibración
La Calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4.

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCERS	INF-LE 090-2018	UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INDICADOR	AEP TRANSDUCERS		

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	21,7	21,7
Humedad %	73	74

7. Resultados de la Medición
Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Fotografía 20: Certificado de Calibración de Ensayo de Compresión Uniaxial (Fuente: GEOMG)

INFORME N° S19-333-1

OBRA	: DISEÑO Y EVALUACIÓN DE CONCRETO ESPECIAL CON CENIZAS DE CÁSCARAS DE ARROZ (RHA) PARA AUMENTAR LA DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS FRENTE A LA EXPOSICIÓN AL AMBIENTE MARINO
SOLICITA	: SR. OYANGUREN GALLO LUIS JULIO / SR. MARTINEZ URTECHO FRANCISCO ALFREDO
FECHA	: 05/06/2019

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	: CANTERA LA SORPRESA
USO DEL MATERIAL	: AGREGADOS PARA CONCRETO

ENSAYO DE DURABILIDAD CON SULFATO DE MAGNESIO

(ASTM C- 88)

I. AGREGADO GRUESO - ANALISIS CUANTITATIVO

N°	Tamaño	%	Peso Requerido (gr)	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Perdida de Peso (gr)	Perdida de Peso (%)	Gradación original (%)	Perdida Corregida (%)
1	2 1/2" a 1 1/2"		5000 ± 300						
	2 1/2" a 2"	60	3000 ± 300						
	2" a 1 1/2"	40	2000 ± 200						
2	1 1/2" a 3/4"		1500 ± 50						
	1 1/2" a 1"	67	1000 ± 50						
	1" a 3/4"	33	500 ± 30						
3	3/4" a 3/8"		1000 ± 10						
	3/4" a 1/2"	67	670 ± 10	665.0	633.3	31.7	4.76	18.2	0.867
	1/2" a 3/8"	33	330 ± 5	325.0	287.6	37.4	11.50	14.5	1.673
4	3/8" a N°4		300 ± 5	300.1	289.0	11.1	3.70	48.7	1.800
TOTALES								81.4	4.34%

II. AGREGADO FINO - ANALISIS CUANTITATIVO

Tamaño	Peso requerido (gr)	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Perdida de Peso (gr)	Perdida de Peso (%)	Gradación original (%)	Perdida Corregida (%)
3/8 a N°4	100						
N°4 a N°8	100	100.0	91.5	8.5	8.50	19.6	1.670
N°8 a N°16	100	100.0	92.1	7.9	7.90	24.7	1.955
N°16 a N°30	100	100.0	80.3	19.7	19.70	18.0	3.549
N°30 a N°50	100	100.0	79.1	20.9	20.90	12.8	2.681
N°50 a N°100							
Pasan N°100							
TOTALES						75.2	9.86%

VB:
Ing. Jorge E. Morillo Trujillo
CIP N° 68738

Fotografía 21: Ensayo de Durabilidad ASTM C-88 (Fuente: GEOMG)

UNICON	GID- CA-R-013	INFORME DE ENSAYOS ESPECIALES	Pág 1 de 1
---	---------------	--	------------

SOLICITUD N°: 349
TIPO DE MUESTRA: Probetas Cilíndricas de 6" x 12"
PROCEDENCIA: Nuevo Chimbote
MÉTODO DE ENSAYO: Permeabilidad al Agua en Concreto Endurecido
SOLICITADO POR: Luis Julio Oyanguren Gallo
FECHA DE RECEPCIÓN: 30/04/2019
FECHA DE ENSAYO: 6/06/2019
FECHA DE ENTREGA: 11/06/2019
ANALISTA / TÉCNICO: R.H./J.C

ENSAYO DE CONCRETO ENDURECIDO - PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DE AGUA BAJO PRESIÓN
Norma de Ensayo: UNE-EN-12390-8

IDENTIFICACIÓN	EDAD (días)	N° DE MUESTRA	PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN MÁXIMA (mm)
M1 - Julio 15% (30/03/19)	28	1	49
M2 - Julio 15% (30/03/19)	28	2	35
M3 - Tesis Julio 5% (23/03/19)	28	3	55

Observaciones:

- Los ensayos fueron realizados por personal del Laboratorio y Control de Insumos.
- El cliente definió la denominación y procedencia de las muestras.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas y el Laboratorio y Control de Insumos no avala ni certifica que dichos resultados manifiesten o no la conformidad con alguna norma o especificación en particular, dado que dicha interpretación es de responsabilidad exclusiva del cliente.

Revisado por:

 Roberto Manguera Solís
 Jefe de Laboratorio y Control de Insumos

Fotografía 22: *Ensayo de Profundidad de Penetración de Agua Bajo Presión* (Fuente:
 UNICON)

GID- CA-R-013	INFORME DE ENSAYOS ESPECIALES	Pág 1 de 1
---	---------------	-------------------------------	------------

SOLICITUD N°: 349
TIPO DE MUESTRA: Probetas Cilíndricas de 6" x 12"
PROCEDENCIA: Nuevo Chimbote
MÉTODO DE ENSAYO: Permeabilidad Rápida por Cloruros
SOLICITADO POR: Luis Julio Oyanguren Gallo
FECHA DE RECEPCIÓN: 30/04/2019
FECHA DE ENSAYO: 6/06/2019
FECHA DE ENTREGA: 11/06/2019
ANALISTA / TÉCNICO: R.H./J.C

ENSAYO DE PERMEABILIDAD RÁPIDA POR CLORUROS PARA MUESTRAS DE CONCRETO
Norma de Ensayo: ASTM C 1202

IDENTIFICACIÓN	EDAD (días)	MUESTRA	RELACIÓN a/c	% RHA	RESULTADO DE PERMEABILIDAD (Coulomb)	VALORACIÓN (ASTM C1202)
M0 - Julio (30/03/19)	28	Control	0.45	-	4059	Alta
		Control			3982	Moderada
		Control			3520	Moderada
M1 - Julio 5% (30/03/19)	28	5 % RHA	0.45	5	2537	Moderada
		5 % RHA			1783	Baja
		5 % RHA			1436	Baja
M2 - Julio 10% (30/03/19)	28	10% RHA	0.45	10	1625	Baja
		10% RHA			1542	Baja
		10% RHA			1835	Baja
M3 - Julio 15% (30/03/19)	28	15% RHA	0.45	15	1381	Baja
		15% RHA			1139	Baja
		15% RHA			977	Muy baja

Observaciones:

1) Rango de Permeabilidad del ión cloruro basado en la carga pasada (Coulomb)

Coulomb	Permeabilidad del Ion Cloruro
> 4000	Alto
2000-4000	Moderado
1000-2000	Bajo
100-1000	Muy Bajo
<100	Despreciable

Revisado por:

 Unión de Concretistas S.A.
 ING. PEDRO MOGUILA MOLINARI
 Jefe de Laboratorio y Control de Materiales

Fotografía 23: *Ensayo de Permeabilidad Rápida por Cloruros para Muestras de Concreto*
 (Fuente: UNICON)