

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Adición de ceniza de tarwi en la producción de concreto con f'c 210 kg/cm²

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Por:

Edwin Gonzalo Quispe Choque

Asesor:

Ing. Juana Beatriz Aquisé Pari

Juliaca, diciembre de 2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Juana Beatriz Aqise Pari, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO CON F'C 210 KG/CM²" constituye la memoria que presentan el Bachiller Edwin Gonzalo Quispe Choque para optar al título Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca a los diecinueve días del mes de diciembre del año dos mil diecinueve.




Ing. Juana Beatriz Aqise Pari

Adición de ceniza de tarwi en la producción de concreto
con $f'c$ 210 kg/cm²


TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil

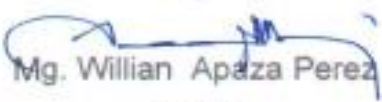
JURADO CALIFICADOR



Ing. Herson Duberly Pari Cusi
Presidente



Mg. Arnaldo Cahui Galarza
Secretario



Mg. Willian Apaza Perez
Vocal



Ing. Juana Beatriz Aquise Pari
Asesor

Juliaca, 19 de diciembre de 2019

Dedicatoria

A Dios, por la vida, salud y el conocimiento.

A la memoria de mi padre Jacinto, quien fue mi ejemplo de vida.

A mi madre Genoveva, por su amor y sabios consejos que forjaron la base de mi ser.

A mi hermana Elizabeth, por ser la inspiración que me impulsa a seguir adelante.

Agradecimiento

A Dios por ser mi fortaleza, guía en todas las etapas de mi vida y por brindarme una vida llena de aprendizaje.

A mi madre y hermana por inculcarme valores, brindarme ayuda incondicional y en especial ser el motivo por el cual seguir adelante frente a los obstáculos que se puedan presentar en el trayecto de mi vida.

Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) por la oportunidad que me brindó para estudiar.

A mi asesora y jurados dictaminadores, por todo el apoyo que me han brindado, por compartir todos sus conocimientos, tiempo y paciencia.

A mis familiares y amigos, que de alguna u otra manera contribuyeron con la ejecución y desarrollo del presente proyecto de investigación.

Índice General

Índice General.....	vi
Índice de Tablas	ix
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos	xii
Símbolos usados	xiii
Resumen	xiv
Abstract	xv
Capítulo I Generalidades	16
1.1. Introducción.....	16
1.2. Realidad problemática	17
1.3. Formulación del problema.....	19
1.4. Objetivos.....	19
1.4.1. Objetivo general.	19
1.4.2. Objetivos específicos.....	19
1.5. Justificación	19
1.6. Alcances y limitaciones	22
Capítulo II Revisión de literatura	23
2.1. Antecedentes de la investigación.....	23
2.1.1. Internacional.	23
2.1.2. Nacional.....	24
2.1.3. Local.	24
2.2. Marco conceptual	25
2.2.1. Adición de cenizas en el concreto.	25
2.2.2. Cenizas de residuo de tarwi.	28
2.2.3. El concreto.....	31
2.2.4. Componentes del concreto.....	31
2.2.5. Control de calidad del concreto	42
Capítulo III Materiales y Métodos.....	48
3.1. Metodología de investigación.....	48
3.1.1. Tipo de investigación.....	48
3.1.2. Diseño de la investigación.....	48
3.1.3. Método de investigación.....	48
3.2. Población y muestra.....	49
3.2.1. Población	49
3.2.2. Muestra.	49
3.2.3. Porcentaje de adición de cenizas.	52
3.2.4. Distribución de rotura de briquetas.	53
3.2.5. Grupo de evaluación.....	54
3.3. Planteamiento de hipótesis	55
3.3.1. Hipótesis General.	55
3.3.2. Hipótesis Específicas.....	55
3.4. Variables.....	55
3.4.1. Variable independiente.....	55
3.4.2. Variable dependiente.	55
3.4.3. Operacionalización de variables.....	55
3.4.4. Matriz de consistencia.	57

3.5.	Diagrama de flujo de procesos.	58
3.6.	Procedencia de los materiales a usar en la investigación	58
3.6.1.	Cemento Portland IP.....	58
3.6.2.	Agregados.....	59
3.6.3.	Agua para el concreto	60
3.6.4.	Ceniza de residuo de Tarwi:	60
3.7.	Determinación de las propiedades de los materiales a usar.....	61
3.7.1.	Cemento Portland IP-I.....	61
3.7.2.	Agregados.....	62
3.7.3.	Agua.....	64
3.7.4.	Ceniza de residuo de tarwi.....	64
3.8.	Verificación de los porcentajes de adición de ceniza de tarwi	68
3.9.	Verificación del tiempo de fraguado inicial	70
3.10.	Diseño de mezcla del concreto patrón.....	70
3.10.1.	Método de peso equivalente de cenizas.....	71
3.10.2.	Aplicación del método.....	71
3.11.	Equipos e instrumentos.....	72
3.11.1.	Aguja de Vicat.....	72
3.11.2.	Cono de Abrams	73
3.11.3.	Mezcladora.	73
3.11.4.	Termómetros digitales.	73
3.11.5.	Moldes para rotura de especímenes.....	73
3.11.6.	Máquina automática de compresión.	74
3.12.	Procedimiento de la investigación.....	74
3.12.1.	Dosificación de los materiales.....	74
3.12.2.	Mezclado y colocado de concreto a los moldes cilíndricos.....	74
3.12.3.	Curado de especímenes.	75
3.13.	Ensayo al concreto fresco	76
3.13.1.	Medición del asentamiento (slump) del concreto fresco	76
3.13.2.	Temperatura del concreto.	77
3.13.3.	Peso Unitario del concreto.....	78
3.14.	Ensayo al concreto endurecido	78
3.14.1.	Resultados del ensayo de resistencia a compresión del I grupo.....	79
3.14.2.	Resultados del ensayo de resistencia a compresión del II grupo.....	80
3.14.3.	Resultados del ensayo de resistencia a compresión del III grupo.	81
3.14.4.	Resultados del ensayo de resistencia a compresión del IV grupo.	83
	Capítulo IV Análisis de resultados.....	85
4.1.	Del ensayo de tiempo de fraguado inicial	85
4.2.	De los ensayos del concreto en estado fresco.....	86
4.2.1.	Trabajabilidad.....	86
4.2.2.	Temperatura.....	87
4.2.3.	Peso unitario del concreto fresco.....	89
4.3.	De los ensayos del concreto en estado endurecido.....	89
4.3.1.	Peso Unitario.	89
4.3.2.	Resistencia a compresión.....	90
4.3.3.	Del tipo de falla del espécimen.....	94
4.4.	De la composición química del material cementante.	95
4.5.	Contraste de hipótesis.....	98
4.5.1.	Estadístico de contraste para la trabajabilidad del concreto fresco.	98

4.5.2.	Estadístico de contraste para la resistencia a la compresión del concreto...	102
4.6.	Resumen de la decisión de la hipótesis.	107
Capítulo V Conclusiones y recomendaciones.....		108
5.1.	Conclusiones.....	108
5.2.	Recomendaciones	110
Referencias bibliográficas.....		111
Anexos.....		115

Índice de Tablas

Tabla 1 Requerimientos químicos de las Cenizas.	27
Tabla 2 Composición química proximal del Tarwi (g/100 g)	30
Tabla 3 Límites de composición aproximados para cemento Portland IP	32
Tabla 4 Límites permisibles para el agua según la norma NTP 339.088	37
Tabla 5 Resistencia a la compresión en diferentes temperaturas de curado.....	38
Tabla 6 Granulometría del agregado fino.....	40
Tabla 7 Valores de la distribución normal (Z)	50
Tabla 8 Desviación standard (S) para diferentes grados de control del concreto.....	51
Tabla 9 Precisiones absolutas de error comúnmente utilizadas	51
Tabla 10 Cantidad de briquetas a confeccionar el concreto patrón (CP)	54
Tabla 11 Cantidad de briquetas a confeccionar con adición de ceniza de tarwi	54
Tabla 12 Total de especímenes.....	55
Tabla 13 Operacionalización de variables.....	56
Tabla 14 Matriz de consistencia del proyecto	57
Tabla 15 Resumen de las propiedades de los agregados	62
Tabla 16 Características físico-químicas del agua para el uso en el proyecto	64
Tabla 17 Análisis químico de la ceniza de residuo de tarwi	65
Tabla 18 Comparación de óxidos presente en el cemento y la ceniza de tarwi	66
Tabla 19 Módulos fundentes del cemento y la ceniza de tarwi.....	67
Tabla 20 Resultados de la adición de ceniza de tarwi en el mortero.....	69
Tabla 21 Determinación del tiempo de fraguado inicial	70
Tabla 22 Resumen de los materiales de valores corregidos - por m ³ de diseño.....	72
Tabla 23 Control de la temperatura del agua de curado	76
Tabla 24 Resultado de las lecturas de asentamiento.....	77
Tabla 25 Resultados de la temperatura del concreto fresco	77
Tabla 26 Resultados del peso unitario del concreto fresco	78
Tabla 27 Resultados de la resistencia a compresión del concreto patrón a los 7 días.....	79
Tabla 28 Resultados de la resistencia a compresión del concreto patrón a los 14 días.....	79
Tabla 29 Resultados de la resistencia a compresión del concreto patrón a los 28 días.....	80
Tabla 30 Resultados de la resistencia a compresión del concreto con adición de 5% de ceniza de residuo de tarwi a los 7 días.....	80
Tabla 31 Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 5% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 14 días.....	81
Tabla 32 Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 5% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 28 días.....	81
Tabla 33 Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 10% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 7 días.....	81
Tabla 34 Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 10% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 14 días.....	82
Tabla 35 Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 10% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 28 días.....	82
Tabla 36 Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 15% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 7 días.....	83
Tabla 37 Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 15% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 14 días.....	83
Tabla 38 Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 15% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 28 días.....	84

Tabla 39 Variación del tiempo de fragua inicial en relación al cemento Pórtland.....	85
Tabla 40 Variación porcentual del asentamiento del concreto con diferentes adiciones de ceniza respecto al patrón.....	87
Tabla 41 Variación porcentual de la temperatura del concreto con diferentes adiciones de ceniza respecto al patrón.....	88
Tabla 42 Variación porcentual del peso unitario del concreto fresco con diferentes adiciones de ceniza respecto al patrón.....	89
Tabla 43 Variación porcentual del peso unitario del concreto endurecido con las diferentes adiciones de ceniza con respecto al patrón.	90
Tabla 44 Análisis de la resistencia a compresión de los 4 grupos a los 28 días.....	91
Tabla 45 Promedio consecutivo de las muestras de los 4 grupos a los 28 días.....	91
Tabla 46 Resultados del promedio de la resistencia a compresión del concreto de los 4 grupos a 7, 14 y 28 días.	92
Tabla 47 Composición de óxidos y compuestos de un cemento Pórtland típico	95
Tabla 48 Composición de óxidos y compuestos de la ceniza de residuo de tarwi	96
Tabla 49 Cálculo del estadístico de prueba t_p para el asentamiento del concreto.....	100
Tabla 50 Decisión de la hipótesis H_0 con el t_p para el asentamiento del concreto.....	101
Tabla 51 Cálculo del estadístico de prueba t_p para el concreto a una edad de 7 días	104
Tabla 52 Cálculo del estadístico de prueba t_p para el concreto a una edad de 14 días	104
Tabla 53 Cálculo del estadístico de prueba t_p para el concreto a una edad de 28 días	104
Tabla 54 Decisión de la hipótesis H_0 con el t_p para el concreto a los 7 días.....	106
Tabla 55 Decisión de la hipótesis H_0 con el t_p para el concreto a los 14 días.....	106
Tabla 56 Decisión de la hipótesis H_0 con el t_p para el concreto a los 28 días.....	106

Índice de figuras

Figura 1 Evolución del precio del cemento Pórtland en el Perú	18
Figura 2 Superficie cosechada y el rendimiento del tarwi 1990-2017.	21
Figura 3 Superficie cosechada del tarwi en has. en el Perú desde 1990.....	29
Figura 4 Esquema de los patrones de tipos de fracturas.	47
Figura 5 Diagrama de actividades.	58
Figura 6 Principales Zonas Productoras de Tarwi en el Perú.	61
Figura 7 Tiempo de fraguado en relación a la consistencia.	86
Figura 8 Desarrollo de la temperatura en relación a la trabajabilidad.....	88
Figura 9 Resumen de la resistencia a compresión en porcentaje (%) a los 7,14,28 días....	92
Figura 10 Comparación de resistencias a compresión con diferentes porcentajes de adición de ceniza frente al patrón.	93
Figura 11 Representación de los tipos de fallas registradas en el ensayo a compresión. ...	95
Figura 12 Composición química teórica en distintos porcentajes de adiciones de ceniza de tarwi.....	97
Figura 13 Gráfica del estadístico t para $\alpha=0.05$ y 4 grados de libertad.	101
Figura 14 Gráfica del estadístico t para $\alpha=0.05$ y 12 grados de libertad	105

Índice de anexos

Anexo A. Análisis químico y físico del material cementante	115
Anexo B Análisis químico del agua.	119
Anexo C Ensayo de los agregados.	120
Anexo D. Diseño de mezclas por el método de peso equivalente	126
Anexo E Ensayo de tiempo de fraguado inicial.	134
Anexo F Granulometría de la arena normalizada para elaboración de morteros	137
Anexo G Ensayo de resistencia a la compresión del mortero a los 7 y 28 días	138
Anexo H Peso Unitario del concreto fresco	140
Anexo I Resultado de diámetros, alturas y peso de los especímenes de concreto	141
Anexo I Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto	145
Anexo K Constancia de uso de Laboratorio de Tecnología de Concreto y Ensayo de los Materiales	149
Anexo L Panel Fotográfico.....	149

Símbolos usados

ASTM: American Society for Testing and Materials ó Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.

ACI : Instituto Americano del concreto

a/c : Relación agua/cemento para diseño de mezclas.

CRT : Ceniza de Residuo de Tarwi.

°C : Grados centígrados

C : Cemento Pórtland.

ICG : Instituto de Construcción y Gerencia.

F'c : Resistencia a la compresión de diseño.

F'cr : Resistencia promedio de diseño a la compresión.

H₀ : Hipótesis nula.

H₁ : Hipótesis alternativa.

σ : Esfuerzo a la compresión

NTP : Norma técnica peruana

N : Número de pruebas realizadas.

T° : Temperatura.

U : Muestra de la población

Resumen

El estudio que se presenta es una iniciativa más para el uso de residuos agrícolas que abundan en la región, como posible alternativa para uso en la industria de la construcción, en este caso los residuos del Tarwi. En tal sentido, el objetivo que persigue la investigación es determinar los efectos que genera la adición de ceniza de residuo de tarwi (CRT) como sustituto parcial del cemento Pórtland (C) en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto, mediante las pruebas de asentamiento y resistencia a la compresión. La metodología que se emplea es de tipo experimental y cuantitativo. La modificación se realizó en proporciones del 5%, 10% y 15%. Para lo cual primeramente se determinó sus propiedades químicas y se fabricaron cubos de mortero para determinar hasta que porcentaje es recomendable añadir las CRT en el concreto. Los resultados indican que el tamaño de las partículas, la temperatura (750°C) y el tiempo de calcinación de CRT condicionan su comportamiento generando, en este caso, un bajo contenido de óxidos, menor tiempo de fraguado inicial, ligero incremento en el desarrollo de la temperatura, reducción en la trabajabilidad a excepción del grupo con adición de 5% de CRT, además de reducción del peso unitario fresco y endurecido a medida que se aumenta el porcentaje de adición. Con respecto a las propiedades en estado endurecido la combinación de 5%_{CRT}+95%_C no incrementa la resistencia a la compresión, sin embargo, con el control de temperatura de curado es posible mantener la resistencia de diseño. Mayores adiciones de CRT genera una disminución significativa de sus propiedades elementales por su bajo contenido de óxidos. En tal sentido los resultados obtenidos respaldan las exigencias de la ASTM C618-03 y demuestran la factibilidad técnica del uso de CRT hasta un 5% con un control de temperatura de curado, permitiendo mantener la resistencia a compresión, temperatura y trabajabilidad en un menor tiempo de fraguado y la reducción del peso unitario, por lo tanto, representa una alternativa potencial para su uso.

Palabras clave:

Ceniza de tarwi, concreto con adiciones, trabajabilidad, resistencia a compresión.

Abstract

The study presented here is yet another initiative for the use of agricultural residues that abound in the region, as a possible alternative for use in the construction industry, in this case Tarwi residues. In this sense, the objective of the research is to determine the effects generated by the addition of tarwi residue ash (CRT) as a partial substitute for Portland cement (C) on the fresh and hardened properties of concrete, by means of settlement and compressive strength tests. The methodology used is experimental and quantitative. The modification was carried out in proportions of 5%, 10% and 15%. For this purpose, its chemical properties were first determined and mortar cubes were manufactured to determine until what percentage it is advisable to add the CRTs in the concrete. The results indicate that the particle size, the temperature (750°C) and the calcination time of CRT condition their behavior generating, in this case, a low content of oxides, less time of initial setting, slight increase in the development of the temperature, reduction in the workability with the exception of the group with addition of 5% of CRT, in addition to reduction of the fresh and hardened unit weight as the percentage of addition is increased. With respect to the hardened state properties the combination of 5%CRT+95%C does not increase the compressive strength, however, with the curing temperature control it is possible to maintain the design strength. Higher additions of CRT results in a significant decrease of its elemental properties due to its low oxide content. In this sense, the results obtained support the requirements of ASTM C618-03 and demonstrate the technical feasibility of using CRT up to 5% with a curing temperature control, allowing to maintain compressive strength, temperature and workability in a shorter setting time and unit weight reduction, therefore, represents a potential alternative for its use.

Keywords:

Tarwi ash, concrete with additions, workability, compressive strength.

Capítulo I

Generalidades

1.1. Introducción

En la actualidad existe un notable interés en la búsqueda de materiales cementantes que permitan mejorar ciertas propiedades funcionales del concreto, además de, reducir costos en la producción del cemento, reutilizar residuos y la búsqueda de cementos con características especiales, razón por la cual se viene proponiendo la adición de algunos de estos mismos residuos para aprovechar la naturaleza puzolánica que algunos presentan. (Mafla, 2009)

Estas investigaciones se vienen realizando en diferentes países y universidades, pues, la preocupación del mejoramiento del medio en que vivimos ha inclinado a especialistas a encontrar soluciones a partir de los materiales de desecho (Chávez & Rodríguez, 2016). El mayor interés proviene de los países pobres y en vías de desarrollo ya que son éstos los que poseen los recursos naturales, y son también, los países con mayores problemas para satisfacer la demanda de vivienda que requiere su población.

De igual forma en el Perú se han estado realizando similares investigaciones empleando cenizas de caña de azúcar, arroz y demás desechos agrícolas que abundan en dicha zona con el fin de aprovechar sus componentes puzolánicos.

Los resultados encontrados hasta ahora sugieren que la utilización de algunas cenizas de residuos agrícolas, proporciona ventajas al concreto tanto en estado fresco como endurecido. Entre las ventajas adicionales de su uso se encuentra la reducción de costos de producción, debido a la sustitución parcial de cemento y reducción de los problemas ambientales que se asocian con su manejo y disposición.

Por tal motivo es que se plantea estudiar la adición de cenizas de residuo de tarwi (*Lupinus mutabilis*) en el departamento de Puno para evaluar la influencia en la trabajabilidad y la resistencia a compresión del concreto, ya que ambos nos brindan un

panorama general de la calidad del concreto por estar directamente relacionada con la estructura de la pasta del material cementante, aprovechando que la región sierra tiene una gran cantidad de producción de este producto, la cual se va incrementando gradualmente tal como señala el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2018).

1.2. Realidad problemática

El concreto es un material inventado por el hombre y se le considera como el más empleado y versátil de los materiales de construcción actuales, está hecha con una mezcla, adecuadamente dosificada, de cemento, agua y agregado grueso y fino. Adicionalmente también puede tener en su composición aditivos, adiciones y fibra. Siendo el cemento el componente más activo y generalmente el que tiene el mayor costo unitario. (Rivva, 2010)

En el Perú esto se hace evidente por el avance de las obras públicas y el creciente desarrollo poblacional, razón por la cual ha aumentado de manera considerable el uso del cemento, indica la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO, 2018).

No obstante, su fabricación es catalogada como uno de los procesos más contaminantes en el planeta, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID,2010) y Montenegro (2011) concuerdan que, su fabricación requiere 10 veces más de energía que otras actividades industriales y suponen el 7% de las emisiones mundiales de CO₂, más que todo el CO₂ producido por toda la industria aeronáutica. Y a largo plazo parece existir la tendencia a elevar.

En cuanto al precio del cemento en el Perú, CAPECO (2018) sostiene que este ítem ha acumulado un aumento de 24.28% desde el año base hasta el 2016 (ver figura 1). Como consecuencia se ha generado la construcción informal de viviendas (Diario Andina, 2018). Sumado a todo ello, Soria (1983) afirma que este componente ha presentado algunas deficiencias en cuanto a las contracciones, fisuras y reacciones con los sulfatos del medio ambiente. Siendo más notorio este parámetro en obras donde el clima es más cálido o frío,

donde las condiciones ambientales extremas afectan significativamente la calidad del concreto (Orozco, Avila, Restrepo, & Parody, 2018)

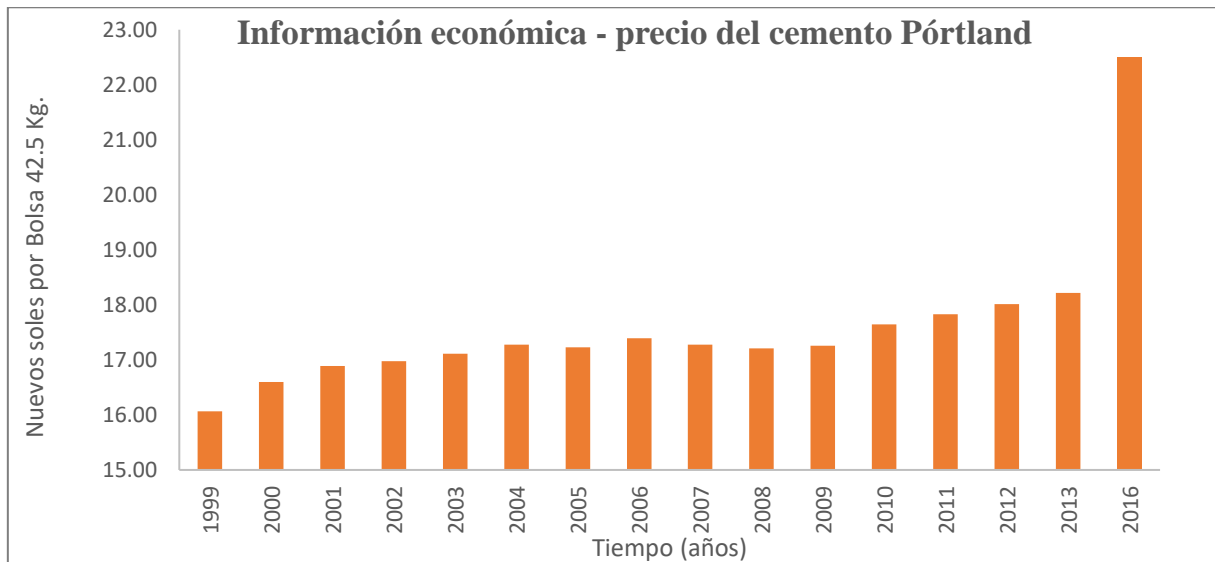


Figura 1. Evolución del precio del cemento Pórtland en el Perú

Adaptado de “Instituto Nacional de Estadística e Información”, por el INEI, 2019, elaboración propia.

Es por ello que existe un notable interés en la búsqueda de materiales cementantes alternativos al cemento portland que permitan mejorar ciertas propiedades funcionales del concreto. Además, de reducir la extracción de materiales pétreos en las canteras, debido a la falta de compromiso por parte de algunas empresas cementeras en la reestructuración de los ecosistemas alterados, reutilizar desechos y contribuir en el ahorro energético es que se viene proponiendo la adición de algunos de estos mismos residuos para aprovechar las propiedades puzolánicas que algunos presentan.

Uno de los materiales con contenido puzolánico que ha tenido una gran expectativa en el Perú como en distintos países del mundo, por su abundante producción, son las cenizas de residuos agrícolas. Los resultados citados en los antecedentes de este trabajo sugieren que la adición porcentual de las cenizas de origen agrícola en el diseño de mezclas de concreto, contribuyen al desarrollo de la resistencia, generando reducción en los costos para alcanzar

una resistencia determinada, reducción del calor de hidratación, mejora de la trabajabilidad y durabilidad, reducción de la generación de CO₂ y ahorro de energía.

1.3. Formulación del problema

El problema de esta investigación se puede sintetizar en la siguiente interrogante:

¿Cómo influye la adición de ceniza de tarwi en reemplazo parcial del cemento portland IP en el desempeño de la trabajabilidad y en el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto con $f'c$ 210 kg/cm²?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general.

Evaluar la influencia de la adición ceniza de residuo de tarwi en la trabajabilidad y en la resistencia a la compresión del concreto con $f'c=210$ kg/cm².

1.4.2. Objetivos específicos.

Analizar las propiedades químicas de las cenizas de residuo de tarwi haciendo uso de la norma ASTM C618-03.

Evaluar la trabajabilidad del concreto fresco al adicionar cenizas de residuo de tarwi como reemplazo porcentual del cemento Pórtland IP.

Evaluar el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto al adicionar cenizas de residuo de tarwi en reemplazo del cemento Pórtland IP.

1.5. Justificación

Este trabajo de investigación servirá como una nueva alternativa para diseñar concretos con adición de cenizas de residuos agrícolas que abundan en la zona altiplánica en reemplazo del cemento portland IP y nos permitirá obtener información acerca de su utilización, contribuyendo en la búsqueda de nuevos materiales orientados a resolver los problemas de la sociedad en el campo de la ingeniería civil.

Asimismo, la investigación busca alternativas económicas como la reutilización de la ceniza de residuos agrícolas de base inorgánica y así mejorar la calidad del concreto, dejando un poco de lado los tradicionales aditivos que suelen tener un elevado precio.

Además, busca mejorar la resistencia a la compresión del concreto ya que un concreto de mayor resistencia tendrá mejores propiedades, tal como sostiene, Neville & Brooks (1998), pues, muchas propiedades del concreto están relacionadas con esta resistencia, como son la densidad, impermeabilidad, durabilidad, resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, resistencia a la tensión, resistencia a los sulfatos, etc. (pág. 11) Y además siempre se hacen especificaciones en cuanto a la resistencia a la compresión porque es más fácil de medir (Rivva, Harman, Pasquel, Badoino, & Romero , 1998).

Teniendo en cuenta que, el tarwi es uno de los más importantes granos andinos que se produce en la sierra central y su rendimiento muestra una tendencia ascendente, tal como se aprecia en la figura 2, es así que, se dispondrá de materia prima suficiente, accesible y de bajo costo para la utilización en la industria constructiva.

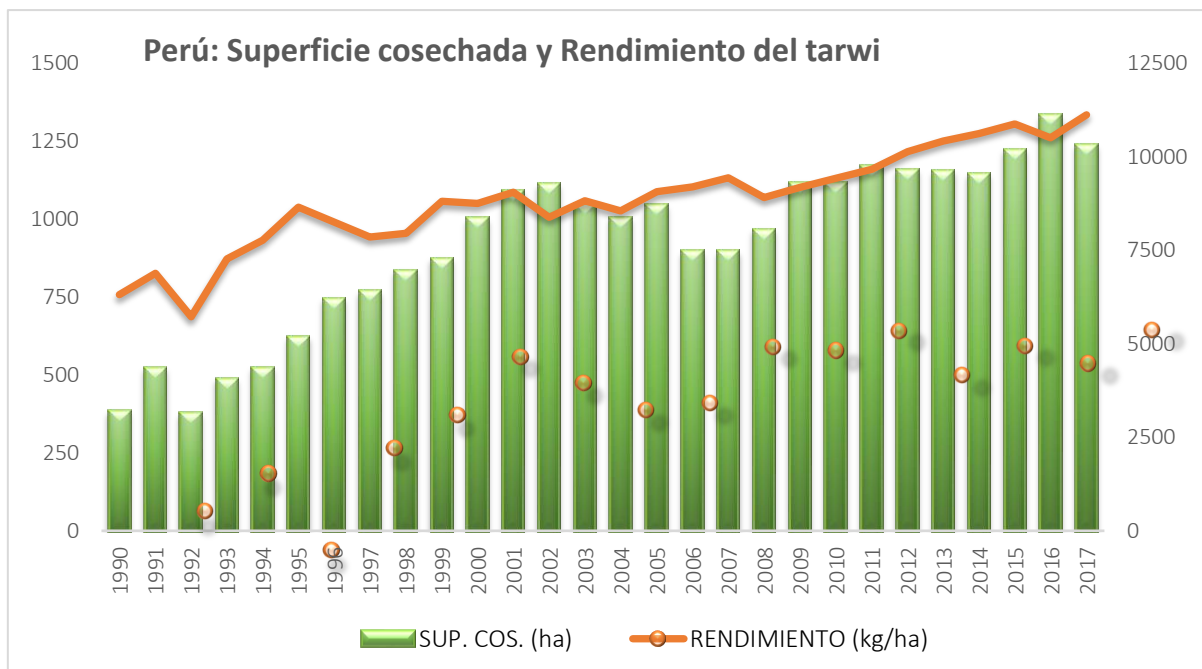


Figura 2. Superficie cosechada y el rendimiento del tarwi 1990-2017.

Adaptado de “Serie de Estadísticas de Producción Agrícola”, por el MINAGRI, 2019, elaboración propia.

Por lo tanto, se fomentaría la producción de estos granos y se reducirían los niveles de pobreza de los productores de granos andinos significativamente tal como lo informa MINAGRI, 2018.

Finalmente, los resultados de la presente investigación generarían la posibilidad de utilizar productivamente un material de residuo que habitualmente es desestimado y hacer un uso racional del cemento Portland, logrando de esta manera abatir en parte, los problemas concernientes a la contaminación del medio ambiente, tal como señala BID (2010), que aproximadamente 20 millones de toneladas de cemento usadas anualmente en todo el mundo suponen el 7% de las emisiones mundiales de CO₂ (pág. 60).

Es por lo anterior que este estudio considera emplear la ceniza de residuo de tarwi para evaluar las propiedades de trabajabilidad y resistencia en el concreto.

1.6. Alcances y limitaciones

Con el objetivo de evaluar las potencialidades de la ceniza de los residuos del tarwi para ser empleados como posible fuente de materiales puzolánicos y emplearlos en la confección de concretos es que se realiza el presente trabajo.

Por lo tanto, la investigación está dirigida a los miembros de la comunidad científica, representantes del área de la construcción civil. Asimismo, está dirigida a estudiantes que deseen continuar con la investigación a la que se avoca esta tesis.

Como limitante podría ser la falta de información en cuanto a la temperatura ideal de calcinación de ceniza de residuo de tarwi, la falta de información en cuanto al contenido de sílice en la cascarilla y en el tallo del tarwi en relación al costo de calcinación y su posterior análisis químico.

Capítulo II

Revisión de literatura

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacional.

Sosa & Aguila (2000) publicaron la “tecnología productiva de cemento puzolánico a partir de la ceniza de cascarilla de arroz” en la revista de la Asociación para el Progreso de la Investigación Universitaria (APIU) donde controlaron la suficiente oxigenación y la calcinación de la cascarilla a una temperatura de 500°C y 700°C para que ocurra la combustión de toda la materia orgánica, además determinaron que con la adición de 20% de ceniza de cascarilla de arroz se puede obtener un incremento en la resistencia a compresión del concreto en alrededor del 20%. Como un aspecto negativo determinaron que la adición de ceniza provoca una demanda mayor de agua para el amasado de la mezcla, lo cual tiende a disminuir la resistencia mecánica, pero aun así lograron incrementar la resistencia a compresión.

Camargo & Higuera (2017) publicaron el artículo “concreto hidráulico modificado con sílice obtenida de la cascarilla del arroz” en la revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina donde demostraron que, el proceso de calcinación a +/- 800°C de la cascarilla de arroz garantiza la supresión de los residuos orgánicos que afectan la composición y el comportamiento mecánico del concreto, además evidenciaron que, las muestras con sustitución del 5% y 10% de cenizas presentan un comportamiento mecánico superior a las muestras patrón en los ensayos de resistencia a la compresión, tracción y flexión en 3%, 3% y 9.8% respectivamente, sin embargo en adiciones mayores se genera una disminución significativa de la resistencia.

Milena (2008) publicó la “evaluación físico química de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales

puzolánicos” en la revista de la Facultad de Ingeniería de Venezuela, donde determinó que, con la adición de 15% de ceniza de cascarilla de arroz se puede incrementar un 14% más a la resistencia a la compresión del concreto, de igual manera, se determinó que con la adición de 10% ceniza de hoja de maíz genera un incremento ligero. Finalmente sentenciaron que el porcentaje de sílice en la ceniza uno de los elementos principales para una puzolana de buena calidad.

2.1.2. Nacional.

Jiménez (2016) evaluó la influencia en la resistencia a la compresión de concreto $f'c$ 210 kg/cm² con la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar en distintos porcentajes, donde determinó que con adiciones de 10% de ceniza de bagazo de azúcar calcinada a una temperatura de 600°C, es posible incrementar la resistencia a compresión en 17% más a los 28 días.

2.1.3. Local.

Lencinas & Incahuanaco (2017), realizaron la “evaluación de mezclas de concreto con adiciones de ceniza de paja de trigo como sustituto en porcentaje del cemento portland puzolánico IP en la zona altiplánica”, donde determinaron que, con una sustitución de 2.5% de ceniza de paja de trigo, quemadas a una temperatura no controlada (promedio 600°C); se conserva la resistencia a la compresión, sin embargo, con sustituciones mayores a 5% se reduce significativamente. Con respecto al asentamiento, obtuvieron que a medida que se añade más puzolana, la trabajabilidad disminuye. En cuanto a la composición química, las cenizas de paja de trigo cumplen con los requisitos que exigen las norma ASTM C618-03, generando ahorros frente a un concreto convencional y finalmente concluyeron afirmando que presenta poca liberación de gases contaminantes por lo que reduce la contaminación ambiental.

Al analizar estos antecedentes, se rescata la importancia de la temperatura de calcinación de los residuos agrícolas, el tiempo de calcinación, definir el tipo de cemento al que sustituye y la relación agua material cementante.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Adición de cenizas en el concreto.

2.2.1.1. Adiciones.

Tienen por finalidad mejorar el comportamiento al concreto fresco de mezclas deficientes en partículas muy finas y, en estado endurecido, mejorar las propiedades del concreto especialmente su resistencia y durabilidad. Por ello las mezclas en las que se les emplea generalmente requieren menos cemento para producir una resistencia dada e igualmente contribuyen a importantes modificaciones en el comportamiento de la pasta fresca y, adicionalmente pueden también modificar las propiedades físicas y químicas del producto final endurecido (Rivva, 2010b, pág. 182).

Dentro del grupo de las adiciones minerales al concreto se considerará las puzolanas, las cenizas, las escorias de alto horno, las microsílices y las nanosílices, es decir que no son agregados ni aditivos. Son “adiciones a la mezcla” que molidas conjuntamente con el Clinker o incorporadas este durante el mezclado, producen materiales con las características de cemento Portland que combinados cumplen con las recomendaciones de la norma ASTM C595 (Ibid.)

2.2.1.2. Cenizas.

Las cenizas son producidas como un subproducto del quemado del carbón, el cual previamente ha sido triturado y molido a una fineza del 70% al 80% que pasa la malla N°200. Son compatibles con los cementos Portland. Su empleo se ha incrementado debido a que mejoran algunas propiedades del concreto incluyendo la reducción en los costos, mejoras en la trabajabilidad del concreto fresco, reducción en la elevación de temperatura durante la

hidratación inicial y contribución a la resistencia y durabilidad del concreto endurecido (Ibid., pág. 199).

Además, cuando el concreto que contiene cenizas es adecuadamente curado, los productos de la reacción de las cenizas llenan los espacios entre las partículas del cemento hidratadas, disminuyendo de esa manera la permeabilidad del concreto al agua y a los agentes agresivos (Ibid., pág. 198).

Las cenizas tienden a ser más reactivos aquellos con alto contenido de calcio, sin embargo, deberán cumplir con las recomendaciones de la norma ASTM C618 (Ibid., pág. 198).

2.2.1.3. Clasificación de las cenizas.

La norma ASTM C 618-03, (citado por Rivva, 2010, pág. 199) categoriza a las cenizas por su composición química, de acuerdo con la suma de óxido de hierro (Fe_2O_3), óxido de alúmina (Al_2O_3) y dióxido de sílice (SiO_2).

Es así que se tiene a (1) las cenizas de clase F son normalmente producidas por carbón con alto calor de energía y raramente contienen más del 15% de óxido de calcio. (2) Las cenizas de clase C son sub-bituminosas, típicamente contienen más del 20% de calcio y tienen propiedades cementantes y puzolánicas (Ibid.) Finalmente, (3) las cenizas de clase N vienen ser materiales como opalinos, pizarras, tobas, cenizas volcánicas y materiales varios que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias (ASTM C618-03, Traducción propia).

2.2.1.4. Especificaciones para las cenizas.

Se ha efectuado algunas críticas sobre la suma de sugerida para los óxidos como elementos de plastificación de las cenizas y se ha recomendado que estas deberán ser clasificadas por su contenido de óxido de cal (Ibid., pág. 207).

En la práctica todas las especificaciones tienen límites sobre la cantidad que debe ser reportada como anhídrido sulfúrico (SO₃) en las cenizas. El contenido de sulfato en las cenizas puede afectar la cantidad óptima de ceniza necesaria para el desarrollo de máxima resistencia y aceptable fraguado en mezclas de cemento Portland en las que ella es aceptada (Ibid.)

Los límites en el contenido de humedad de las cenizas son necesarios para asegurar características de manejo adecuadas y como último requisito esté relacionado principalmente a la eficiencia de la operación requerida para hacer un uso económico del carbón como fuente de energía (Ibid.)

Tabla 1
Requerimientos químicos de las Cenizas.

Descripción	Clase		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min. %	70	70	50
Anhídrido Sulfúrico (SO ₃), máx. %	4	5	5
Contenido de humedad, máx. %	3	3	3
Pérdida por calcinación, máx. %	10	6	6

Nota. Adaptado de “Especificación estándar para cenizas volantes de carbón y puzolanas naturales en bruto o calcinadas para uso en concreto”, por el ASTM C618-03, traducción propia.

[De igual manera existen requerimientos físicos, como la fineza de la ceniza, el índice de actividad puzolánico, la demanda de agua y entre otros requisitos que se detallan en la norma ASTM C618-03] (Ibid., pág. 208).

2.2.1.5. Efecto de las cenizas sobre el concreto.

- *Trabajabilidad.*

[Las partículas esféricas de cenizas actúan como cojinetes de bolas en miniatura dentro de la mezcla de concreto, proporcionando así un efecto lubricante. Ello es debido a que las cenizas normalmente son de baja densidad y la masa de cenizas empleada es generalmente igual o mayor que la reducida masa de cemento] (Ibid., pág. 201).

- *Exudación.*

El empleo de cenizas en mezclas de concreto con y sin aire incorporado generalmente produce una reducción de la exudación al proporcionar una mayor área superficial de partículas sólidas y un menor contenido de agua para una trabajabilidad dada (Ibid.)

- *Temperatura y calor de hidratación.*

Adicionar cenizas en el concreto puede reducir la temperatura y el calor de hidratación del concreto. Esta reducción no sacrifica el aumento de resistencia a largo plazo o la durabilidad (American Coal Ash Association, 2017).

- *Resistencia a la compresión*

Contribuye al desarrollo de la resistencia del concreto permitiendo utilizar menos cemento para alcanzar una resistencia determinada (American Coal Ash Association, 2017).

- *Entre otros.*

2.2.2. Cenizas de residuo de tarwi.

2.2.2.1. Definición del tarwi.

De nombre científico *Lupinus mutabilis*, es una leguminosa herbácea erecta de tallos robustos, algo leñosa que alcanza entre 1,8 a 2 m. que fue incluido en el grupo de los granos andinos, mediante resolución ministerial N° 392-2013-MINAGRI, en virtud de sus características nutricionales, agronómicas y por ser una valiosa alternativa en los sistemas de manejo racional de los agroecosistemas andinos (MINAGRI, 2017).

Es considerado como la semilla del futuro, por su resistencia a los cambios climáticos, fácil adaptación a bajas temperaturas y a suelos no muy fértiles, es propio de los andes centrales, principalmente del Perú, Bolivia y Ecuador, en nuestro país se cultiva en gran

parte de la sierra peruana (Ibid.), tal como se detalla en el los registros de la Dirección de Estadística Agraria.

Los nombres comunes con que se le conoce a esta leguminosa son: (a) chocho, (b) tarhui, (c) tarwi o lupino y (d) chuchus muti (Tapia, 2015, pág. 11).

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Riego, las tres principales regiones donde se ubica geográficamente el tarwi según su nivel de producción son: (a) La Libertad, que tuvo una tasa de crecimiento de 9.43% hasta el 2017; (b) Cusco, con el 5.7%; y (c) Puno, con el 4.72% (ver Figura 3).

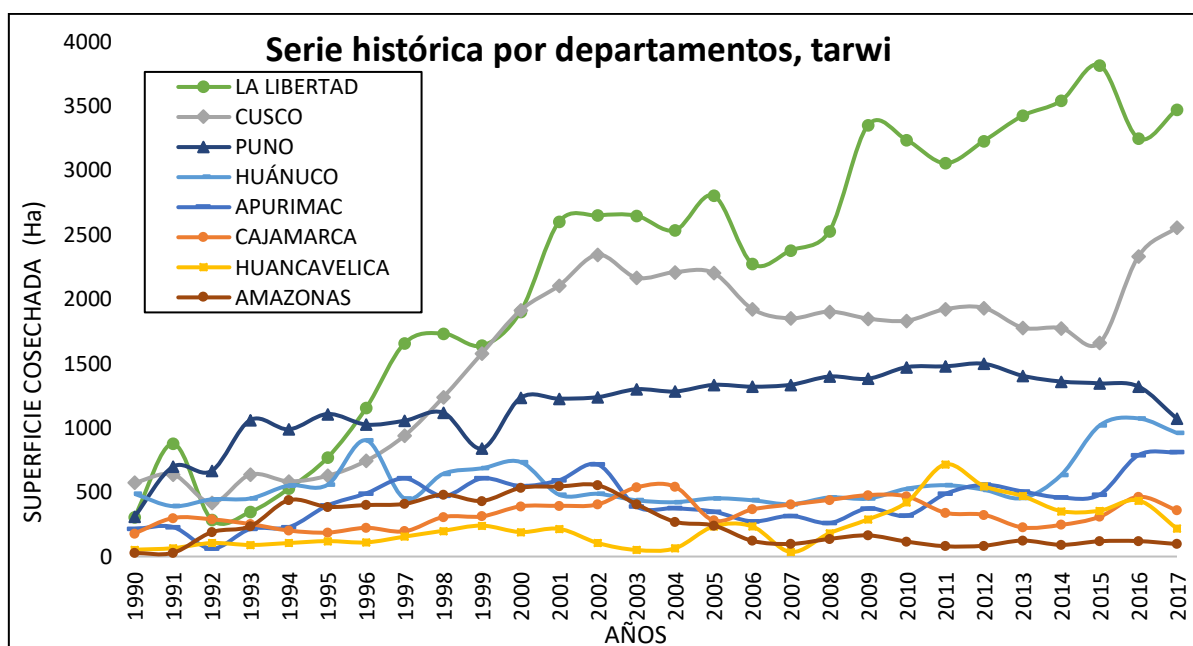


Figura 3. Superficie cosechada del tarwi en has. en el Perú desde 1990.

Adaptado de “Serie de Estadísticas de Producción Agrícola”, por el MINAGRI, 2019, elaboración propia.

2.2.2.2. Principales compuestos de la ceniza de residuo de tarwi.

No existe antecedentes de la composición química de las cenizas de los residuos del tarwi. Sin embargo, el estudio de estos productos se debe a las experiencias encontradas en los pueblos andinos, pues utilizan las cenizas de estos productos para elaborar llicta y para estabilizar suelos obteniendo productos muy benéficos.

Sin embargo, se resaltan los componentes del grano de tarwi detallados en la siguiente tabla.

Tabla 2
Composición química proximal del Tarwi (g/100 g)

Propiedades	Tarwi
Proteína	44.3
Grasa	16.5
Carbohidrato	28.2
Fibra	7.1
Ceniza	3.3
Humedad	7.7

Nota. Adaptado de “INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá), 1975”, citado por Garay, El Tarwi Alternativa para la Lucha Contra la Desnutrición Infantil, 2015, pág. 11.

2.2.2.3. Usos.

- *Combustible.*

(Garay, 2015, pág. 38), “De la cosecha (tallos secos) se usan como combustible por su gran cantidad de celulosa y que proporciona un buen poder calórico”

- *Abono y fertilizante.*

Por muchos años, el tarwi ha sido utilizado para enriquecer los suelos andinos. El tarwi fija nitrógeno atmosférico en cantidades apreciables de 100 kg/ha, restituyendo la fertilidad del suelo, mientras que otros autores mencionan que es un excelente abonador orgánico y es capaz de fijar nitrógeno hasta 400 kg/ha. (Suca & Suca A., 2015)

- *Repelente.*

Las cenizas producto del quemado de los tallos secos de tarwi constituyen un excelente repelente de insectos chupadores, raspadores, perforadores y cortadores de plantas tiernas en los cultivos andinos (Garay, 2015, pág. 41).

- *Adición de ceniza de residuo de tarwi en mezclas de concreto.*

Existe la posibilidad de obtener un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión, el cual mejoraría las

propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, reduciendo la absorción del concreto y ampliando sus cualidades mecánicas.

2.2.3. El concreto

Es un material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente adiciones, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida (...) Al igual que cualquier otro material, se contrae al bajar la temperatura, se dilata si ésta aumenta, se ve afectado por sustancias agresivas y se rompe si es sometido a esfuerzos que superan sus posibilidades, por lo que responde perfectamente a las leyes físicas y químicas. (Pasquel, 1998, pág. 11)

2.2.4. Componentes del concreto.

La presente investigación trata de un concreto conformado por el cemento portland IP, agregado fino, agregado grueso, agua y adiciones de cenizas de residuo de tarwi. En consecuencia, para poder dominar el uso de este material, hay que conocer no sólo las manifestaciones del producto resultante, sino también la de sus composiciones químicas y su interrelación, ya que son en primera instancia los que le confieren su particularidad.

2.2.4.1. *Cemento.*

Rivva (2010) lo define como un material pulverizado que posee la propiedad de, por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como el aire y formar compuestos estables. (pág.14)

A lo largo del tiempo se han desarrollado distintos tipos de cemento. Sin embargo, los estudios demuestran que se han utilizado en mayor porcentaje el cemento Portland tipo IP. Los concretos hechos a base de este tipo de cemento alcanzan su resistencia de diseño después de 28 días y continúan ganando resistencia de ahí en adelante a una tasa descendente. (Nilson & Darwin, 2001, pág. 29)

2.2.4.1.1. *Composición química del cemento portland.*

Los componentes químicos del cemento Portland se expresan en porcentaje de óxidos que contienen. Los principales óxidos son: la cal, sílice, alúmina, y el óxido férrico, siendo el total de éstos del 95% al 97% aproximadamente. En pequeñas cantidades también se presentan otros óxidos: la magnesia, el anhídrido sulfúrico, los álcalis y otros de menor importancia. (Torre, 2004, pág. 10) Así tenemos:

Tabla 3

Límites de composición aproximados para cemento Portland IP

Óxido Componente	Representación	Porcentaje Típico	Abreviatura
Óxido de Calcio	CaO	58 % - 67 %	C
Óxido de Silicio	SiO ₂	16 % - 26 %	S
Óxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	4 % - 8 %	A
Óxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	2 % - 5 %	F
Anhídrido Sulfúrico	SO ₃	0.1 % - 2.5 %	
Óxido de Magnesio	MgO	1 % - 5 %	
Óxido de Potasio	K ₂ O	0 % - 0.5 %	
Óxido de Sodio	Na ₂ O	0 % - 0.5 %	
Óxido de Manganeso	Mn ₂ O ₃	0 % - 3 %	
Óxido de Titanio	TiO ₂	0 % - 0.5 %	
Óxido de Fósforo	P ₂ O ₅	0 % - 1.5 %	
Pérdida por Calcinación	(LOI)	0.5 % - 3 %	

Nota. Adaptado del “Curso Básico de Tecnología del Concreto”, por Torre, 2004, pág. 10.

2.2.4.1.2. Compuestos principales.

- **Silicato tricálcico (C₃S) o “alita”:** Rivva (2004) sostiene que este componente produce una gran velocidad de hidratación, lo que favorece un rápido endurecimiento del cemento. Sus características hidráulicas son excelentes. El silicato tricálcico desarrolla un alto calor de hidratación y al endurecer a gran velocidad, contribuye en forma importante a las resistencias mecánicas iniciales. Si bien su contribución a las resistencias finales no es tan importante como la del silicato bicálcico es, sin embargo, importante (pág. 38). Es el de mayor importancia.

- **Silicato bicálcico (C_2S) o “belita”:** Sobre este componente Fernández (2007) sostiene que es “metaestable porque da pocas resistencias en los primeros días, pero luego las va desarrollando progresivamente hasta alcanzar al silicato tricálcico. El desarrollo del calor de hidratación que da lugar en su hidratación es más bajo que el proporcionado por el silicato tricálcico” (Pág. 22). Por su porcentaje en el Clinker es el segundo en importancia.

Debido a su lenta velocidad de endurecimiento, la contribución del silicato bicálcico a la resistencia en las primeras edades es muy pequeña. Posteriormente es la fuente principal del desarrollo de la resistencia. Los cementos ricos en este componente son químicamente más estables y más resistentes a los sulfatos (Rivva, Naturaleza y materiales del concreto, 2004a, pág. 40).

- **Aluminato Tricálcico (C_3A):** Después de los álcalis, los aluminatos son los compuestos del cemento que primero reaccionan con el agua. Su fraguado ocurre a una velocidad de hidratación muy grande, hasta el punto de ser casi instantáneo (Rivva, Naturaleza y materiales del concreto, 2004a, pág. 41).

Fernández (2007) declara que, “el aluminato tricálcico por si solo contribuye muy poco a las resistencias del cemento, pero en presencia de los silicatos desarrolla una resistencia inicial muy buena” (Pág. 22) Sin embargo la resistencia del concreto a los ciclos de congelamiento y deshielo tiende a disminuir con aumento en el contenido de aluminato tricálcico.

El calor de hidratación desarrollado por el aluminato tricálcico es muy elevado, siendo mayor que el de un portland similar de cualquiera de los otros compuestos (Rivva, Naturaleza y materiales del concreto, 2004a, pág. 41)..

- **Ferro aluminato Tetra cálcico (C₄AF):** Este compuesto contribuye muy poco a la resistencia. La mayoría de los efectos de color para la producción del cemento gris se deben a este componente y a sus hidratos. (Kosmatka, et al, 2004, pág. 56)
- **Sulfato de Calcio,** se adiciona al cemento durante la molienda final. Este componente controla la hidratación del C₃A. Sin el sulfato, el fraguado del cemento sería rápido. Además del control del fraguado y del desarrollo de resistencia, el sulfato también ayuda a controlar la contracción por secado y puede influenciar la resistencia hasta 28 días. (Kosmatka, et al, 2004, pág. 56)

2.2.4.1.3. **Fórmulas de cálculo.**

A continuación, se establecen las fórmulas de Bogue, tal como cita Rivva (2010) las cuales a pesar de tener sus limitaciones mantienen su vigencia principalmente porque permiten calcular muy rápidamente el porcentaje aproximado de los compuestos principales y pueden ser tomados como valores de referencia (pág. 24)

En el silicato tricálcico, si la relación del óxido de alúmina al óxido de hierro es de 0.64 o mayor, se aplicará la siguiente ecuación (Ibid.):

$$C_3S = 4.071CaO - 7.6 SiO_2 - 6.718Al_2O_3 - 1.43Fe_2O_3 - 2.852SO_3$$

En caso de que sea menor de 0.64, se aplicará la siguiente ecuación:

$$C_3S = 4.071CaO - 7.6 SiO_2 - 4.479Al_2O_3 - 2.859Fe_2O_3 - 2.852SO_3$$

De acuerdo a Bogue (tal como se cita en Rivva, 2010) el silicato bicálcico, el porcentaje de aluminato tricálcico y el porcentaje de ferro aluminato tetra cálcico puede ser calculado mediante las siguientes ecuaciones:

$$C_2S = 2.867SiO_2 - 4.479C_3S$$

$$C_3A = 2.65Al_2O_3 - 1.692Fe_2O_3$$

$$C_4AF = 3.04Fe_2O_3$$

2.2.4.1.4. **Módulos**

(Rivva, 2004a), las relaciones entre los componentes del cemento portland han constituido la base para las condiciones químicas que habían de cumplir los elementos, en relación a ello conviene hacer mención a las siguientes relaciones:

- El módulo hidráulico (MH) relaciona la cal con los componentes óxidos ácidos. Se ha establecido para el mismo un valor óptimo de 2 o ligeramente superior. Además, se considera que cuando el valor de MH es inferior a 1.8 el aglomerante ha de tener resistencias muy bajas y cuando es mayor de 2.2, el material cementante, una vez puesto en obra, sufrirá a los pocos días o semanas un fenómeno de agrietamiento por expansión (Ibid.)

La ecuación que permite determinar el MH es la siguiente:

$$MH = CaO/SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$$

- Módulo de silicatos (MS) cuanto más alto sea su valor, el cemento aportará mayor potencial de resistencia a cualquier plazo de tiempo Sin embargo se debe tener en cuenta que cuando supera el valor de 3.5 se pueden producir eventualmente características expansivas y si es menor de 2.0 las resistencias son bajas. La limitación de valores para este módulo, generalmente aceptada para el cemento portland es de 1.2% a 4% (Ibid.)

La ecuación que permite determinar el MS es la siguiente:

$$MS = SiO_2/Al_2O_3 + Fe_2O_3$$

El Índice de acidez (IA) ha sido propuesto para reemplazar al MS (Ibid.);

$$IA = 2.8 SiO_2/1.1Al_2O_3 + 0.7 * Fe_2O_3$$

- El índice de cementación (IC) está expresado en tantos por ciento y se considera que su valor ideal es de 1 (Ibid.) Su ecuación esta dado por:

$$IC = 2.8 SiO_2 + 1.1Al_2O_3 + 0.7Fe_2O_3/CaO + 1.4MgO$$

2.2.4.2. Agua.

Rivva, Harman, Pasquel, Badoino, & Romero (1998), manifiestan que, el agua es elemento indispensable para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, por lo tanto, este elemento debe cumplir ciertos requisitos para llevar a cabo su función en la combinación química.

2.2.4.2.1. Agua de mezcla.

El Instituto de Control y Gerencia (ICG, 2014) manifiesta, que el agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales: (1) reaccionar con el cemento para hidratarlo, (2) actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto y (3) procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse. (Pág. 67)

El problema principal del agua de mezcla reside en las impurezas y la cantidad de estas, que ocasionan reacciones químicas que pueden alterar el comportamiento normal de la pasta del cemento. Los efectos más perniciosos que pueden esperarse de aguas de mezcla con impurezas son; retardo en el endurecimiento, reducción de la resistencia, manchas en el concreto endurecido, eflorescencias, contribución a la corrosión del acero, cambios volumétricos, etc. (Rivva, et al, 1998)

En muchas especificaciones, la calidad del agua se considera en una cláusula que establece que esta debe ser apta para beber, sin embargo, este criterio no es absoluto, manifiesta Neville & Brooks (1998) ya que el agua para beber puede no ser adecuada para mezcla cuando tenga una concentración alta de sodio o potasio, por una reacción álcali-agregado (pág. 62)

Existe evidencia experimental que el empleo de aguas con contenidos individuales de cloruros, sulfatos y carbonatos sobre las 5000 ppm ocasionan reducción de resistencias hasta del orden del 30% con relación a concretos con agua pura y cuando la materia orgánica este

por encima de los 1000 ppm incorpora aire al concreto generando reduccion de la resistencia (Rivva, et al, 1998, pág. 151).

Curiosamente, ni el Instituto Americano del Concreto (ACI) ni la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) establecen requisitos para el agua de mezcla para concreto, sin embargo, en una iniciativa realmente importante, la norma NTP 339.088 sí establece requisitos para agua de mezcla y curado (Pasquel, 1998, pág. 60) y que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4
Límites permisibles para el agua según la norma NTP 339.088

Descripción		Limite permisible	
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5000	ppm	Máximo
Materia Orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaCHCO3)	1000	ppm	Máximo
Sulfatos (ion SO4)	600	ppm	Máximo
Cloruros (ion Cl-)	1000	ppm	Máximo
Ph	5 a 8	ppm	Máximo

Nota. Adaptado de “Requisitos de agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland”, NTP 339.088.

2.2.4.2.2. Agua para el curado

En general, los mismos requisitos que se exigen para el agua de mezcla deben ser cumplidos por las aguas para curado, y además es usual emplear la misma fuente de suministro de agua tanto para la preparación como para el curado del concreto (Pasquel, 1998, pág. 65).

Por otro lado, la influencia de la temperatura sobre la velocidad del endurecimiento es muy importante, ya que las temperaturas mayores aceleran el desarrollo del endurecimiento, y las más bajas le hacen más lento, es decir que, si la temperatura de curado es más alta que la temperatura inicial de moldeo, la resistencia resultante en los días de ensayo será mayor y viceversa. El aumento promedio de resistencia con el tiempo está indicado en la tabla 5, en forma aproximada y únicamente para cemento Pórtland tipo IP (Rivera, 1980).

Tabla 5
Resistencia a la compresión en diferentes temperaturas de curado

Temperatura °C	Tiempo (días)				
	3	7	14	21	28
10	25 %	40 %	63 %	76 %	82 %
23	34 %	52 %	76 %	91 %	100 %
35	40 %	60 %	87 %	102 %	110 %

Nota. Adaptado de “Concreto simple” por Rivera, 1980.

De igual manera Rivva (2014) manifiesta que la influencia de la temperatura sobre la velocidad de endurecimiento (R) es notable, ya que las temperaturas mayores aceleran el desarrollo del endurecimiento y establece una relación entre la temperatura de curado (T) y el tiempo de almacenamiento (A) de la siguiente forma:

$$R = A(T + 10)$$

2.2.4.3. *Agregados para concreto*

Kosmatka, et al (2004) afirma que, los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto (pág. 103).

El ICG clasifica a los agregados de la siguiente manera: (1) Los agregados finos son partículas provenientes de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz 3/8”. (2) Los agregados gruesos son partículas retenidas en el tamiz N°4 (4.75mm), proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas que cumplen con los límites de NTP. 400.037. (3) Y a la unión de estos lo denomina agregado global. (pág. 67)

Sin embargo, Rivva, Diseño de mezclas (2014b) recomienda, que los agregados fino y grueso sean manejados como materiales independientes. El hormigón sólo podrá emplearse en la elaboración de concretos con resistencia en compresión no mayor de 10 MPa a los 28 días (pág. 25).

Cabe señalar que, el agregado de perfil angular requiere más agua por su mayor superficie específica, pero puede dar la misma resistencia para un factor cemento determinado si es adecuadamente dosificado. En concretos de alta resistencia el agregado de perfil angular produce resistencias más altas que el redondeado de granulometría y calidad comprobables (Rivva, Naturaleza y materiales del concreto, 2004a).

Asociadas a las sollicitaciones se encuentran una serie de ensayos o pruebas standard que miden las propiedades para compararlas con valores establecidos o para emplearlas en el diseño de mezclas. Para evaluar estos requerimientos es importante tener claros los conceptos relativos a las siguientes características físicas de los agregados y su función en el concreto:

2.2.4.3.1. Granulometría (ASTM C-136, Y NTP 400.012)

La granulometría del agregado influye sobre el agua necesaria en la mezcla y obligan a aumentar el factor cemento para no perder resistencia (Ibid.)

Características granulométricas inadecuadas requieren más agua. Las modificaciones en la granulometría en relación con la empleada para la selección de las proporciones de la mezcla, al cambiar la superficie específica, hacen variar la demanda de agua para mantener la consistencia y tienden a modificar la resistencia del concreto. Además, la resistencia está en función de la relación vacíos-cemento, y ésta de la granulometría del agregado, por lo tanto, es evidente que la resistencia del concreto está influenciada por la granulometría (Ibid.)

La granulometría del agregado grueso deberá cumplir con la gradación establecida en la norma NTP 400.012 o la ASTM C -33.

En lo referente a la granulometría del agregado fino la norma NTP 400.037 especifica que, el agregado fino deberá cumplir con los límites especificados en la tabla 6

Se permitirá el empleo de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, siempre que existan estudios calificados. Sin embargo, se recomienda que el agregado

utilizado en concretos de $f'c$ 210 kg/cm² de resistencia de diseño y mayores deben cumplir además de los requisitos obligatorios, lo siguiente: La granulometría del agregado fino deberá corresponder a la gradación C de la tabla 6, es decir de arena gruesa ya que las arenas muy finas obligan a incrementar la relación agua-cemento, lo que puede significar consistencias muy altas y, a igualdad de éstas, menores resistencias (Ibid.)

Tabla 6
Granulometría del agregado fino

Tamices	Grupo C	Grupo M	Grupo F
3/8"	100	100	100
N°4	95 – 100	85 – 100	89-100
N°8	80 – 100	65 – 100	80 – 100
N°16	50 -85	45 – 100	70 – 100
N°30	25 – 60	25 – 80	55 – 100
N°50	10 – 30	5 – 45	5 – 70
N°100	2 – 10	0 – 10	0 – 10

Nota. Adaptado de “Rivva, Naturaleza y materiales del concreto- II congreso internacional de la construcción y EXPOCON”, 2004.

2.2.4.3.2. *Peso específico (ASTM C127 y C128 - NTP 400.021 y NTP 400.022).*

El peso específico de los agregados, también expresado como densidad adquiere importancia en la construcción cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite. Sobre ello Carbajal (1998) sostiene que el valor para agregados normales oscila entre 2500 y 2750 kg/m³ (pág. 74).

En relación a su importancia, Rivva (2000), sostiene que es conveniente considerar lo siguiente: Los pesos específicos bajos generalmente indican un material poroso absorbente y débil. Los altos generalmente indican buena calidad. El peso específico del agregado influye sobre el peso unitario del concreto. (pág. 155)

La absorción es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. La razón de su importancia se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es

necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias. (Pasquel, 1998, pág. 76)

2.2.4.3.3. *Peso Unitario (ASTM C 29 - NTP 400.017).*

Es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Rivva (2000) sostiene que, “a partir del conocimiento del peso unitario del agregado se puede; calcular el contenido de vacíos, clasificar a los agregados en livianos, normales y pesados y tener una medida de uniformidad del agregado”. (pág. 153)

2.2.4.3.4. *Humedad (ASTM C70 - NTP 339.185)*

Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el diseño de mezclas. (Pasquel, 1998, pág. 77)

Por lo tanto, la determinación del contenido de humedad y porcentaje de absorción son importantes en la medida que permite conocer el volumen del agua con que contribuirá o que absorberá el agregado en una mezcla de concreto (Rivva, 2004b).

2.2.4.3.5. *Módulo de finura - M.F (ASTM C33 - NTP 400.011)*

Este parámetro representa un tamaño promedio ponderado del agregado, pero no representa la distribución de las partículas. (Pasquel, 1998, pág. 92) Es decir que no deberá emplearse para definir la granulometría de un agregado.

La norma ASTM C33 indica que el módulo de fineza del agregado sea mantenido entre los valores de 2.3 y 3.1. Esta consideración se basa se basa en el hecho que cuanto menor es el módulo de fineza, dentro de los límites indicados, mayor es el lubricante del agregado fino, pudiéndose emplear menor cantidad de este y mayor cantidad del agregado total en la mezcla sin que deje de ser trabajable (Rivva, 2004b).

2.2.4.3.6. *Partículas perjudiciales (ASTM C33 - NTP 400.037)*

Los elementos contaminantes de los agregados actúan sobre el concreto reduciendo su resistencia modificando la durabilidad y dañando la apariencia externa. Adicionalmente pueden alterar el proceso de mezclado al incrementar la demanda de agua o retrasar el proceso de mezclado. La mayoría de los agregados presenta algún grado de contaminación, pero la norma determina el porcentaje máximo admisible. Los excesos pueden eliminarse fácilmente mediante el proceso de lavado, como sucede con los materiales finos ligeros (Rivva, 2004b).

La norma ASTM C33 y la norma NTP 400.037 recomienda, para los porcentajes máximos de material fino que pasa la malla N°200 un valor de 3% en el agregado fino que se va a emplear en concretos sujetos a procesos abrasivos y del 5% en los otros concretos. En el caso del agregado grueso un valor máximo de 1% excepto en el caso de agregados triturados en los que si el fino es polvo de roca se acepta hasta un máximo de 1.5% (Ibid.)

Sin embargo, es importante señalar que la textura rugosa de agregados que provienen de roca triturada brindan resistencias por adherencia mayores que las que se obtendría por el empleo de agregados de textura suave. Esta ventaja puede perderse si el agregado está cubierto por el polvo proveniente del proceso de trituración (Ibid.)

2.2.5. Control de calidad del concreto

La uniformidad de los procedimientos de ensayo es fundamental en la medida que las variaciones en la misma pueden influir significativamente en la desviación standard y el coeficiente de variación de las probetas.

2.2.5.1. Control de calidad del concreto fresco.

En el concreto fresco se pueden realizar muchos ensayos de distintos tipos para evaluar sus características en este estado, pero solo trataremos algunos de los que se aplica en nuestro país de manera rutinaria y los que se avoca esta investigación.

2.2.5.1.1. Trabajabilidad.

Se entiende por trabajabilidad a aquella propiedad del concreto al estado no endurecido, la cual determina su capacidad para ser manipulado transportado, colocado y consolidado adecuadamente con un mínimo trabajo y máximo de homogeneidad (Rivva, 2014).

Está influenciada principalmente por la finura del cemento, determinada por su superficie específica. Los cementos de alta finura la mejoran notablemente, pero pueden causar agrietamientos superficiales en el secado. Además, está influenciada por el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre agregados gruesos y finos, que producen en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa (Rivva, 2004a)

La ausencia de partículas finas en el agregado puede ser compensadas por el empleo de cemento portland tipo I ó IP, por la adición de arenas muy finas, cenizas, puzolana o escoria de alto horno finamente molidas (Ibid.)

2.2.5.1.2. *Peso unitario.*

Se define como la densidad del concreto a la relación del volumen de sólidos al volumen total de una unidad cúbica. Puede también entenderse como el peso varillado de una muestra representativa del concreto (Ibid.)

Además, las variaciones en las propiedades de los agregados pueden afectar el peso unitario, es por ello que los concretos se clasifican en: (1) concretos livianos, los cuales son preparados con agregados livianos cuyo peso unitario varía entre 400-1700 kg/m³. (2) Concretos normales, cuyo peso unitario de agregados varía entre los 1700 -2500 kg/m³ y finalmente los (3) concretos pesados cuyo peso unitario de agregados es mayor de 2500 kg/m³ (Pasquel, 1998)

Las normas aplicables son la ASTM C-138, C-231 y C-173. La medición del contenido de aire es indispensable cuando se utilizan incorporadores de aire para prevenir los efectos perjudiciales de los ciclos de hielo y deshielo (Rivva, et al, 1998).

2.2.5.1.3. Exudación.

Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto. Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica (Rivva, 2004).

El fenómeno está gobernado por las leyes de la física del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades.

Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla N°100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla (Ibid.)

2.2.5.1.4. Segregación.

La segregación es definida como la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero.

Esta definición es entendible si se considera que el concreto es una mezcla de materiales de diferentes tamaños y gravedades específicas, por lo que se generan al interior del mismo fuerzas las cuales tienden a separar los materiales componentes cuando la mezcla aún no ha endurecido (Ibid.)

2.2.5.1.5. Temperatura.

Este es un parámetro muy importante de controlar pues condiciona la velocidad con que se desarrolla el proceso de endurecimiento inicial del concreto. El valor de la temperatura del concreto resulta del equilibrio termodinámico entre las temperaturas de los componentes (Rivva, et al, 1998).

La norma ASTM C1064 indica la manera de medir la temperatura del concreto para lo cual se debe contar con un termómetro con alta precisión en la lectura, no siendo necesario usar una muestra compuesta, siendo suficiente humedecer previamente el recipiente contenedor antes de colocar el concreto e introducir el termómetro por un tiempo mínimo de

2 min. Hasta que se establezca la lectura y un máximo de 5 min. desde la obtención de la muestra (Rivva, et al, 1998).

2.2.5.2. Resistencia en compresión del concreto

Cuando el concreto se endurece requiere de una resistencia de compresión satisfactoria. Siempre se hacen especificaciones en cuanto a la resistencia porque es más fácil de medir y porque hay muchas propiedades del concreto que están relacionadas con esta resistencia, como son densidad, impermeabilidad, durabilidad, resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, tensión y a los sulfatos, etc. No se quiere decir que estas funciones sean una función simple y única de la resistencia a la compresión, lo que se quiere decir es que, en términos generales un concreto de mayor resistencia tendrá mejores propiedades (Neville & Brooks, 1998).

La norma ASTM C-39 es la que estandariza esta prueba que es indispensable para obtener el f'_c . Como observaciones importantes se debe anotar que la norma recomienda el empleo de prensas para rotura operadas con motor, no considerando la operación manual, pues el ensayo, tiene mucha influencia la velocidad de aplicación de la carga (20-50 lb/plg²/seg) (Rivva, et al, 1998).

2.2.5.2.1. Moldeo y curado de probetas para ensayo de compresión.

Esta es una etapa fundamental de control de concreto fresco, que muchas veces se le resta importancia al convertirse en una rutina de trabajo (Rivva, et al, 1998).

Cuando el moldeo se hace descuidadamente sin respetar los lineamientos de la norma ASTM C-192 (laboratorio) o la norma ASTM C-31 (obra), no se toman precauciones en el curado en cuanto a los requerimientos de humedad y temperatura, y el ensayo en compresión se realiza en condiciones inapropiadas, el resultado bien puede ser satisfactorio desde el punto de vista de superarse la resistencia exigida, pero las dispersiones introducidas no nos permitirán una evaluación estadística (Rivva, 2010a).

Como observaciones generales, se debe garantizar que los moldes para la elaboración de las probetas produzcan especímenes con las dimensiones establecidas de la norma. La norma establece moldes especiales que tienen 150 mm de diámetro y 300 mm de altura como también moldes de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura (Rivva, 2010a, pág. 196). Ya que el tamaño de las probetas no es causante de ningún tipo de error (Rivva, 2004a, p. 145)

Antes de colocar el concreto en los moldes, estos deben estar impregnados en el interior con un material que evite que el concreto se adhiera a la superficie del molde (Rivva, et al, 1998).

Las probetas se deben confeccionar en tres capas iguales o dos capas si el diámetro de este es de 100 mm, apisonando cada capa de acuerdo con los requerimientos de la norma. La norma obliga a que luego de cada etapa de compactación se elimine el aire golpeando el molde lateralmente de 10 a 15 veces con un martillo de goma de 0.34 a 0.8 kg. (Rivva, et al, 1998).

Las probetas no deberán ser movidas después de transcurridos 20 minutos de moldeadas. Las probetas deberán ser protegidas en todas las edades del trato brusco, golpes o cualquier acción que pudieran modificar sus propiedades o características (Rivva, 2010a, pág. 196)

Las probetas deben cubrirse inmediatamente luego de moldeadas y deben conservarse entre 16 a 27°C las primeras 24 horas, el desmoldado debe ejecutarse dentro de 16 a 34 horas luego de vaciadas y serán curadas en agua saturada hasta su época de ensayo (Rivva, et al, 1998).

Estas precauciones que pueden parecer exageradas o complicadas de efectuar, son la práctica normal en países similares al nuestro, y su trascendencia se hace más evidente cuando empezamos a tener problemas con los climas, donde las condiciones ambientales extremas afectan significativamente esta etapa de control de calidad si no hacemos nada para llevarlo a cabo tal como está estandarizado (Ibid.)

2.2.5.2.2. *Criterios de aceptación del concreto.*

Se considera satisfactorios los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión si se cumple con los siguientes requisitos: (1) El promedio de todas las series de los resultados de tres consecutivos es igual o superior a la resistencia de diseño especificada y (2) si ningún resultado de una muestra está más de 35 kg/cm^2 por debajo de la resistencia en compresión especificada (Rivva, 2010a)..

2.2.5.2.3. *Fallas típicas.*

Las fallas típicas producidas en el ensayo a compresión para probetas se presentan en la figura 4.

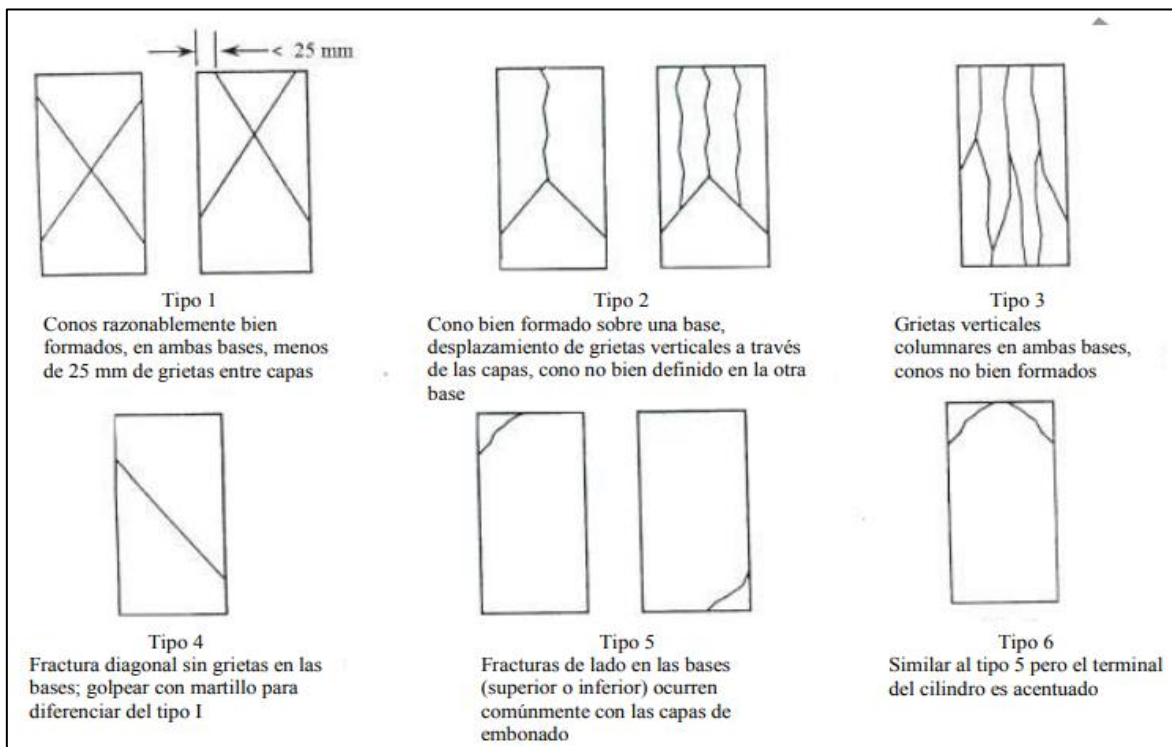


Figura 4. Esquema de los patrones de tipos de fracturas.

Adaptado de “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas”, NTP 339.034.

Capítulo III

Materiales y Métodos

3.1. Metodología de investigación

3.1.1. Tipo de investigación.

Borja (2012) manifiesta que, “en la ciencia existen diferentes tipos de investigación y es necesario conocer sus características para saber cuál de ellos se adapta mejor a la investigación que se está realizando” (pág. 10).

Por lo tanto, de acuerdo al fin que se persigue, la investigación es explicativa porque busca las causas que generan ciertos fenómenos físicos (Borja, 2012).

Además, se utiliza los conocimientos obtenidos en las diferentes investigaciones para mejorar la resistencia del concreto añadiendo porcentajes de ceniza de un residuo agrícola.

3.1.2. Diseño de la investigación.

Es un diseño experimental porque es un proceso en el cual estudiaremos el diseño convencional del concreto en comparación con el nuevo diseño elaborado con la sustitución parcial de cenizas de residuo de tarwi.

El estudio en su mayor parte se concentrará en las pruebas de resistencia a la compresión y la verificación de la trabajabilidad del concreto, donde el investigador estará en contacto con los ensayos a realizar obteniendo resultados de acuerdo a los objetivos planteados.

3.1.3. Método de investigación.

Cuantitativo, porque se estudia las variables y sus indicadores objetivamente midiendo y registrando sus valores respuesta en los instrumentos de recolección de datos (guías de observación). Todos los experimentos cuantitativos emplean un formato estándar, con algunas diminutas diferencias inter-disciplinarias para generar una hipótesis que será probada o desmentida. Esta hipótesis debe ser demostrable por medios estadísticos y

matemáticos y constituye la base alrededor de la cual se diseña el presente trabajo de investigación.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Probetas cilíndricas de concreto elaboradas según NTP 339.033.

3.2.2. Muestra.

“Si cada uno de los sujetos de estudio de una investigación tuvieran exactamente las mismas características, el tamaño requerido de la muestra sería solamente de uno; pero al no presentarse el caso, es necesario establecer un tamaño de muestra mayor a uno, pero menor que la población total o universo. Sin embargo, el tamaño de la muestra muchas veces se limita por el costo que involucra, o por el tiempo disponible para la investigación” (Borja, 2012, pág. 31).

Para hallar el tamaño de muestra de la investigación, se emplea la siguiente fórmula, la cual es útil para el cálculo de la muestra para estimar promedios con población desconocida.

$$n_0 = \frac{Z^2 S^2}{E^2}$$

Donde:

n_0 = Tamaño de la muestra.

Z = Valor de la distribución normal estandarizada para un nivel de confianza fijado por el investigador.

S = Desviación standard de la variable fundamental del estudio. Obtenida por estudios anteriores, muestra piloto, criterio de experto o distribución de la variable de interés.

E = Límite aceptable de error muestral.

3.2.2.1. Distribución normal (z).

Al diseñar el ensayo de hipótesis para la investigación se eligió la distribución normal al 95%, aunque igualmente pueden emplearse otros valores sin embargo alteraría el porcentaje de error. Por la tanto existe un 95 % de confianza de que se toma la decisión adecuada, es decir, hay aproximadamente 5 ocasiones en 100 en que se rechazaría la hipótesis cuando debería ser aceptada. Lo que significa que se puede cometer error con una probabilidad del 5%. A continuación, se detalla el coeficiente de confiabilidad que corresponde a distintos niveles de confianza, los cuales serán reemplazados en la ecuación para determinar el número de muestras con población infinita.

Tabla 7
Valores de la distribución normal (Z)

Nivel de confianza (%)	Coeficiente de confiabilidad (Z)
99	2.58
98	2.33
97	2.17
96	2.05
95	1.96
90	1.65
80	1.28
50	0.67

Nota. Adaptado de Metodología de la investigación científica para ingenieros (Borja, 2012)

3.2.2.2. *Desviación standard (s).*

Pasquel (1998) recomienda el uso de la tabla 8 para controlar la calidad del concreto mediante el uso de la desviación standard.

Por otro lado, Barojas (2005) nos brinda una opción para estimar la desviación standard para una investigación cuantitativa, “determinando la diferencia entre el máximo y el mínimo valor esperable y dividiendo el resultado entre cuatro, por lo tanto, se tiene una cierta aproximación a este valor” (p.). Haciendo uso de ambas metodologías y de los antecedentes a esta investigación, tales como Sosa & Aguila, 2000; Milena, 2008; Jiménez, 2016 Camargo & Higuera, 2017, donde emplearon cenizas de residuos agrícolas logrando incrementar la resistencia de diseño hasta un promedio de 21%, es así que, se espera mantener y/o

incrementar la resistencia a la compresión hasta 255 kg/cm² y que este no disminuya de la resistencia de diseño para que cumpla con los requisitos de la E.060 a los 28 días, por lo tanto, al reemplazando los datos se obtiene:

$$S = \frac{255 - 210}{4}$$

$$S = 11.25$$

La desviación standard para diferentes grados de control en concreto en laboratorio (Tabla 8) garantiza este resultado pues con valores de desviación standard menores a 14.1 se obtiene excelentes análisis de resultados.

Tabla 8

Desviación standard (S) para diferentes grados de control del concreto

Clase de operación	Desviación standard para diferentes grados de control				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
En obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
En laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.7	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> a 24.6

Nota. Adaptado de Fuente, Tópicos del concreto (Pasquel, 1998).

3.2.2.3. Límite aceptable de error muestral ϵ .

Tabla 9

Precisiones absolutas de error comúnmente utilizadas

Nivel de confiabilidad (%)	Valor de error (%)
90	10
95	5
99	1

Nota. Adaptado de Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud (Barojas, 2005)

Reemplazando las consideraciones solicitadas en la ecuación para hallar el tamaño de muestra, se tiene para el **Ensayo de Resistencia a la Compresión:**

Z = El nivel de confiabilidad para esta investigación será de 95% (1.96).

S = La desviación standard de la variable fundamental del estudio es de 11.25.

E = El límite aceptable de error muestral se estimará en 5%.

Reemplazando los valores en la formula se obtiene:

$$n_0 = \frac{1.96^2 * 11.25^2}{5^2}$$

$$n_0 = 21$$

3.2.3. Porcentaje de adición de cenizas.

Rivva, Ataques al concreto, 2012, recomienda el empleo de material con características puzolánicas, incluyendo las cenizas, sin embargo, estos materiales pueden tener características significativamente variables, y no se pueden hacer uso sin el respectivo ensayo que especifica la norma ASTM C 618 (pág. 154).

En relación a ello (Milena, 2008) sostiene que, el porcentaje de sílice en la ceniza será uno de los indicadores principales para una puzolana de buena calidad (pág. 65)

Además, Rivva

(2010) afirma que, porcentajes de reemplazo del 15% al 25% parecen ser los más recomendables. La efectividad del material puzolánico se incrementará con el tiempo del curado. En este aspecto es recomendable efectuar estudios de laboratorio a fin de determinar cuál sería el porcentaje más recomendable (pág. 56)

Por otro lado, al revisar los estudios detallados en los antecedentes a la investigación, las adiciones de porcentajes mayores a 15% de cenizas de residuos orgánicos generaba una pérdida significativa en la resistencia a la compresión del concreto. En la mayoría de estas investigaciones la sustitución del 5%, 10% y hasta 15% han resultado benéficas, garantizando la mejora de resistencia a la compresión del concreto, reducción de costos y reducción de contaminantes.

Para tomar la decisión correcta se empleará el método experimental, fabricando cubos de mortero con adiciones de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza de tarwi en reemplazo parcial del cemento portland IP de acuerdo a lo estipulado en la NTP 334.051. La norma ASTM C-109 condiciona; si la resistencia a compresión a 7 y 28 días de los cubos con el

material en prueba, en este caso las cenizas de tarwi, no es menor del 90% de los cubos de control, se aceptará apta para su uso en concreto.

Sin embargo, existen muchas variables en las características del agregado grueso, mezclado y procedimientos en la elaboración de concreto que pueden modificar la resistencia a compresión del mismo, es por tal motivo que se aceptará los resultados de los cubos elaborados con porcentajes de adición de ceniza de tarwi hasta con diferencias del 60% de la de los cubos de control.

Mientras tanto, para elaborar el presupuesto del proyecto es que la investigación se inclina a una adición de 5%, 10% y 15% de ceniza de tarwi como sustituto parcial del cemento portland IP, debido a los antecedentes encontrados en el acápite anterior.

3.2.4. Distribución de rotura de briquetas.

De acuerdo al ASTM-C172, (como citó Rivva,2012) la muestra estará compuesta por cuatro especímenes, con los cuales se fabricarán probetas cilíndricas, para ensayos de compresión de acuerdo al ASTM-C39, de los cuales dos a 7 días y dos a 28 días después de ser sometido al curado normalizado. Los valores de resistencia de 7 días solo se emplearán para verificar la regularidad de la calidad de producción del concreto, mientras que los obtenidos a los 28 días se emplearán para la comprobación de resistencia del concreto (pág. 21).

Ahora, como se ha planteado la adición de 5%, 10% y 15% de ceniza de tarwi en sustitución del cemento portland, y el número de muestras que se tiene que elaborar es 21, por lo tanto, la distribución de probetas para verificar la resistencia a 7 días, 14 días y 28 días de acuerdo a la tabla 10 y 11.

Con el uso de 7 probetas cilíndricas para cada tiempo de ensayo y para cada tipo de adición, así como para el concreto patrón, se incrementa el nivel de confiabilidad de los resultados en comparación de lo establecido de la norma.

Tabla 10

Cantidad de briquetas a confeccionar el concreto patrón (CP)

Grupo	Código	Tratamiento (%)		Cantidad de briquetas			Subtotal
		Ceniza de residuo de Tarwi	Cemento portland IP	7 días	14 días	28 días	
I	CP	0%	100%	7	7	7	21

Nota. Elaboración propia

Tabla 11

Cantidad de briquetas a confeccionar con adición de ceniza de tarwi

Grupo	Código	Tratamiento (%)		Cantidad de briquetas			Subtotal
		Ceniza de residuo de Tarwi	Cemento portland IP	7 días	14 días	28 días	
II	CRT5%	5%	95%	7	7	7	21
III	CRT10%	10%	90%	7	7	7	21
IV	CRT15%	15%	85%	7	7	7	21

Nota. Elaboración propia

3.2.5. Grupo de evaluación.

En total se elaborarán 84 probetas de concreto con $f'c$ 210 kg/cm² y serán sometidas al curado normalizado. Los cubos de mortero serán elaborados con el mismo material a emplearse en el concreto y servirán para validar o replantear la metodología del porcentaje de adición de ceniza de tarwi, caso contrario se procederá con la adición de ceniza entre el 5%, 10% y 15%, según indicaciones para adiciones por normativa. Los resultados obtenidos se compararán con los valores de resistencia a la compresión del concreto de control. Las probetas serán sometidas al ensayo a los 7, 14 y 28 días de su elaboración.

Las pruebas de control de concreto en estado fresco se efectuarán siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM C-172, obteniendo porciones representativas de cada grupo de análisis.

Para el análisis químico y físico de las cenizas se tomarán muestras representativas después de haberlo cribado y serán protegidos de cualquier agente contaminante. A partir de estos datos se realizará el diseño de mezclas.

Tabla 12
Total de especímenes

Grupo	Tratamiento (%)		Cantidad de briquetas para verificar f'_{c210} kg/cm ²			Total
	Ceniza de residuo de Tarwi	Cemento portland IP	7 días	14 días	28 días	
I	0%	100%	7	7	7	21
II	5%	95%	7	7	7	21
III	10%	90%	7	7	7	21
IV	15%	85%	7	7	7	21
Cantidad total de muestras						84

Nota. Elaboración propia

3.3. Planteamiento de hipótesis

3.3.1. Hipótesis General.

La adición de ceniza de residuo de tarwi como sustituto parcial del cemento portland IP mejora la trabajabilidad y la resistencia a compresión del concreto.

3.3.2. Hipótesis Específicas.

Las propiedades químicas de las cenizas de residuo de tarwi, cumplen con las recomendaciones de la norma ASTM C618-03.

La adición porcentual de cenizas como sustituto del cemento portland optimiza la trabajabilidad en el concreto.

La adición porcentual de las cenizas como sustituto del cemento portland mejora la resistencia a la compresión del concreto.

3.4. Variables.

3.4.1. Variable independiente.

Dosificación de las cenizas de tarwi en el concreto

3.4.2. Variable dependiente.

La resistencia a la compresión y la trabajabilidad del concreto

3.4.3. Operacionalización de variables.

Tabla 13
Operacionalización de variables

Variable	Indicador	Sub indicador	Técnica
Variable independiente: Dosificación de las cenizas de tarwi	Análisis químicos	Composición de óxidos.	ASTM C618
		Trióxido de azufre.	
	Propiedades Físicas	Contenido de humedad.	
		Pérdida por calcinación.	
Cálculo del porcentaje de adición	Peso específico.	Lab. UNA	
	Materia orgánica.	Lab. UNA	
Variable dependiente: Propiedades del concreto patrón y con la adición de cenizas de residuo de tarwi	Propiedades del cemento Portland	Resistencia a compresión del mortero con diferentes porcentajes de adición.	NTP 334.051
		Peso específico.	Lab. UNA
		Materia orgánica.	Lab. UNA
		Finura del cemento.	NTP 334.006
		Grado de hidratación.	ASTM C-184
	Calidad del agua	Porcentaje de humedad.	AOAC 925.10
		Análisis químico del agua.	NTP 339.088
	Propiedades físicas de los agregados.	Análisis granulométrico AF	NTP 400.037
		Análisis granulométrico AG	NTP 400.012
		Peso Específico y absorción AF	NTP 400.021
		Peso Específico y absorción AG	NTP 400.022
		Peso Unitario o densidad	NTP 400.017
		Contenido de Humedad	NTP 339.185
		Módulo de finura	NTP 400.011
		Pasante la malla N°200	NTP 400.037
	Propiedades del concreto fresco	Trabajabilidad	ASTM C143
Temperatura		ASTM C1064	
Peso unitario		ASTM C138	
Propiedades del concreto endurecido	Resistencia a la compresión	ASTM C39	
	Tipo de falla	ASTM C684	
	Peso unitario	ASTM C684	

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Matriz de consistencia.

Tabla 14
Matriz de consistencia del proyecto

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicador
¿Cómo influye la adición de CRT como sustituto parcial del cemento portland en la trabajabilidad y la resistencia a compresión del concreto con $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$?	Evaluar la influencia de la adición de CRT como sustituto parcial del cemento portland IP en la trabajabilidad y resistencia a la compresión del concreto con $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.	La adición porcentual de las cenizas como sustituto del cemento portland IP mejora la resistencia a la compresión del concreto y optimiza la trabajabilidad.	Independiente Uso porcentual de Ceniza de Tarwi Dependiente Resistencia a la compresión del concreto y la trabajabilidad.	Composición química de la ceniza. Comportamiento del concreto.
¿Cómo son las propiedades químicas de la ceniza con respecto a las normas?	Analizar las propiedades químicas de las cenizas de residuo de tarwi.	Las propiedades químicas de las cenizas están acordes a las normas.	Independiente Cenizas. Dependiente Propiedades químicas de las cenizas.	Temperatura de calcinación Componentes químicos.
¿Cómo influye el porcentaje de cenizas de estudio en el desarrollo de la trabajabilidad del concreto?	Evaluar la trabajabilidad del concreto al adicionar las cenizas como sustituto en porcentaje del cemento portland IP.	La adición porcentual de cenizas como sustituto del cemento portland IP optimiza la trabajabilidad en el concreto	Independiente Uso porcentual de las cenizas. Dependiente Trabajabilidad.	Dosificación de cenizas. Asentamiento del concreto.
¿Cómo influye en el desarrollo de resistencia a compresión del concreto la adición porcentual de ceniza de tarwi en el concreto?	Evaluar el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto al adicionar la ceniza de tarwi como sustituto del cemento portland IP.	La adición porcentual de cenizas como sustituto del cemento portland IP mejora la resistencia a la compresión del concreto.	Independiente Uso porcentual de las cenizas. Dependiente Resistencia del concreto a compresión.	Dosificación de cenizas en estudio. Ensayo de compresión del concreto

Fuente: Elaboración propia

3.5. Diagrama de flujo de procesos.

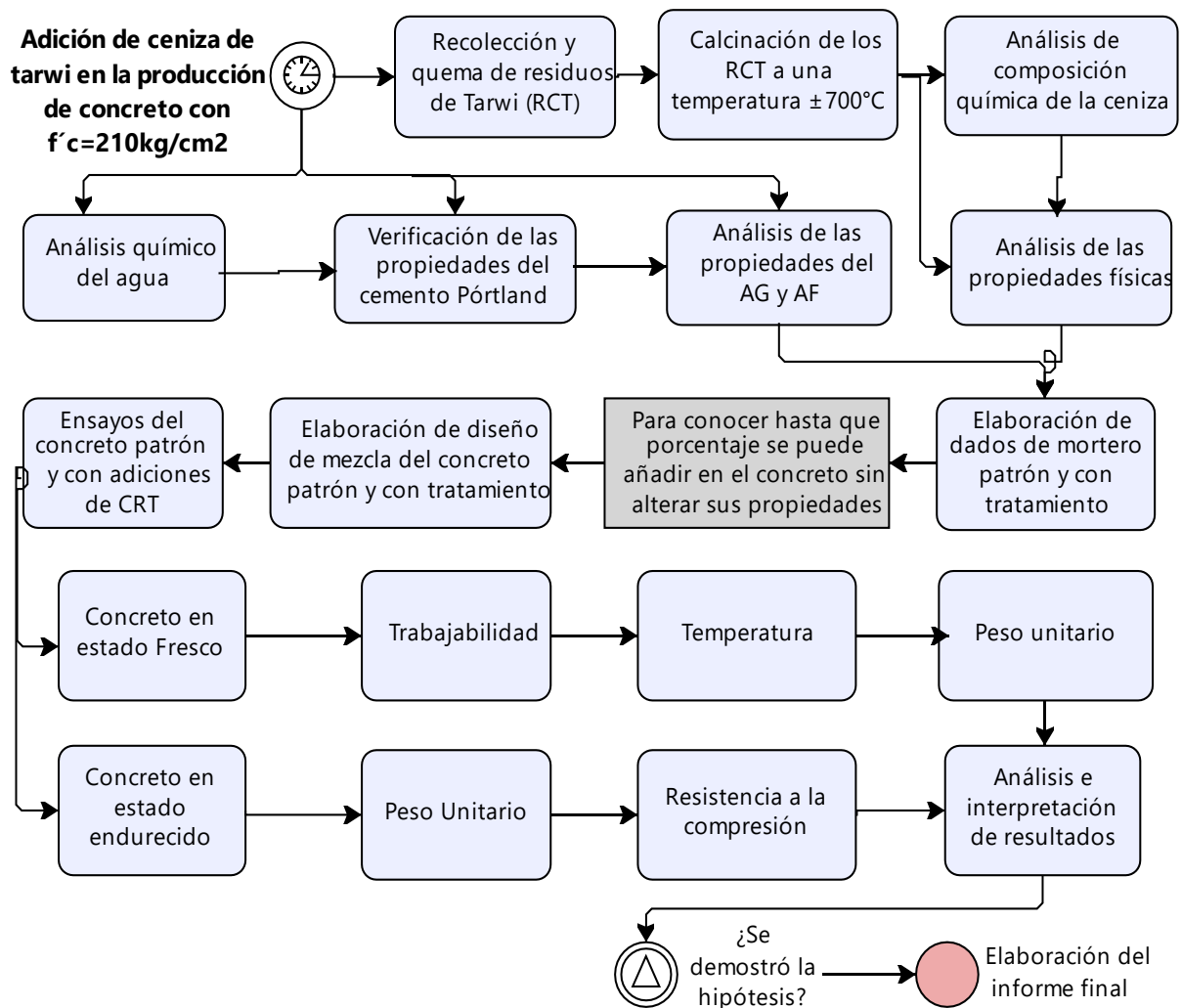


Figura 5. Diagrama de actividades.

3.6. Procedencia de los materiales a usar en la investigación

El proyecto será ejecutado en las instalaciones de la Universidad Peruana Unión FJ, la procedencia de los materiales a emplearse se detalla a continuación:

3.6.1. Cemento Portland IP.

Es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no solicitan propiedades especiales. El cemento que se empleará en la investigación será de la marca Rumi tipo IP debido a su abundante uso en la región Puno, porque Yura es la encargada de la producción y comercialización de toda la unidad de negocios de cemento, con lo que produce y distribuye la marca "Rumi" de su subsidiaria Cemento Sur S.A (Marcos, Messco,

Cabrera, & Saavedra, 2010), del cual se evaluará el grado de hidratación parcial durante el proceso de almacenamiento, el grado de finura y el porcentaje de materia orgánica con el fin de verificar si es apto o no para usarse. En caso sobrepase el 0.05% en los resultados, se descartará su uso ya que el comportamiento del concreto puede ser afectado por las condiciones en que el cemento es almacenado y por su manejo durante la entrega (Rivva, 2010). De igual manera se obtendrá el peso específico para elaborar el diseño de mezclas.

3.6.2. Agregados.

Se verificará las características de densidad, resistencia, porosidad y la distribución volumétrica de las partículas, que se acostumbra denominar granulometría. Asociadas a estas características se realizará una serie de ensayos o pruebas standard que miden sus propiedades, para compararlas con valores de referencia establecidos. Los agregados fino y grueso serán manipulados como materiales independientes, esto debido a la resistencia a compresión requerida en la presente investigación.

Para la extracción y preparación de agregado fino se seguirá las recomendaciones de la norma NTP 400.010. El material será extraído de la cantera Ilo Ilo, el cual se encuentra aprox. a 3.5 km. de la ciudad universitaria.

El agregado grueso será obtenido de la planta chancadora Surupana, ubicada en el kilómetro 25 de la carretera hacia Arequipa de la ciudad de Juliaca ya que cuenta con unas fajas que separan el material de acuerdo al tamaño de partículas y permite el control de la granulometría. Su extracción y preparación se realizará teniendo en cuenta la NTP 400.010.

Los agregados que no cumplan con las especificaciones de la norma podrán ser utilizados si un concreto de propiedades comprobables, preparados con agregados del mismo origen haya demostrado un comportamiento satisfactorio cuando ha estado sometido a condiciones similares a las que se espera (Rivva, 2014).

3.6.3. Agua para el concreto

El agua que se empleará en el diseño y curado del concreto será tomado directamente desde la red de suministro de la UPeU, deberá ser potable y/o cumplir con los requisitos de la NTP 339.088. Esto a razón de que se ha encontrado evidencia experimental que contenidos mayores que establece la norma llega a alterar la resistencia a compresión del concreto hasta en 30%.

En caso de que el agua presente una alta concentración de sulfatos, cloruros u otra sustancia que pueda alterar las propiedades del concreto en estado fresco u endurecido se evaluará la habilidad para emplearse en concreto mediante la norma ASTM C-109, fabricando morteros usando el agua dudosa y compararlos con cubos similares elaborados con agua potable. Si la resistencia a compresión a 7 y 28 días de los cubos con el agua en prueba no es menor del 90% de los cubos de control, se aceptará el agua como apta para su uso en concreto (Rivva, et al, 1998).

3.6.4. Ceniza de residuo de Tarwi:

Serán recolectadas y calcinadas por el investigador, pues a comparación de la ceniza volante, ceniza de cáscara de arroz o demás adiciones, este no se encuentra directamente a la venta.

Para ello se realizará el viaje al distrito de Yunguyo, Provincia de Yunguyo; lugar de la región Puno donde abunda más este producto (MINAGRI, 2018). La quema se realizará in situ y a la intemperie con el fin de garantizar la cocción uniforme y el rápido enfriamiento. Posteriormente será recolectado en bolsas herméticas evitando la contaminación con sustancias extrañas y el fácil transporte del mismo. Luego serán calcinadas a una temperatura controlada para su posterior análisis químico.

La calcinación de la ceniza de tarwi será realizado en un horno donde la temperatura supere los 700°C, de esta forma se obtendrá la uniformidad, finura y eliminación de

sustancias orgánicas al igual que presenta un cemento portland IP-I. Esta decisión es respaldada por los antecedentes citados en esta investigación donde recomiendan la calcinación de los residuos agrícolas a una temperatura promedio de $\pm 800^{\circ}\text{C}$ para la formación de fases amorfas y la generación de óxidos necesarios para incrementar la resistencia a compresión del concreto.

De igual manera ECOsur (s.f) manifiesta que, la calcinación de cenizas a temperaturas de $400\text{-}760^{\circ}\text{C}$ garantiza que la sílice se forma en fases amorfas con mucha reactividad.

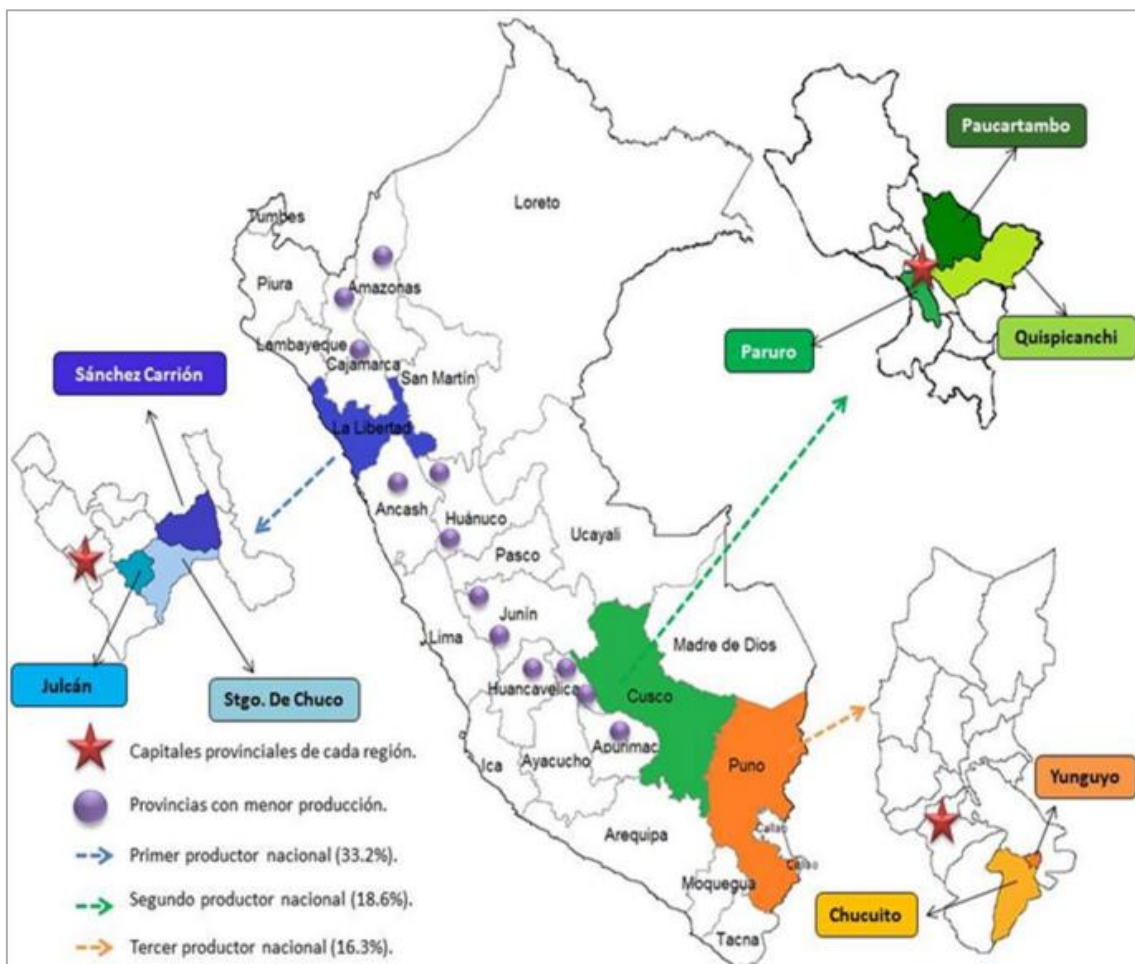


Figura 6. Principales Zonas Productoras de Tarwi en el Perú.

Adaptado de “Producción agrícola 2000-2012”, por el MINAGRI 2007, 2011, 2012a, y 2013a, de “Revalorización de un cultivo subutilizado: chocho o Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet)

3.7. Determinación de las propiedades de los materiales a usar

3.7.1. Cemento Portland IP-I.

A continuación, se detalla los parámetros analizados del cemento Rumi en el laboratorio de Tecnología de concreto y Materiales de la UPeU-FJ (Ver Anexo A: Ensayo de la calidad del material cementante)

El comportamiento de un cemento en el concreto puede ser afectado por las condiciones en que el cemento es almacenado, es por tal razón que se analizó de una manera práctica la hidratación parcial del cemento dando un valor de 0.00% de hidratación. De igual manera se analizó el porcentaje de finura y porcentaje materia orgánica, obteniendo resultados de 0.03% y 0.05% respectivamente su importancia radica en que esta nos dice que tanta impureza posee este ya que a medida que el cemento tiene más impurezas, menor será la resistencia que brindara en el concreto. El porcentaje admitido en el cemento no debería sobrepasar el 0.5%.

Además, se analizó el porcentaje de humedad y su peso específico obteniendo un valor de 0.12% y 2850 kg/m³ respectivamente, en las instalaciones del laboratorio de control y calidad de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA-Puno) (Ver Anexo A: Ensayo de la calidad del cemento).

Por lo tanto, los ensayos realizados al cemento Pórtland IP indican que es apto y se recomienda para la elaboración de concreto, siempre cuando sean utilizados en proporciones adecuadas y en las condiciones favorables las características de la presente investigación

3.7.2. Agregados.

En la tabla 15 se muestra los resultados de las propiedades físicas de los agregados fino y grueso realizados en el laboratorio de Tecnología de concreto y Materiales de la UPeU-FJ (Ver Anexo B: Ensayo de los agregados)

Tabla 15
Resumen de las propiedades de los agregados

Descripción	Unid.	Agregado fino	Agregado grueso
Cantera		Ilo Ilo	Surupana

Tamaño Máximo Nominal		N°4	3/4"
Peso Específico de la masa	Kg/m ³	2528	2567
Peso Unitario Seco Suelto	Kg/m ³	1600	1462
Peso Unitario Seco Compactado	Kg/m ³	1762	1685
Contenido de Humedad	%	5.85	1.00
Absorción	%	4.46	3.25
Pasante tamiz N°200	%	2.90	0.82
Módulo de fineza		3.01

La granulometría del agregado grueso y fino se detallan en el anexo D, ambos están dentro de los parámetros que recomienda la norma, estos influyen en las demás propiedades del concreto, así como en los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, la economía y la durabilidad.

El material que pasa el tamiz N°200 en el agregado fino es 2.90%, la norma NTP 400.018 indica de 0 a 3%, por lo tanto, se encuentra entre los parámetros establecidos por la norma. De no cumplir incrementa los requerimientos de agua en la mezcla y afectando la resistencia del concreto. En el agregado grueso es 0.82%, la misma norma indica valores de 0 a 1%, por tanto, está dentro de los parámetros establecidos por la norma. De superar estos parámetros no se logra una correcta adherencia entre la pasta y el agregado.

El módulo de fineza del agregado fino es de 3.01 estando dentro del rango de 2,30 a 3.10 que indica la NTP 400.011. Si el módulo de fineza es mayor que 3.1 puede ocurrir que las muestras sean poca trabajables, faltando cohesión entre sus componentes. En el caso de ser inferiores a 2.3 puede ocurrir concretos que sean pastosos y que haya mayores consumos de cemento y agua para su resistencia determinada, y también una mayor probabilidad que ocurra agrietamientos de tipo contracción por secado.

El peso unitario suelto del agregado fino es de 1600, la NTP 400.017 indica de 1400 - 1600, por tanto, el valor está entre los parámetros de un agregado de peso normal.

El peso unitario compactado del agregado fino es de 1762 la NTP 400.017 indica de 1500 - 1700, por lo tanto, este valor supera los parámetros de un agregado de peso normal.

El peso unitario suelto del agregado grueso es de 1462 la NTP 400.017 indica de 1500 – 1600, por tanto, cumple la norma. Indicando que este valor está dentro de los parámetros de un agregado de peso normal, llegando a ser aceptable. El peso unitario compactado del agregado grueso es de 1685 la NTP 400.017 indica de 1600 - 1900, por lo tanto, este valor está dentro de los parámetros de un agregado de peso normal, llegando a ser aceptable.

El peso específico de masa del agregado fino es de 2.53 kg/m³ y del agregado grueso es 2.57kg/m³ la NTP 400.017 indica de 2.50 – 2.75, por lo tanto, ambos valores están dentro de los parámetros de un agregado de peso normal, llegando a ser aceptable

Los ensayos realizados a los agregados indican que es apto y se recomienda para la elaboración de concreto, siempre cuando sean utilizados en proporciones adecuadas y en las condiciones favorables las características del proyecto.

3.7.3. Agua.

El agua es el elemento indispensable para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, para su estudio se recurrió a las instalaciones del laboratorio de agua y suelos de la UNA-Puno, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 16

Características físico-químicas del agua para el uso en la investigación

Descripción	Unid.	Resultados del análisis	Parámetro Máximo	
Sólidos en suspensión	ppm	0.01	5000	[Cumple]
Materia Orgánica	ppm	0.05	3	[Cumple]
Alcalinidad (NaHCO ₃)	ppm	136.22	1000	[Cumple]
Sulfatos (ion SO ₄)	ppm	40.00	600	[Cumple]
Cloruros (ion Cl ⁻)	ppm	13.52	1000	[Cumple]
pH	ppm	7.40	5 a 8	[Cumple]

Nota. Adaptado de Certificado de análisis de laboratorio (Anexo C), este análisis fue realizado el 20AGO2019, antes de la elaboración y curado de las muestras. Elaboración propia.

Se concluye que, el agua es apto para la elaboración y curado del concreto, garantizando de esta forma el correcto desarrollo de sus propiedades.

3.7.4. Ceniza de residuo de tarwi

El tipo de ceniza utilizada en la investigación corresponde a la ceniza clase N, ya que se sometió a una calcinación de 750°C por cuatro horas en el laboratorio RHlab S.A.C, esto con el objetivo de que la sílice presente en las cenizas se forme en fases amorfas de mucha reactividad, además de garantizar la uniformidad de cocción, finura y eliminación de materia orgánica en la ceniza.

Con el fin de garantizar la uniformidad de calcinación se realizó la molienda y el cribado por la malla N°200, de esta forma el grado de finura también se asemejaba al cemento portland.

Las características de peso específico, materia orgánica y porcentaje de humedad se realizaron en el laboratorio de control y calidad de la UNA-Puno, obteniendo 930 kg/m³ de peso específico, esto quiere decir que existe la posibilidad de obtener concretos livianos.

El porcentaje de materia orgánica presente en la ceniza es 0.015%, resultando ser mucho menor que en el de cemento portland IP y el porcentaje de humedad es de 0.07%, los cuales indican la buena calidad del material.

Para conocer su composición química se tomaron muestras representativas y se realizaron estudios en el Laboratorio Analíticos del Sur E.I.R.L. obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 17
Análisis químico de la ceniza de residuo de tarwi

Óxidos	SO ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	Na ₂ O	W	LOI
Contenido (%)	1.69	6.72	23.97	8.25	3.30	1.59	0.34	9.68	0.02	3.89

Fuente: Certificado de análisis de laboratorio (Anexo D)

La norma ASTM C618 indica que;

La suma de los contenidos de los compuestos de SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃ debe ser como mínimo 70%, de la tabla anterior se observa que la suma de estos óxidos es de 10.40%, indicándonos que no cumple este parámetro, es decir, presenta un contenido de sílice muy bajo, como consecuencia, no incrementará la resistencia a compresión del concreto.

El contenido de SO₃ no debe sobrepasar el 4%, los resultados del análisis indica que es de 1.69%, por lo tanto, si cumple.

El contenido de humedad como máximo debe ser el 3%, los resultados indican que tiene un contenido de 0.02% de humedad, por lo que también cumple con este parámetro.

Finalmente, para cenizas de clase N, la pérdida de calcinación como máximo es de 10%, los resultados de la ceniza de residuo de tarwi indican una pérdida (LOI) de 3.89, así que, si cumple con este parámetro.

Por lo tanto, la ceniza de residuo de tarwi no cumple con lo recomendado de la norma ASTM C618-03, no obstante, tal como se ha visto en el acápite anterior Rivva (2010) sostiene que estos valores de óxidos han recibido críticas y las cenizas deberían de ser juzgadas por su cantidad de cal, además se ha visto que es posible acelerar e inclusive incrementar la resistencia del concreto haciendo uso de la temperatura de curado, es por tal motivo que se continuara con la investigación; se estudiada los posibles efectos y servirá para corroborar lo estipulado en la norma ASTM C618-03.

Para poder verificar los posibles efectos que ocasione la baja presencia de los óxidos plastificantes se realizará una comparación de los óxidos, de los componentes que generan y de los índices de calidad del cemento portland IP.

Tabla 18
Comparación de óxidos presente en el cemento y la ceniza de tarwi

Óxidos	Unid.	Promedio del Porcentaje Típico	
		Cemento portland IP	Ceniza de Residuo de Tarwi
CaO	%	62.50	23.97
SiO ₂	%	21.00	6.72
Al ₂ O ₃	%	6.00	3.30
Fe ₂ O ₃	%	3.50	1.59
SO ₃	%	1.30	1.69
MgO	%	3.00	8.25
Mn ₂ O ₃	%	1.50	0.34
K ₂ O	%	0.50	21.36
LOI	%	1.75	3.89
Na ₂ O	%	0.50	9.68

Los valores que se muestran en la tabla 18 del cemento portland IP son resultantes del promedio del porcentaje típico de este y así mismo, en el lado derecho se presentan los resultados obtenidos a partir de la muestra analizada en los laboratorios.

Conociendo los óxidos presentes en cada tipo de material cementante se puede predecir el comportamiento de este en reacción con el agua para ello se emplearán las ecuaciones básicas para determinar el módulo hidráulico (MH), módulo de silicatos (MS) y el índice de cementación (IC). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 19

Se ha establecido para el módulo hidráulico un valor óptimo de 2 o ligeramente superior.

Además, se considera que cuando el valor de MH es inferior a 1.8 el aglomerante ha de tener resistencias muy bajas y cuando es mayor de 2.2, el material cementante, una vez puesto en obra, sufrirá a los pocos días o semanas un fenómeno de agrietamiento.

Tabla 19
Módulos fundentes del cemento y la ceniza de tarwi

Descripción	Unid	Promedio del Porcentaje Típico Cemento portland IP	Ceniza de Residuo de Tarwi
MH	%	2.98	3.57
MS	%	3.50	2.04
IC	%	0.70	0.34

En este caso los resultados obtenidos del cemento portland sugieren un valor de buena resistencia, pero sobrepasan el establecido de 2.2 exponiéndolo a condiciones de agrietamiento. Por otro lado, la ceniza de tarwi sobrepasa en gran manera este parámetro acercándose inclusive a 4% de MH, esto se debe a un contenido excesivo de CaO en la ceniza en relación a las cantidades presentes de óxidos ácidos, quedando en la calcinación un porcentaje demasiado elevado de CaO libre sin combinar. Como consecuencia hace crecer las tensiones de expansión internas y es posible que se manifieste grietas centrifugas.

Con respecto al MS, la teoría nos indica que cuanto más alto sea su valor, tendrá mayor potencial de resistencia a cualquier plazo de tiempo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que cuando supera el valor de 3.5 se pueden producir eventualmente características expansivas y si es menor de 2.0 las resistencias son bajas. Establecido estos parámetros podemos ver que el cemento portland IP está dentro de los rangos permisibles que garantiza un excelente desarrollo de resistencia. Los resultados de la ceniza de tarwi también está dentro de los rangos establecidos, pues, indican un desarrollo de la resistencia normal, aunque no como el del cemento portland, pero en este caso, no presentará even {wtos expansivos, una razón más por la cual es necesario verificar su comportamiento en distintos porcentajes de adiciones.

El índice de cementación (IC) está expresado en tantos por ciento y se considera que su valor ideal es de 1, en este caso el más próximo a este parámetro es del cemento portland.

3.8. Verificación de los porcentajes de adición de ceniza de tarwi

Para determinar el contenido de cenizas el ACI, anota: “los métodos para proporcionar y evaluar las mezclas de concreto que contienen cenizas pueden basarse en mezclas de prueba usando un rango de proporciones de ingredientes y evaluando sus efectos en la resistencia, los requerimientos de agua, y otras propiedades para determinar la cantidad optima de cenizas”. En tal sentido se plantea el uso de este método para aproximarnos a los porcentajes correctos de adición de ceniza de residuo de tarwi.

El procedimiento de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión se encuentra en la norma NTP 334.051 y se determina en moldes de 50mm de lado que se elabora con 1 parte de cemento; 2.75 partes de arena normalizada y con $a/c = 0.485$. Para los cementos Pórtland la norma ASTM C150 señala una resistencia a la compresión de 245 kg/cm² a los 28 días.

Es necesario señalar que, se ha controlado el grado de hidratación de los materiales cementantes resultando ser óptimos para su uso, se han sometido a las mismas condiciones de curado y se ha empleado la misma relación agua-material cementante, por lo tanto, la resistencia a compresión del mortero en cualquier edad está únicamente en función del porcentaje de adición de ceniza de tarwi resultando, tal como se aprecia en la tabla 20, para las adiciones mayores a 15% la resistencia disminuye hasta un 50% a los 28 días.

Tabla 20
Resultados de la adición de ceniza de tarwi en el mortero

Grupo	Tratamiento (%)		Promedio de resistencia a compresión del mortero (%)		
	CRT	Cemento portland IP			Decisión
			7 días	28 días	
M-Control	0%	100%	100	96	
M-CRT5%	5%	95%	91	88	[Verificar]
M-CRT10%	10%	90%	79	70	[Verificar]
M-CRT15%	15%	85%	71	61	[Verificar]
M-CRT20%	20%	80%	43	50	[No recomendable]
M-CRT25%	25%	75%	36	49	[No recomendable]

Es por tal motivo que se ensayará con adiciones menores a 15%, sabiendo que la resistencia a compresión del mortero no puede ser usada para el pronóstico con un alto grado de precisión, debido a las muchas variables en las características en los agregados, mezclado del concreto, procedimientos y las condiciones del medio ambiente en el lugar donde se elaborada las muestras de concreto.

Para poder verificar su comportamiento en el concreto [se deberán mejorar los procedimientos para la protección y curado del concreto ya que se ha visto que las muestras con adición de CRT son inferiores al 90% de las muestras de control], esta decisión está respaldada por las recomendaciones de Rivva, 2010, pág. 199.

3.9. Verificación del tiempo de fraguado inicial

El procedimiento está descrito en la norma NTP 334.006. El tiempo de fraguado puede estar influido principalmente por el contenido de SO₃, el contenido de sus componentes, el grado de finura y la temperatura (Rivva, 2004). En este caso se ha visto que a medida se añade cenizas de residuo de tarwi, se requiere más cantidad de agua para lograr una consistencia ideal o plástica, además se ha visto que se reduce el tiempo de fraguado inicial a medida que se añade más cenizas de tarwi. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 21
Determinación del tiempo de fraguado inicial

Grupo	Temperatura ambiente (°C)	Relación a/c (%)	Tiempo de fraguado inicial (min)
I – CP	22.5	33.85	183.75
II - CRT5%	20.5	38.46	126.88
III - CRT10%	20.8	42.31	103.50

No se determinó el tiempo de fraguado final porque su determinación es tan solo convencional y secuencial y no corresponde a un fenómeno particular como el principio del fraguado (Rivva, 2004)

3.10. Diseño de mezcla del concreto patrón

El diseño de mezclas usado en la presente investigación, es el método del ACI-211, ya que este método trabaja en función a la resistencia promedio, el tamaño máximo del agregado, la selección de la relación agua-cemento por resistencia y durabilidad entre otras propiedades.

A partir de los resultados obtenidos de las propiedades físicas de los agregados y requerimientos de diseño, el diseño de mezcla requiere una secuencia de pasos para ajustar las características de los materiales disponibles para la mezcla adecuada para determinado trabajo. El comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezcla

aplicable a concretos de peso normal, la secuencia de diseño para la investigación se detalla en el anexo D: Diseño de Mezcla.

3.10.1. Método de peso equivalente de cenizas

El Instituto Americano del Concreto, adopta el uso de cenizas volantes en sus recomendaciones para dosificar mezclas de Concreto (ACI 211.1)

Como regla general el ACI recomienda tratar las cenizas solo como un sustituto parcial del cemento, por lo que en el proceso de dosificación debe tenerse en cuenta la estimación de la relación agua-cemento (que ahora será agua – material cementante y se notará como $a/c+crt$), en la determinación del contenido de cemento (c), y por supuesto, en la determinación del contenido de cenizas (crt)

El contenido de cenizas se especifica como un porcentaje en masa (FW) o en volumen (FV) del total de material cementante. En relación a ello, Calleja (1982) recomienda el análisis por peso y no en volumen. Por lo tanto, se tiene;

$$\frac{a}{c + crt} = \frac{PE_c * \frac{a}{c}}{\frac{1}{a/c} + 0.1846 * Fw^2}$$

Donde;

Fw : Contenido de cenizas (% en peso del cemento)

a/c : Relación agua-cemento en peso para el concreto sin adiciones.

$a/(c + crt)$: Relación agua-material cementante en peso, recomendada.

Aunque uno de los efectos de las cenizas en el concreto en estado fresco, anotado por varios autores, consiste en la reducción de las necesidades de agua para producir una trabajabilidad dada, se ha encontrado que la variación no es significativa, por lo que la estimación del contenido inicial de agua (a) se mantiene igual a lo señalado en el diseño del concreto patrón (Giraldo, 2006)

3.10.2. Aplicación del método.

El proceso de diseño de mezclas por este método se detalla en el Anexo D, donde se sigue el procedimiento indicado en ACI-211, además es necesario señalar que se ha hecho una modificación a la relación a/c+crt, ya que mientras mayor sea esta relación afecta negativamente a la resistencia a la compresión del concreto. Enseguida se muestra el resumen de las proporciones halladas:

Tabla 22
Resumen de los materiales de valores corregidos - por m³ de diseño

Descripción	Contenido (kg/m³)			
Cantidad de cemento (%)	100%	95%	90%	85%
Cantidad de CRT (%)	0%	5%	10%	15%
Relación a/(c+crt)	0.53	0.53	0.53	0.53
Cemento	386.79	367.45	348.11	328.77
Ceniza de residuo de tarwi	0.00	19.34	38.68	58.02
Agregado fino	742.14	706.66	671.18	635.70
Agregado grueso	957.38	957.38	957.38	957.38
Agua	216.61	216.61	216.61	216.61
Relación a/(c+crt) efectiva	0.56	0.56	0.56	0.56
Material cementante	386.79	386.79	386.79	386.79

3.11. Equipos e instrumentos

3.11.1. Aguja de Vicat

Consistente en un soporte, un vástago móvil que pesa 300 g; uno de sus extremos de 10 mm de diámetro y 50 mm de longitud es de sondaje; el otro extremo tiene una aguja de 1 mm de diámetro y 50 mm de longitud. El vástago debe ser reversible y debe ser capaz de sostenerse en la posición deseada por medio de un tornillo y poseer un indicador ajustable que se mueve sobre la escala graduada en milímetros, rígidamente unida al soporte. Las secciones terminales de la aguja y de la sonda deben ser planas y perpendiculares al eje del vástago. El molde donde se coloca la pasta debe ser de forma tronco-cónica con un diámetro interior 60 mm en la parte superior y 70 mm en la base mayor, que debe reposar sobre una

placa de vidrio (H) de 100 mm x 100 mm x 0,5 mm. El molde debe ser de material no absorbente y resistente física y químicamente al ataque de las pastas de cemento.

3.11.2. Cono de Abrams

Debe ser metálico, inatacable por el concreto, con espesor de lámina no inferior a 1,14 mm (0,045"). Su forma interior debe ser la superficie lateral de un tronco de cono de 203 ± 2 mm ($8" \pm 1/8"$) de diámetro en la base mayor, 102 ± 2 mm ($4" \pm 1/8"$) de diámetro en la base menor y 305 ± 2 mm ($12" \pm 1/8"$) de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. El molde debe estar provisto de agarraderas y de dispositivos para sujetarlo con los pies. La costura de la lámina debe ser esencialmente. El interior del molde debe estar libre de abolladuras, ser liso y sin protuberancias.

3.11.3. Mezcladora.

La mezcladora tiene por finalidad cubrir la superficie de los agregados con la pasta de cemento, produciendo una masa homogénea. La mezcladora utilizada fue del modelo 11P3 de capacidad de 370 lts y una potencia de 13HP en la cual se realizó 30 probetas por vaciado.

3.11.4. Termómetros digitales.

El termohigrómetro digital permitirá determinar la temperatura ambiente de manera exacta, así como también la temperatura del concreto y para controlar la temperatura del agua de curado. Para la investigación se usó un termohigrómetro $-50^{\circ}\text{C} +70^{\circ}\text{C}$ digital de la marca BOECO con exactitud de Temperatura: $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ y el termómetro de marca Germany con exactitud de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

3.11.5. Moldes para rotura de especímenes.

- *Para elaborar cubos de mortero.*

Los moldes empleados para la fabricación de morteros fueron de un material rígido no absorbente de humedad, de 3 compartimentos. Estos elementos están dotados de dispositivos que aseguran una perfecta y rígida unión; están fabricados

de metal duro, no atacable por las mezclas de cemento y no producen ensanchamientos o pandeos en los especímenes. Sus dimensiones son de 5 cm por cada lado.

- *Para concreto.*

Para la elaboración de los especímenes de concreto se usó la metodología establecida por el NTP 339.183.

Los moldes utilizados para la elaboración de las probetas de concreto fueron de un material rígido no absorbente de humedad y con una dimensión de 4” de diámetro y 8” de altura.

3.11.6. Máquina automática de compresión.

La máquina de compresión tendrá como única función determinar la resistencia a compresión de los especímenes de concreto endurecido confeccionado con distintos porcentajes de adición de ceniza de residuo de tarwi y del concreto de control. La máquina de compresión utilizada fue de laboratorio de tecnología de concreto y materiales de la UPeU-FJ.

3.12. Procedimiento de la investigación

3.12.1. Dosificación de los materiales.

Para su proporción se midieron antes de iniciar cada tanda mezclado. Las tandas se dosificaron en peso para evitar errores debido a cambios volumétricos o variaciones propias. Por otra parte, es útil señalar que durante toda la fase de dosificación de materiales y mezclado del concreto se utilizó siempre la misma balanza, con aproximación de 0.1 gr para evitar errores.

3.12.2. Mezclado y colocado de concreto a los moldes cilíndricos.

Antes de realizar el mezclado se humedeció la mezcladora y todas las herramientas que se utilizaron para manipular el concreto con el fin de evitar una posible pérdida de humedad

de la mezcla. El proceso de carga de materiales a la mezcladora se seguido siempre el mismo procedimiento para cada mezcla que se mencionan a continuación:

- Colocar los moldes en lugar rígido y sin vibraciones.
- Los moldes deben estar completamente limpios en su interior y cubierto de petróleo para evitar que el concreto se adhiera al molde.
- Realizar el llenado del concreto, tomando en cuenta que los moldes son de 4"x 8" y la trabajabilidad del concreto es baja. Por lo tanto, se deberá colocar el concreto en un número de 2 capas. Cuando se llena la primera capa de todos los moldes, se apisona 25 veces distribuidos uniformemente en toda su sección transversal y se golpea 10 a 15 veces con el martillo de goma alrededor de su perímetro de todos los moldes, todo esto establecido según NTP 339.033-2009. Una vez finalizado se procede a colocar la segunda capa de concreto con el mismo procedimiento.
- Luego de haber transcurrido un tiempo se procede a nivelar la parte superior de todos los especímenes.
- Pasada las 24hr se desmoldan las muestras, y se procede a curar de acuerdo a las recomendaciones de la norma.
- Antes de realizar el curado y protección se procede a identificar cada muestra con un código y especificaciones.

3.12.3. Curado de especímenes.

Para el curado de especímenes de concreto, se realizó conforme a las especificaciones de la norma NTP 339.033.

Con respecto a ello es importante señalar que, a mayor tiempo de curado, en mayor o menor grado, mayor será la resistencia alcanzada por el concreto. Si el concreto es moldeado y mantenido a una temperatura constante, mientras más alta sea ésta, las resistencias serán mayores hasta edades cercanas a los 28 días, es decir que, si la temperatura de curado durante

los primeros días es más alta que la temperatura inicial de moldeo, la resistencia resultante a los 28 días será mayor y viceversa (Rivera, 1980).

Debido a que la resistencia del concreto depende de la edad y de la temperatura, se puede decir que la resistencia está en función del tiempo y la temperatura y a esta relación se llama madurez, el rango de temperatura de curado se recomienda considerarlo por encima de 0°C hasta 50°C (Rivera, 1980).

Aplicaremos la ecuación de la madurez (descrito en el acápite teórico) para todos los especímenes con el fin de acelerar y/o incrementar la resistencia, ya que se ha visto que la resistencia en especímenes de mortero es muy baja.

Tabla 23
Control de la temperatura del agua de curado

Descripción	Unid.	Concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$		
		7	14	28
Edad	Días	7	14	28
Desarrollo de la resistencia	%	70	85	100
Resistencia ideal	kg/cm^2	147	178.5	210
Temperatura ideal del agua	°C	>11	>11	

Los especímenes fueron sumergidos en su totalidad con agua apto para uso en concreto en las pozas de curados del laboratorio de Tecnología de concreto, con temperaturas ambientales promedio mínimo y máximo de 13°C y 27°C con el fin de mantener constante la temperatura se protegió la poza de curado con poliestireno expandido de 1 1/2" 1.20x2.40 todos los especímenes de concreto durante los primeros 14 días.

3.13. Ensayo al concreto fresco

Una vez realizado el mezclado del concreto y previamente al vaciado a los moldes, se realizó los siguientes ensayos.

3.13.1. Medición del asentamiento (slump) del concreto fresco

De acuerdo con la norma NTP 339.036-1996 y la norma ASTM C-143. El ensayo consiste en consolidar una muestra de concreto fresco con la ayuda del equipo denominado Cono de

Abrams que es un molde tronco-cónico, midiendo el asiento de la muestra luego del desmoldado. Los resultados obtenidos con distintas adiciones de ceniza de residuo de tarwi (CRT) se detallan a continuación:

Tabla 24
Resultado de las lecturas de asentamiento

Grupo	N° de ensayo	Lectura de asentamiento (slump)			Consistencia
		(cm)	(Pulgadas)	Promedio	
I - CP	1	7.90 cm	3.11"	3.11"	Trabajable
	2	8.00 cm	3.15"		
	3	7.80 cm	3.07"		
II - CRT5%	1	7.70 cm	3.03"	3.01"	Trabajable
	2	7.60 cm	2.99"		
	3	7.60 cm	2.99"		
III - CRT10%	1	7.10 cm	2.80"	2.78"	Poco trabajable
	2	7.00 cm	2.76"		
	3	7.10 cm	2.80"		
IV - CRT15%	1	5.70 cm	2.24"	2.20"	Poco trabajable
	2	5.60 cm	2.20"		
	3	5.50 cm	2.17"		

3.13.2. Temperatura del concreto.

La norma NTP 339.183-2003 y ASTM C-1064 describen el método del ensayo para medir la temperatura del concreto fresco, y debe de estar dentro de los límites aceptables, entre 11°C Y 36°C.

Tabla 25
Resultados de la temperatura del concreto fresco

Grupo	N° de lectura	Tiempo (min)	Temperatura ambiente (°C)	T del concreto (°C)	T promedio del concreto (°C)
I - CP	1	02:30 min.	16.1	15.8	15.8
	2	05:00 min.	15.9	15.8	
II - CRT5%	1	02:30 min.	15.8	16.2	16.2
	2	05:00 min.	16.0	16.2	
III - CRT10%	1	02:30 min.	13.2	17.9	17.85
	2	05:00 min.	13.4	17.8	
IV - CRT15%	1	02:30 min.	15.3	18.3	18.25
	2	05:00 min.	15.3	18.2	

3.13.3. Peso Unitario del concreto

El peso unitario del concreto en estado fresco normalmente está entre 2240kg/m³ a 2460kg/m³, esta actividad se realizó de acuerdo con la norma ASTM C 94.

Tabla 26
Resultados del peso unitario del concreto fresco

Grupo	Tratamiento (%)		Masa Promedio (kg)	Peso Unitario (kg/m ³)
	CRT	Cemento		
I – CP	0%	100%	6193.00	2260.98
II - CRT5%	5%	95%	5825.33	2126.75
III - CRT10%	10%	90%	5454.00	1991.18
IV - CRT15%	15%	85%	4884.00	1783.08

3.14. Ensayo al concreto endurecido

Se realizó el ensayo de compresión de concreto conforme a la norma NTP 339.034- 2018, método normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. Para obtener los resultados de la resistencia a la compresión las probetas fueron ensayadas a los 7,14 y 28 días. Los ensayos a compresión de los especímenes de concreto fueron realizados en el laboratorio Materiales y Tecnología de Concreto de E.P de Ingeniera Civil de la Universidad Peruana Unión Filial Juliaca y se realizó de acuerdo al siguiente procedimiento:

La noche anterior al día del ensayo, las probetas fueron retiradas de las pozas de curado y secado al aire libre, para posteriormente someterlo al ensayo de compresión.

El diámetro del espécimen de concreto se midió con vernier y se usó el promedio de tres diámetros medidos en ángulo recto, este promedio de diámetro será usado para poder calcular el área de la sección de los especímenes de concreto.

La superficie superior e inferior de las probetas de concreto, deberá estar sin porosidades, para dicho fin se refrendó las briquetas y se utilizó almohadillas de neopreno de 4” (10.2 cm).

Se colocó los especímenes de concreto en la plataforma de la máquina de ensayo y aplicar la carga sobre la muestra. El resultado de estos ensayos nos permitirá analizar en qué medida aumenta o disminuye la resistencia a compresión de los especímenes de concreto añadiendo distintos porcentajes de ceniza de residuo de tarwi.

3.14.1. Resultados del ensayo de resistencia a compresión del I grupo.

El primer grupo (CP), conocido también como concreto patrón, no presenta adición de ceniza de residuo de tarwi. En las siguientes tablas se muestran los resultados de la resistencia a compresión de los especímenes de concreto ensayadas a los 7,14 y 28 día

Tabla 27

Resultados de la resistencia a compresión del concreto patrón a los 7 días

Edad (días)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (σ) (kg/cm ²)	Tipo de falla	% de σ a lograr	% σ obtenido	% Aumento/ Descenso	% Promedio Resistencia
7	78.02	15428.9	197.76	2	70	94.17	+24.17	
7	78.54	13459.5	171.37	3	70	81.61	+11.61	
7	78.54	13890.7	176.86	2	70	84.22	+14.22	
7	78.02	15370.5	197.01	3	70	93.82	+23.82	88.38
7	78.02	14700.4	188.43	3	70	89.73	+19.73	
7	78.54	15100.9	192.27	3	70	91.56	+21.56	
7	78.54	13780.7	175.46	2	70	83.55	+13.55	

Tabla 28

Resultados de la resistencia a compresión del concreto patrón a los 14 días

Edad (días)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (σ) (kg/cm ²)	Tipo de falla	% de σ a lograr	% σ obtenido	% Aumento/ Descenso	% Promedio Resistencia
14	78.02	16975.3	217.58	3	85	103.61	+18.61	
14	78.54	18792.1	239.27	4	85	113.94	+28.94	
14	78.02	17018.8	218.14	3	85	103.88	+18.88	107.54
14	78.54	19336.7	246.20	3	85	117.24	+32.24	

14	78.02	16977.4	217.61	3	85	103.62	+18.62
14	78.54	16904.4	215.23	3	85	102.49	+17.49
14	78.54	17814.3	226.82	3	85	108.01	+23.01

Tabla 29

Resultados de la resistencia a compresión del concreto patrón a los 28 días

Edad (días)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (σ) (kg/cm ²)	Tipo de falla	% de σ a lograr	% σ obtenido	% Aumento/Descenso	% Promedio Resistencia
28	78.02	20382.6	261.26	4	100	124.41	+24.41	
28	78.02	20550.6	263.41	3	100	125.43	+25.43	
28	78.54	22764.8	289.85	2	100	138.02	+38.02	
28	78.02	20512.7	262.93	3	100	125.20	+25.20	130.27
28	78.54	21511.6	273.89	3	100	130.43	+30.43	
28	78.54	20955.8	266.82	4	100	127.06	+27.06	
28	78.54	23312.4	296.82	2	100	141.34	+41.34	

3.14.2. Resultados del ensayo de resistencia a compresión del II grupo.

El segundo grupo (CRT5%), concreto confeccionado con adición de 5% de ceniza de residuo de tarwi. En las siguientes tablas se muestran los resultados de la resistencia a compresión de los especímenes de concreto ensayadas a los 7,14 y 28 días

Tabla 30

Resultados de la resistencia a compresión del concreto con adición de 5% de ceniza de residuo de tarwi a los 7 días

Edad (días)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (σ) (kg/cm ²)	Tipo de falla	% de σ a lograr	% σ obtenido	% Aumento/Descenso	% Promedio Resistencia
7	78.02	14111.6	180.88	2	70	86.13	+16.13	
7	78.02	13249.2	169.82	3	70	80.87	+10.87	
7	78.02	12780.5	163.82	2	70	78.01	+8.01	
7	77.50	12805.6	165.24	2	70	78.69	+8.69	81.62
7	77.50	13575.9	175.18	3	70	83.42	+13.42	
7	78.02	15071.3	193.18	2	70	91.99	+21.99	
7	77.50	11757.4	151.72	2	70	72.25	+2.25	

Tabla 31

Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 5% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 14 días

Edad (días)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (σ) (kg/cm ²)	Tipo de falla	% de σ a lograr	% σ obtenido	% Aumento/ Descenso	% Promedio Resistencia
14	78.02	14801.1	189.72	3	85	90.34	+5.34	
14	78.54	16059.7	204.48	3	85	97.37	+12.37	
14	78.02	15233.2	195.25	3	85	92.98	+7.98	
14	78.02	15199.7	194.83	3	85	92.77	+7.77	94.91
14	78.54	17601.7	224.11	3	85	106.72	+21.72	
14	78.54	14632.1	186.30	2	85	88.72	+3.72	
14	78.54	15743.8	200.46	4	85	95.46	+10.46	

Tabla 32

Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 5% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 28 días

Edad (días)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (σ) (kg/cm ²)	Tipo de falla	% de σ a lograr	% σ obtenido	% Aumento/ Descenso	% Promedio Resistencia
28	78.54	19670.4	250.45	2	100	119.26	+19.26	
28	78.02	17490.5	224.19	3	100	106.76	+6.76	
28	78.54	17622.2	224.37	2	100	106.84	+6.84	
28	78.54	18964.5	241.46	2	100	114.98	+14.98	113.92
28	78.54	19974.1	254.32	3	100	121.10	+21.10	
28	78.54	19021.0	242.18	3	100	115.33	+15.33	
28	78.54	18662.5	237.62	4	100	113.15	+13.15	

3.14.3. Resultados del ensayo de resistencia a compresión del III grupo.

El segundo grupo (CRT10%), concreto confeccionado con 10% de ceniza de residuo de tarwi. En las siguientes tablas se muestran los resultados de la resistencia a compresión de los especímenes de concreto ensayadas a los 7,14 y 28 días

Tabla 33

Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 10% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 7 días

Edad (días)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (σ) (kg/cm ²)	Tipo de falla	% de σ a lograr	% σ obtenido	% Aumento/ Descenso	% Promedio Resistencia
7	78.02	10120.9	129.73	2	70	61.77	-8.23	
7	78.02	11543.0	147.95	2	70	70.45	+0.45	
7	78.54	10428.1	132.77	2	70	63.23	-6.77	
7	79.06	10453.6	132.22	3	70	62.96	-7.04	67.73
7	77.50	11895.7	153.50	2	70	73.10	+3.10	
7	78.02	11948.2	153.15	3	70	72.93	+2.93	
7	78.54	11487.1	146.26	1	70	69.65	-0.35	

Tabla 34

Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 10% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 14 días

Edad (días)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (σ) (kg/cm ²)	Tipo de falla	% de σ a lograr	% σ obtenido	% Aumento/ Descenso	% Promedio Resistencia
14	77.50	11624.9	150.01	3	85	71.43	-13.57	
14	77.50	13022.6	168.04	3	85	80.02	-4.98	
14	78.54	12136.6	154.53	3	85	73.58	-11.42	
14	78.54	11968.8	152.39	4	85	72.57	-12.43	76.47
14	78.54	12679.8	161.44	3	85	76.88	-8.12	
14	78.02	14254.6	182.71	3	85	87.01	+2.01	
14	78.54	12175.1	155.02	2	85	73.82	-11.18	

Tabla 35

Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 10% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 28 días

Edad (días)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (σ) (kg/cm ²)	Tipo de falla	% de σ a lograr	% σ obtenido	% Aumento/ Descenso	% Promedio Resistencia
28	78.02	16638.8	213.27	3	100	101.56	+1.56	
28	78.54	15650.6	199.27	2	100	94.89	-5.11	
28	78.54	15204.3	193.59	3	100	92.18	-7.82	
28	78.02	15694.6	201.17	4	100	95.79	-4.21	95.13
28	78.02	14908.5	191.09	2	100	91.00	-9.00	
28	78.02	16598.3	212.75	3	100	101.31	+1.31	
28	78.54	14712.5	187.33	3	100	89.20	-10.80	

3.14.4. Resultados del ensayo de resistencia a compresión del IV grupo.

El segundo grupo (CRT15%), concreto confeccionado con 15% de ceniza de residuo de tarwi. En las siguientes tablas se muestran los resultados de la resistencia a compresión de los especímenes de concreto ensayadas a los 7,14 y 28 días.

Tabla 36

Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 15% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 7 días

Edad (días)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (σ) (kg/cm ²)	Tipo de falla	% de σ a lograr	% σ obtenido	% Aumento/ Descenso	% Promedio Resistencia
7	79.06	8930.7	112.95	3	70	53.79	-16.21	
7	78.02	8638.9	110.73	2	70	52.73	-17.27	
7	78.02	8507.3	109.04	3	70	51.93	-18.07	
7	78.54	10985.7	139.87	3	70	66.61	-3.39	58.61
7	78.02	10433.0	133.73	1	70	63.68	-6.32	
7	78.54	9180.1	116.88	3	70	55.66	-14.34	
7	78.54	10870.5	138.41	3	70	65.91	-4.09	

Tabla 37

Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 15% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 14 días

Edad (días)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (σ) (kg/cm ²)	Tipo de falla	% de σ a lograr	% σ obtenido	% Aumento/ Descenso	% Promedio Resistencia
14	78.02	13331.3	170.88	1	85	81.37	-3.63	
14	78.02	11245.9	144.15	3	85	68.64	-16.36	
14	78.02	11475.5	147.09	3	85	70.04	-14.96	
14	78.02	10989.6	140.86	3	85	67.08	-17.92	71.19
14	78.54	11564.3	147.24	3	85	70.11	-14.89	
14	77.50	11578.6	149.41	1	85	71.15	-13.85	
14	78.02	11455.4	146.83	3	85	69.92	-15.08	

Tabla 38

Resultados de la resistencia a compresión del concreto con 15% de adición de ceniza de residuo de tarwi a los 28 días

Edad (días)	Área (cm²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (σ) (kg/cm²)	Tipo de falla	% de σ a lograr	% σ obtenido	% Aumento/ Descenso	% Promedio Resistencia
28	78.02	12703.4	162.83	3	100	77.54	-22.46	
28	77.50	13541.3	174.74	2	100	83.21	-16.79	
28	78.54	14001.5	178.27	3	100	84.89	-15.11	
28	78.54	12616.0	160.63	3	100	76.49	-23.51	80.22
28	78.02	14028.7	179.82	2	100	85.63	-14.37	
28	77.50	13070.9	168.67	3	100	80.32	-19.68	
28	78.54	12121.5	154.34	3	100	73.49	-26.51	

Capítulo IV

Análisis de resultados

En este capítulo de la investigación se comparan y se analizan los resultados obtenidos del comportamiento del concreto con 5%, 10%, 15% de adición de ceniza de residuo de tarwi en relación al concreto de control a través de los diferentes ensayos realizados, buscando sus interacciones y variaciones, que expresados en cuadros y gráficos nos proporcionaran datos suficientes para realizar las observaciones y formular conclusiones.

En el acápite anterior se ha visto que las cenizas de residuo de tarwi, calcinadas a una temperatura de 750°C, no cumplen con la cantidad necesaria de óxidos que exige la norma ASTM C618-03 y la resistencia a compresión en morteros disminuye a medida que se añade las cenizas, es por tal motivo que se ha controlado la temperatura de curado en las briquetas de concreto para verificar su comportamiento, además con el propósito de comprobar la exigencia de la norma es que se realiza este análisis ya que se han encontrado investigaciones de cenizas de residuo agrícola que contienen más del 70% de óxidos pero que no generan incrementos en la resistencia a compresión del concreto. En tal sentido se tiene:

4.1. Del ensayo de tiempo de fraguado inicial

Los resultados del ensayo del tiempo de fraguado inicial están en la tabla 39.

Tabla 39
Variación del tiempo de fragua inicial en relación al cemento Pórtland

Grupo	Temperatura ambiente (°C)	Relación a/c (%)	Tiempo de fragua inicial (min)	Diferencia (min)
I - CP	22.5	33.85	183.75	
II - CRT5%	20.5	38.46	126.88	56.87
III - CRT10%	20.8	42.31	103.5	80.25

Con el ensayo se constató la clara influencia de la adición de CRT, pues, se requiere más cantidad de agua para lograr una consistencia ideal, no obstante, en el diseño de mezclas se

ha empleado una sola relación a/c, ya que con mayor cantidad de agua se reduciría la resistencia a compresión del concreto. Además, a medida que se añade la CRT, se requiere menos tiempo para alcanzar el fraguado inicial.

Este fenómeno es ocasionado por el bajo nivel de anhídrido sulfúrico presente en la CRT (Rivva,) ya que el valor ideal es de 2%-4%, siendo en este caso en menor cantidad. Así mismo, la finura de la CRT es pasante la malla N°200 y la densidad del CRT es muy baja, por lo que se sustituye mayor cantidad en masa, haciendo crecer la velocidad de hidratación de los silicatos del cemento Pórtland (Calleja, 1982).

El moderado contenido de C3A (Rivva,) y la temperatura de calcinación (Rivva,) se suman a este efecto, ocasionando que la velocidad del tiempo de fraguado llega a ser casi instantáneo.

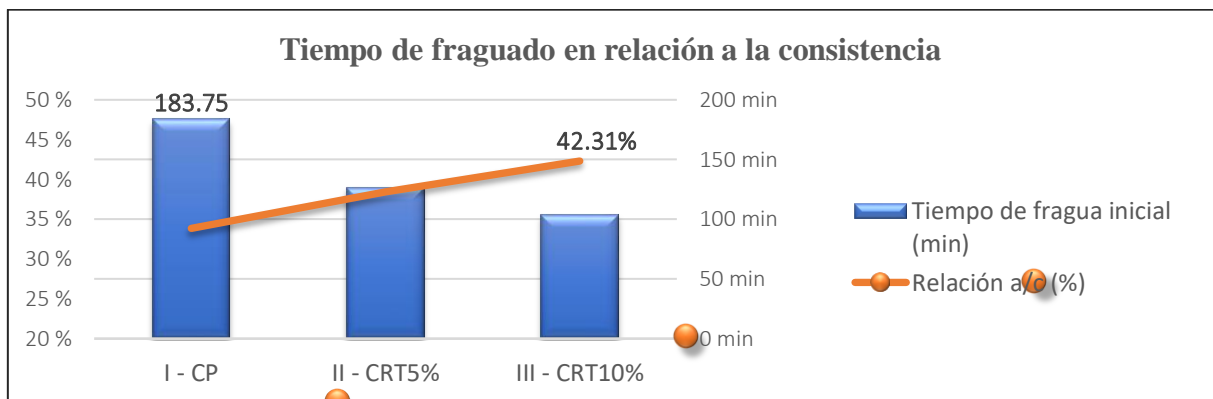


Figura 7. Tiempo de fraguado en relación a la consistencia.

Además, se ha visto que no ocurre un falso fraguado, ya que este se caracteriza por un brusco aumento de la viscosidad de la pasta sin gran desprendimiento de calor.

Estas reacciones son muy convenientes en zonas donde se requiere que el fraguado del concreto no sea lento, como la zona altiplánica por estar expuesto a temperaturas bajas.

4.2. De los ensayos del concreto en estado fresco

4.2.1. Trabajabilidad.

Los resultados del ensayo se muestran en la tabla 40 y su representación se aprecia en el gráfico 8.

En este ensayo se constató la clara influencia de la adición de CRT en el concreto, observándose una disminución de la docilidad de la mezcla a medida que aumentaba el porcentaje de adición.

Tabla 40

Variación porcentual del asentamiento del concreto con diferentes adiciones de ceniza respecto al patrón.

Grupo	Tratamiento (%)		Asentamiento (pulgadas)	% Aumento/ Descenso	Descripción
	CRT	Cemento			
I – CP	0%	100%	3.11"		Trabajable
II - CRT5%	5%	95%	3.01"	-3.38	Trabajable
III - CRT10%	10%	90%	2.78"	-10.55	Seco
IV - CRT15%	15%	85%	2.20"	-29.11	Seco

El mayor asentamiento correspondió al concreto patrón con 3.11" indicando ser de consistencia trabajable, mientras que la menor alcanzó los 2.20", es decir, 0.9" de diferencia respecto del mayor, este último valor correspondió al IV grupo llegando a ser de consistencia seca al igual que el II grupo de análisis. Mientras tanto en el concreto con adición de 5% de CRT, hubo una disminución de 3.38% de trabajabilidad del concreto de control, sin embargo, la consistencia aún se mantiene trabajable.

Por lo tanto, a medida que aumenta la cantidad de adiciones a la mezcla de concreto, el asentamiento es menor. Se observa, entonces, una proporcionalidad inversa entre la cantidad adicionada y el asentamiento. Es decir, a mayor porcentaje de adición, menor será el asentamiento del cono, este comportamiento se debe al grado de finura que presenta la ceniza de tarwi.

4.2.2. Temperatura.

Los resultados del ensayo de temperatura en las mezclas de concreto se muestran en la tabla 41. Se observa en los resultados que porcentualmente: Para las adiciones de 5%, 10% y 15 % de CRT se tiene una temperatura menor en 2.53%, 12.97% y 15.51% respectivamente, frente al concreto de control.

Tabla 41

Variación porcentual de la temperatura del concreto con diferentes adiciones de ceniza respecto al patrón.

Grupo	Tratamiento (%)		T del concreto (°C)	% Aumento/Descenso
	Ceniza de tarwi	Cemento		
I – CP	0%	100%	15.8	
II - CRT5%	5%	95%	16.2	2.53 %
III - CRT10%	10%	90%	17.9	12.97 %
IV - CRT15%	15%	85%	18.3	15.51 %

En la figura 8, se muestra los resultados de la temperatura en relación a la trabajabilidad del concreto. La norma E.060 estipula que la temperatura del concreto fresco no debe ser inferior a 11 °C ni mayor a 32°C. Cuando comienza a elevarse la temperatura se requiere más agua de mezclado, por lo que aumenta la perdida de trabajabilidad como se aprecia en tal figura.

Por lo tanto, la temperatura de concreto, debe de mantenerse tan cerca de las temperaturas mínimas sugeridas en la norma como sea posible. Sin embargo, se debe resaltar que los cuatro grupos de concreto no sobrepasa el límite establecido y no generan fisuras. Por el contrario, se ha visto que reduce el tiempo de fraguado, resultando ser ventajoso para esta zona sur del país

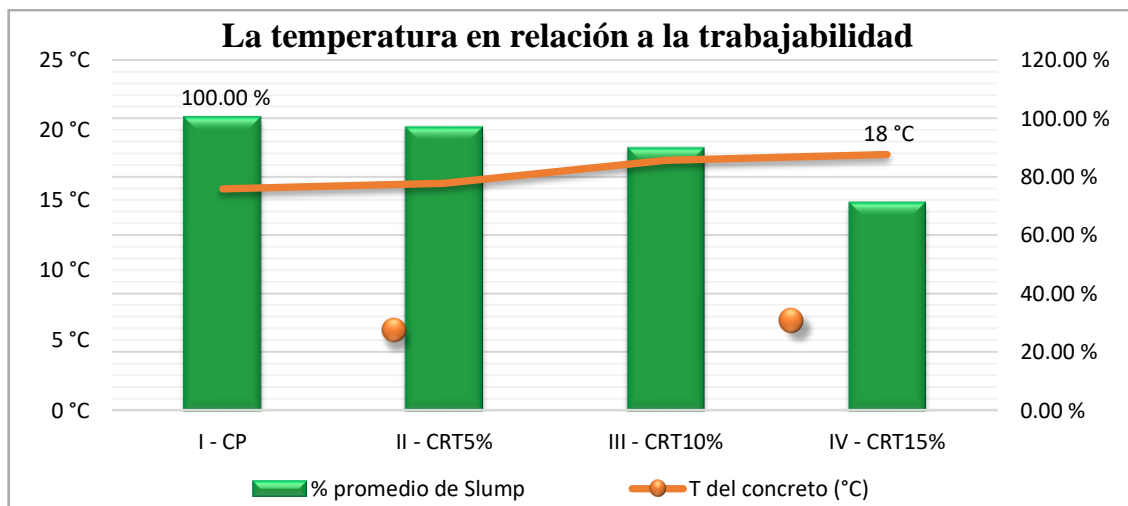


Figura 8. Desarrollo de la temperatura en relación a la trabajabilidad

4.2.3. Peso unitario del concreto fresco

Con el ensayo de peso unitario se logra apreciar una clara influencia de la presencia de las adiciones en el concreto fresco.

Observándose una disminución de peso a medida que aumentaba el porcentaje de adición.

Tabla 42

Variación porcentual del peso unitario del concreto fresco con diferentes adiciones de ceniza respecto al patrón.

Grupo	Tratamiento (%)		Peso Unitario (kg/m ³)	% Aumento/ Descenso
	CRT	Cemento		
I – CP	0%	100%	2260.98	
II - CRT5%	5%	95%	2126.75	-5.94 %
III - CRT10%	10%	90%	1991.18	-11.93 %
IV - CRT15%	15%	85%	1783.08	-21.14 %

Se observa un peso unitario de 2261 kg/m³ para el concreto patrón, 2127 kg/m³ para el concreto con adición de 5% de ceniza, 1991 kg/m³ para el concreto con adición de 10% de CRTy 1783 kg/m³ para el concreto con la adición más alta.

El porcentaje de variación entre un concreto con ceniza y el concreto patrón va desde 5.94% a 21.14% de menor a mayor porcentaje de adición como se puede observar en la tabla 4.3.

Este comportamiento se debe a la sustitución en peso del cemento que posee una densidad mucho mayor a comparación de la ceniza de residuo de tarwi.

4.3. De los ensayos del concreto en estado endurecido

4.3.1. Peso Unitario.

En la Tabla 43, se muestran los promedios de resultados obtenidos del peso unitario del concreto en estado endurecido, donde se puede ver que la mínima variación se genera en el concreto con adición de 5%, esta variación con respecto al patrón alcanzó al 0.86%.

Por otra parte, la máxima variación con respecto al concreto de control correspondió al concreto con adición de 15%, dicha variación correspondió al 4.85%. El concreto con 10% ocupó el valor intermedio, con una variación de 3.61%.

Tabla 43

Variación porcentual del peso unitario del concreto endurecido con las diferentes adiciones de ceniza con respecto al patrón.

Grupo	Tratamiento (%)		Peso unitario Promedio (Kg/m ³)	% Aumento/Descenso
	Ceniza de tarwi	Cemento		
I – CP	0%	100%	2398.50	
II - CRT5%	5%	95%	2368.11	-1.27 %
III-CRT10%	10%	90%	2292.53	-4.42 %
IV-CRT15%	15%	85%	2259.38	-5.80 %

Como se observa la adición de CRT influye en el peso unitario del concreto en estado endurecido, ya que permite reducir el peso del concreto sin reducir el peso del agregado u otro material. El más significativo es con la adición del 5% de CRT que disminuye su densidad, sin que se altere la trabajabilidad.

Según estos resultados a medida que se aumenta la cantidad de adiciones a la mezcla de concreto, el peso unitario del concreto endurecido es menor, sin embargo, todos los promedios se encuentran dentro del rango teóricamente establecido para concretos normales que van desde 2200kg/m³ a 2400 kg/m³ por lo que no pueden ser catalogados como concretos ligeros.

4.3.2. Resistencia a compresión.

La E.060 estipula que la resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactoria si cumple con los dos requisitos siguientes: (1) El promedio de todas las series de los resultados de tres muestras consecutivas es igual o superior a la resistencia de diseño especificada. (2) Ningún resultado individual del ensayo de resistencia está en más de 35 kg/cm² por debajo de la resistencia especificada cuando f'c es 355 kg/cm² o menor en más

de 0,1f^c cuando la resistencia especificada es mayor a 355 kg/cm². A continuación se muestra los resultados de este análisis.

Tabla 44

Análisis de la resistencia a compresión de los 4 grupos a los 28 días.

Rangos	Grupos (kg/cm ²) - Edad 28 días			
	I (0 _{CRT} +100 _C)	II (5 _{CRT} +95 _C)	III (10 _{CRT} +90 _C)	IV (15 _{CRT} +85 _C)
Total de Muestras	7	7	7	7
Valor mínimo	261.26	224.19	187.33	154.34
Valor máximo	296.82	254.32	213.27	179.82
Valor Promedio	273.57	239.23	199.78	168.47
Desviación estándar	14.26	11.67	10.18	9.64
Coefficiente Variación	0.05	0.05	0.05	0.06
Grado de Control	Muy bueno	Excelente	Excelente	Excelente
2 ^{da} Condición	100 %	100 %	100 %	30 %

Tabla 45

Promedio consecutivo de las muestras de los 4 grupos a los 28 días.

Promedio de 3 consecutivas	Grupos (kg/cm ²) - Edad 28 días			
	I (0 _{CRT} +100 _C)	II (5 _{CRT} +95 _C)	III (10 _{CRT} +90 _C)	IV (15 _{CRT} +85 _C)
P1	271.51	233.00	202.04	171.95
P2	272.06	230.01	198.01	171.21
P3	275.56	240.05	195.28	172.91
P4	267.88	245.99	201.67	169.70
P5	279.18	244.71	197.06	167.61
1 ^{ra} Condición	Cumple	Cumple	No cumple	No cumple

Al aplicar el primer criterio para las muestras del grupo I se aprecia que, el 100% de los promedios están por encima de la resistencia de diseño al igual que el valor promedio de tres ensayos consecutivos (criterio 2) y la desviación estándar corresponde a un grado de control muy bueno como conjunto, por lo que el concreto cumple con los criterios de aceptación.

Para el II grupo de muestras los resultados demuestran el riguroso control de calidad que se le aplico, pues la desviación estándar disminuye a 11.67%, resultando ser excelente. Cumple con ambos criterios, pero no supera al primer grupo de concreto patrón.

En caso del III grupo de muestras se observa que, pese a la desviación estándar que corresponde a un grado de control excelente, solo dos de las siete muestras cumple individualmente con la resistencia y ningún resultado de este grupo está por debajo de 35 kg/cm² de la resistencia de diseño, no obstante, al aplicar el criterio (2) se ve que todos los promedios está por debajo de la resistencia de diseño, por lo que el concreto, no cumple con el primero de criterios de aceptación, obligándolo a ser desestimado.

Finalmente, el IV grupo de muestras se puede ver que tiene un grado de control excelente, sin embargo, no cumple con los dos criterios que estipula la E.060, por lo que se desestima su uso al igual que el III grupo. Al realizar el ensayo de compresión a todos los especímenes de concreto a diferentes edades (07,14 y 28 días), se obtiene:

Tabla 46

Resultados del promedio de la resistencia a compresión del concreto de los 4 grupos a 7, 14 y 28 días.

Grupo	Tratamiento (%)		Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)		
	Ceniza de Tarwi	Cemento	7 días	14 días	28 días
I - CP	0%	100%	185.60	225.84	273.57
II - CRT5%	5%	95%	171.41	199.31	239.23
III-CRT10%	10%	90%	142.23	160.59	199.78
IV-CRT15%	15%	85%	123.09	149.49	168.47

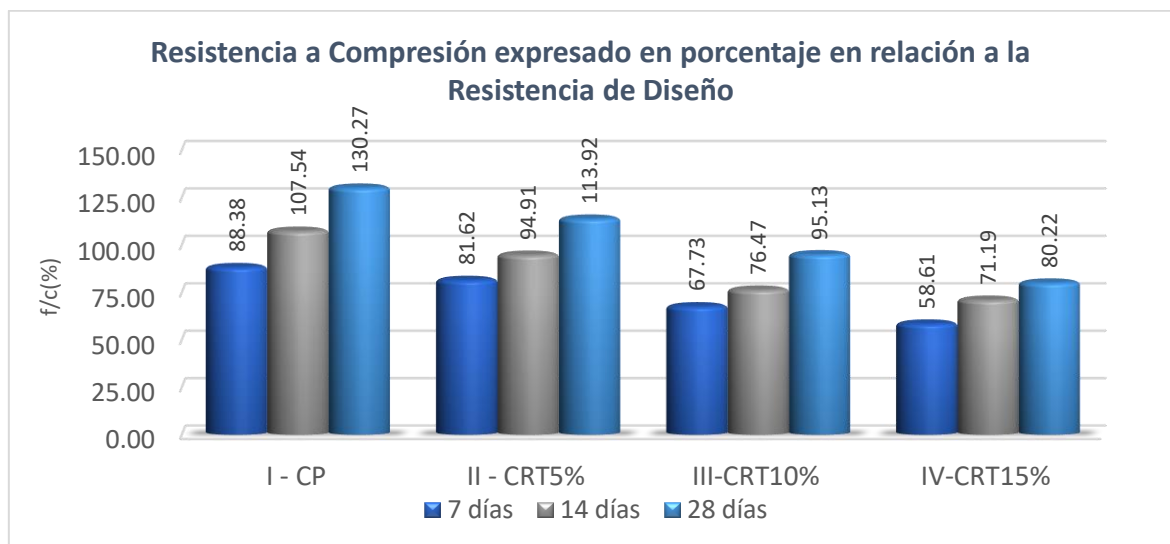


Figura 9. Resumen de la resistencia a compresión en porcentaje (%) a los 7,14,28 días

Según estos datos se puede describir y analizar la resistencia de compresión que alcanzó los 4 grupos a los 7,14 y 28 días de la siguiente forma:

La resistencia a compresión del I Grupo (C-Patrón) a los 7 días fue de 185.60kg/cm², el cual representa un 88% de su resistencia, por otro lado, a los 14 días fue de 227.78kg/cm² que representa un 107% y finalmente a los 28 días alcanzó una resistencia de 273kg/cm² que representa un 130%. La razón de que se incremente la resistencia de diseño (210 kg/cm²) de esa forma, se debe al grado de control que se le brindó a los cuatro grupos en la etapa del curado del concreto, sometiénolo a una temperatura de 13°C a 28°C y protegiéndolo de las heladas, aunque esto no se ve reflejado en los proyectos de la zona, sin embargo, es una razón por la que se debería tener cuidado en esta etapa de vida útil del concreto.

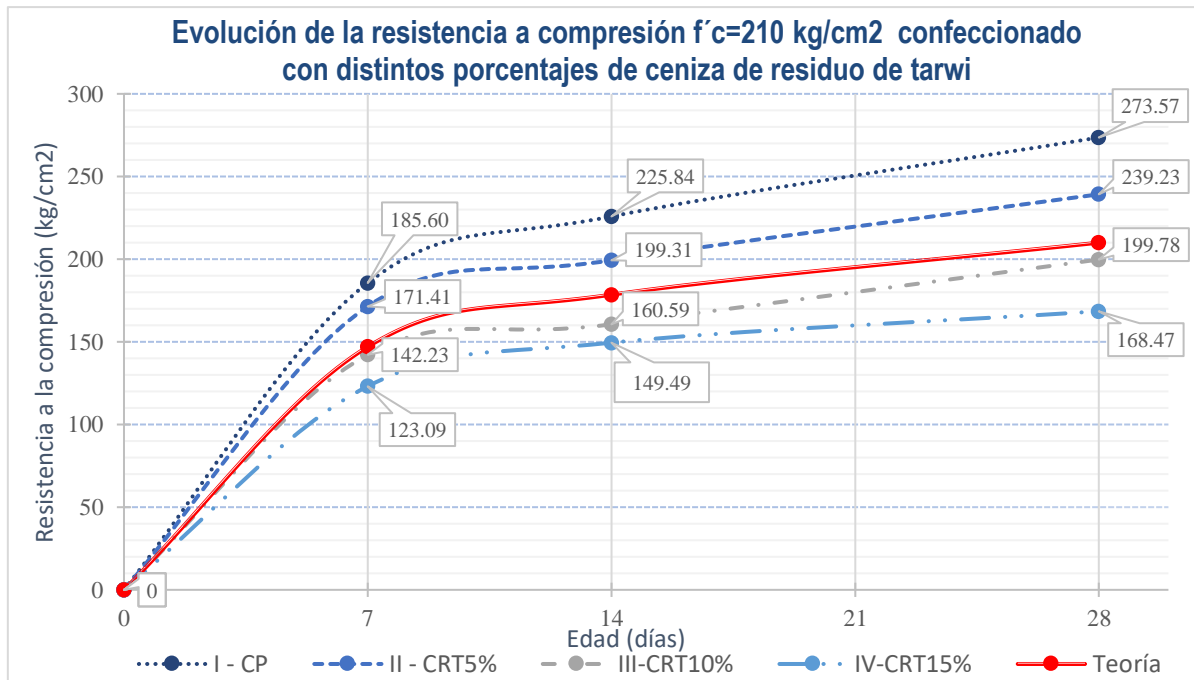


Figura 10. Comparación de resistencias a compresión con diferentes porcentajes de adición de ceniza frente al patrón.

El II grupo (CRT 5%) a los 7 días alcanzó una resistencia de 172kg/cm² que representa un 82% de su resistencia, por otro lado, a los 14 días fue de 201kg/cm² el que figura el 95% y finalmente a los 28 días alcanzó una resistencia de 246kg/cm² que representa un 114%, esto quiere decir que con un óptimo control de temperatura de curado del concreto se puede

incrementar la resistencia a compresión del mismo en un 14% más de la resistencia de diseño.

El III grupo (CRT 10%) a los 7 días alcanzó una resistencia de 143kg/cm^2 que señala un 68% de su resistencia, por otro lado, a los 14 días fue de 161kg/cm^2 que representa un 76% y a los 28 días alcanzo una resistencia de 200kg/cm^2 que representa un 95%.

Por último, el IV grupo (CRT 15%) a los 28 días alcanzo una resistencia de 195kg/cm^2 que representa un 80% de la resistencia de diseño.

En la figura 10 se aprecia que el concreto que más desarrollo la resistencia a compresión a los 28 días es el concreto patrón con 273kg/cm^2 , el siguiente es con la adición de 5% que está por encima de diseñado, resultando mantener la resistencia a compresión. El menor de todos es el concreto con 15% de adición de CRT con 169kg/cm^2 , al igual que el tercer grupo, ambos son desestimados ya que con adiciones de 10% y 15% reduce significativamente su resistencia a compresión.

La razón de estos resultados se debe a la reducción de C_3S , C_2S , ya que estos son los principales productores de resistencia en el cemento Pórtland, además del alto contenido de MgO .

4.3.3. Del tipo de falla del espécimen.

En el ensayo a la compresión se observaron y registraron diferentes tipos de fallas típicas definidas en la NTP 339.034 El análisis se ha realizado para todos los porcentajes de adiciones a las tres edades de ensayo (07,14 y 28 días) para los especímenes ensayados a compresión, los resultados son los mostrados en la figura 11.

El tipo de falla más común registrado, fue el tipo 3 con un porcentaje del 58.33%, en el cuál la fractura se da en forma de grietas verticales columnares en ambas bases. Los tipos de falla 2 y 4 resultaron porcentajes de 28.57% y 8% respectivamente, para el tipo de falla 1 se obtuvo un 4.76%

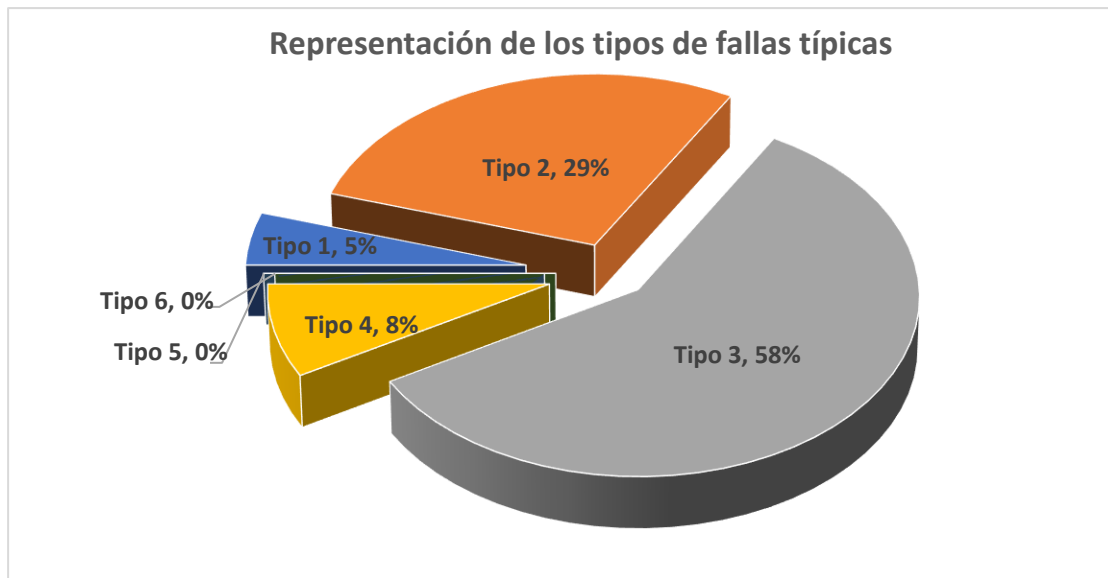


Figura 11. Representación de los tipos de fallas registradas en el ensayo a compresión.

En un ensayo a la compresión se espera que la carga sea distribuida uniformemente sobre las caras de apoyo, y de esta manera hacer que todo el espécimen trabaje para resistir la carga. Para esta investigación, las broquetas fueron refrendadas, por eso el tipo de falla indica que la carga se distribuía de manera uniformemente sobre las bases de apoyo de neopreno.

4.4. De la composición química del material cementante.

Para poder comprender el comportamiento del concreto con la adición de ceniza de residuo de tarwi en distintos porcentajes es necesario estudiar la composición química de los materiales cementantes ya que son en primera instancia los que le confieren su particularidad. Es por tal motivo que se cita los óxidos típicos del cemento Pórtland IP registrados en los estudios de Neville & Brooks, 1998. A partir de estos se determinaron los compuestos empleando las ecuaciones de Bogue.

Tabla 47

Composición de óxidos y compuestos de un cemento Pórtland típico

Composición óxido típica			Compuestos del cemento Portland (%)	
CaO	63.00	%	C ₃ S	54.17
SiO ₂	20.00	%	C ₂ S	16.47
Al ₂ O ₃	6.00	%	C ₃ A	10.82
Fe ₂ O ₃	3.00	%	C ₄ AF	9.12
SO ₃	2.00	%		

MgO	1.50	%
Mn ₂ O ₃	0.34	%
K ₂ O y Na ₂ O	1	%
LOI	2.00	%

Este procedimiento se realizó de la misma forma con los resultados obtenidos de las cenizas de RCT, de las instalaciones del laboratorio L.A.S.

Tabla 48

Composición de óxidos y compuestos de la ceniza de residuo de tarwi

Óxidos de la Ceniza de tarwi			Compuestos de la ceniza de tarwi (%)	
CaO	23.97	%	C ₃ S	17.24
SiO ₂	6.72	%	C ₂ S	6.26
Al ₂ O ₃	3.30	%	C ₃ A	6.05
Fe ₂ O ₃	1.59	%	C ₄ AF	4.83
SO ₃	1.69	%		
MgO	8.25	%		
Mn ₂ O ₃	0.34	%		
K ₂ O	21.36	%		
Na ₂ O	9.68	%		
LOI	3.89	%		

De esta forma el desarrollo de las ecuaciones de Bogue nos indica la cantidad aproximada de compuesto en cada grupo de tratamiento. Además, es necesario resaltar que se realizó el control del grado de hidratación de ambos materiales cementantes, la caracterización del diseño de mezcla, la calidad de agua y la calidad de los agregados, por lo tanto, se descartó cualquier otro factor que pudiese alterar la resistencia y/o trabajabilidad y solo influye la reacción de la adición de ceniza de residuo de tarwi en el concreto.

En tal sentido, como la investigación busca explicar el comportamiento de la adición de ceniza en reemplazo del cemento Pórtland IP se puede decir de manera teórica que la cantidad de compuestos que ingresan en cada grupo de mezcla de concreto al sustituir las CRT por el cemento Pórtland en 5%, 10% y 15% es como se muestra en la figura 12.

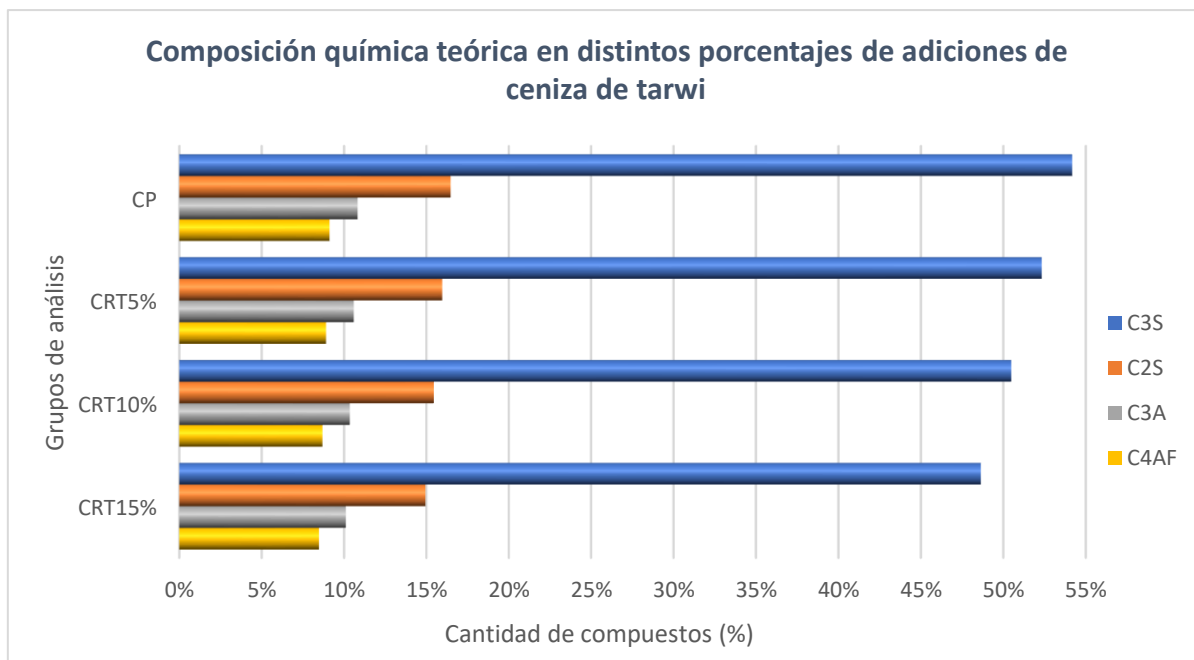


Figura 12. Composición química teórica en distintos porcentajes de adiciones de ceniza de tarwi

El I Grupo (C-Patrón) tiene 30.62% de silicato tricálcico (C_3S), normalmente se acepta que este componente tenga entre 30% a 60%, por lo que si cumple. Sin embargo, con la adición de 5% este componente comienza a menguar en un 2% llegando al límite del parámetro establecido. Para el III grupo (CRT-10%) se reduce significativamente en un 4% y finalmente para un 15% disminuye hasta un 6%. Sabiendo que este componente es el responsable de la resistencia inicial, la estabilidad de volumen y la velocidad del fraguado, se puede afirmar que, con adiciones mayores a 10% estamos perjudicando el desarrollo correcto de las propiedades para un concreto de buena calidad. Razón por la que el concreto fresco llego a ser de consistencia seca, elevación de la temperatura y se ha visto agrietamientos en la mayoría de las briquetas elaboradas con 15% de ceniza de tarwi y no se ha incrementado la resistencia a compresión como se esperaba.

En caso del Silicato Di Cálcico (C_2S), los porcentajes más recomendables son del 15% a 37%, mientras más elevado sea este parámetro mejor será la resistencia a la compresión a largo plazo y tendrá una regular contribución a la estabilidad de volumen.

El concreto patrón tiene 42.84% de C_2S , el II grupo (CRT-5%) empezó a menguar en 4%, la adición a 10% es inferior en 9% y finalmente la adición de 15% de ceniza de tarwi llega al límite de 37.36% de C_2S . Es decir que a medida se añade la ceniza de tarwi en el concreto, se reduce la resistencia a compresión a largo plazo.

El aluminato tricálcico (C_3A), es recomendable valores de 7% a 15%, es el responsable de que el concreto fragüe de una manera rápida y es el primero en hidratarse. En todos los grupos el porcentaje de variación entre un concreto con ceniza y el concreto patrón es poco significativo. Es por esta razón que todos los grupos presentaron un desarrollo de tiempo de fraga normal.

En todo caso esta investigación respalda y/o comprueba lo establecido en las normas ASTM C618 y las investigaciones detalladas en el primer acápite de la investigación, ya que para incrementar la resistencia a compresión del concreto es necesario que el contenido de óxidos de sílice, alúmina y fierro en la ceniza de tarwi sean mayores al 75%.

4.5. Contraste de hipótesis

Para realizar el contraste de la hipótesis general se realizaron los siguientes pasos:

4.5.1. Estadístico de contraste para la trabajabilidad del concreto fresco.

4.5.1.1. *Planteamiento de hipótesis nula e hipótesis alternativa.*

Se va a probar sobre la diferencia de medias, si la adición de ceniza de residuo de tarwi influyen positivamente en la trabajabilidad del concreto frente a un concreto convencional (CP).

H_0 : La adición porcentual de ceniza de residuo de tarwi como sustituto del cemento Pórtland no mejora la trabajabilidad del concreto con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

H_1 : La adición de un porcentaje de ceniza de residuo de tarwi como sustituto del cemento Pórtland mejora la trabajabilidad del concreto con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

Entonces la hipótesis es de la forma:

$$\mu_{CRT} > \mu_{CP}$$

Por lo tanto, se trata de un test de una cola (unilateral), es decir:

$$\text{Hipótesis nula} \quad : H_0 = \mu_{\bar{X}_{CRT}} \leq \mu_{\bar{X}_{CP}}$$

$$\text{Hipótesis alternativa} \quad : H_1 = \mu_{\bar{X}_{CRT}} > \mu_{\bar{X}_{CP}}$$

Donde:

$\mu_{\bar{X}_{CRT}}$: Representa a las muestras con adición parcial de ceniza de tarwi como sustituto del cemento portland IP.

$\mu_{\bar{X}_{CP}}$: Representa a las muestras de concreto convencional, es decir, sin adición de ceniza de tarwi.

4.5.1.2. Nivel de significancia.

El nivel de significancia que se establece es de un 0.05 (5%), para la prueba de hipótesis de diferencia de medias poblacionales.

4.5.1.3. Cálculo del estadístico de prueba.

Para la presente investigación se utiliza el estadístico t de Student para la prueba de Hipótesis ya que se cuenta con variables independientes cuantitativas y el número de muestras es menor a 30.

4.5.1.4. Prueba de distribución t de student.

Como la hipótesis a probar es la adición de distintos porcentajes de ceniza de residuo de tarwi como sustituto del cemento portland IP mejora la resistencia a compresión del concreto, primero se toma una muestra aleatoria e independiente de cada población, de tamaño n_{CRT} de la población X_{CRT} , y de tamaño n_{CP} de la población X_{CP} el cual está dado por:

$$t_p = \frac{\bar{X}_{CRT} - \bar{X}_{CP}}{S_p * \sqrt{\frac{1}{n_{CRT}} + \frac{1}{n_{CP}}}}$$

$$S_p = \frac{(n_{C_{RT}} - 1)s_{C_{RT}}^2 + (n_{C_{P}} - 1)s_{C_{P}}^2}{(n_{C_{RT}} + n_{C_{P}} - 2)}$$

Donde:

$\bar{X}_{C_{RT}}$: Medias de las lecturas de trabajabilidad del concreto con ceniza de paja de trigo en distintas proporciones del peso de cemento.

$\bar{X}_{C_{P}}$: Medias de las lecturas de trabajabilidad del concreto convencional y/o patrón.

A continuación, se reemplaza los valores obtenidos de la resistencia a compresión de los concretos con adición de 5%, 10% y 15% de ceniza de tarwi frente a un concreto convencional sin adición.

Tabla 49
Cálculo del estadístico de prueba t_p para el asentamiento del concreto

N° de ensayo	GRUPOS DE ASENTAMIENTO REPORTADO			
	I (0 _{CRT} +100 _C)	II (5 _{CRT} +95 _C)	III (10 _{CRT} +90 _C)	IV (15 _{CRT} +85 _C)
1	3.11	3.03	2.80	2.24
2	3.15	2.99	2.76	2.20
3	3.07	2.99	2.80	2.17
n_i	3	3	3	3
\bar{X}_i	3.11	3.01	2.78	2.20
s^2	0.04	0.02	0.02	0.04
$\bar{X}_{C_{RT}} - \bar{X}_{C_{P}}$		-0.10	-0.33	-0.91
S_p		0.18	0.18	0.20
t_p		-0.73	-2.28	-5.59

4.5.1.5. Formular a regla de decisión.

Teniendo en cuenta que se trata de una prueba unilateral, se rechaza la hipótesis nula cuando:

$$t_p > t_{\alpha, n_{cp} + n_{crt} - 2}, \text{ es decir, } t_{\text{calculado}} > t_{\text{Tabla-crítico}}$$

El valor crítico, para la aceptación de rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a las tablas de T-student, para un nivel de significancia de 5% y 4 grados de libertad, queda definido en:

$$t_{n_{cp} + n_{crt} - 2} = t_{0.05, 3+3-2} = t_{0.05, 4} = 2.1318$$

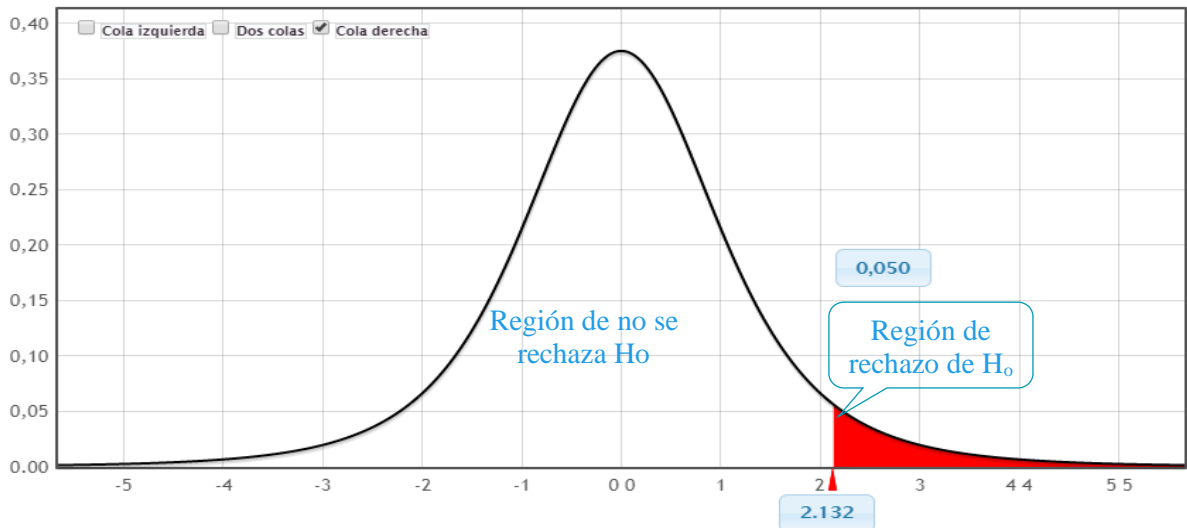


Figura 13. Gráfica del estadístico t para $\alpha=0.05$ y 4 grados de libertad.

4.5.1.6. Toma de decisión.

La toma de una decisión (No se rechaza H_0 , o se rechaza H_0 y se acepta H_1), se hará respecto a los estadísticos de prueba calculados anteriormente para la trabajabilidad del concreto.

Los resultados encontrados nos servirán para determinar si la adición de ceniza de tarwi favorece a la trabajabilidad del concreto fresco.

Tabla 50

Decisión de la hipótesis H_0 con el t_p para el asentamiento del concreto

Descripción	GRUPOS (kg/cm ²) - Edad 7 días			
	I (0 _{CRT} +100 _C)	II (5 _{CRT} +95 _C)	III (10 _{CRT} +90 _C)	IV (15 _{CRT} +85 _C)
t_p		-0.73	-2.28	-5.59
α	0.05	0.05	0.05	0.05
$n_i + n_{ii} - 2$		12	12	12
$t_{\text{tabla student}}$		2.1318	2.1318	2.1318
Decisión		No se rechaza H_0	No se rechaza H_0	No se rechaza H_0

En la tabla 50 se observa que todos los estadísticos de prueba caen en la región donde no se rechaza la hipótesis nula;

- H_0 : La adición de un porcentaje de ceniza de residuo de tarwi como sustituto del cemento portland IP no mejora la trabajabilidad del concreto.

Por lo tanto, la adición de cenizas de tarwi no optimiza la trabajabilidad del concreto en estado fresco, esto con un nivel de confianza al 95% y 5% de error.

4.5.2. Estadístico de contraste para la resistencia a la compresión del concreto

4.5.2.1. Planteamiento de hipótesis nula e hipótesis alternativa.

Se va a probar sobre la diferencia de medias, si la adición de ceniza de residuo de tarwi influyen positivamente en el desarrollo de la resistencia a compresión del concreto frente a un concreto convencional (CP).

H_0 : La adición porcentual de ceniza de residuo de tarwi como sustituto del cemento Pórtland NO mejora la resistencia a compresión del concreto.

H_1 : La adición porcentual de ceniza de residuo de tarwi como sustituto del cemento Pórtland mejora la resistencia a compresión del concreto.

Entonces la hipótesis es de la forma:

$$\mu_{CRT} > \mu_{CP}$$

Por lo tanto, se trata de un test de una cola (unilateral), es decir:

Hipótesis nula : $H_0 = \mu_{\bar{X}_{CRT}} \leq \mu_{\bar{X}_{CP}}$

Hipótesis alternativa : $H_1 = \mu_{\bar{X}_{CRT}} > \mu_{\bar{X}_{CP}}$

Donde:

$\mu_{\bar{X}_{CRT}}$: Representa a las muestras con adición parcial de ceniza de tarwi como sustituto del cemento portland IP.

$\mu_{\bar{X}_{CP}}$: Representa a las muestras de concreto convencional, es decir, sin adición de ceniza de tarwi.

4.5.2.2. Nivel de significancia.

El nivel de significancia que se establece es de un 0.05 (5%), para la prueba de hipótesis de diferencia de medias poblacionales.

4.5.2.3. *Cálculo del estadístico de prueba.*

Para la presente investigación se utiliza el estadístico t de Student para la prueba de Hipótesis ya que se cuenta con variables independientes cuantitativas y el número de muestras es menor a 30.

4.5.2.4. *Prueba de distribución t de student.*

Como la hipótesis a probar es la adición de distintos porcentajes de ceniza de residuo de tarwi como sustituto del cemento portland IP mejora la resistencia a compresión del concreto, primero se toma una muestra aleatoria e independiente de cada población, de tamaño n_{CRT} de la población X_{CRT} , y de tamaño n_{CP} de la población X_{CP} el cual está dado por:

$$t_p = \frac{\bar{X}_{CRT} - \bar{X}_{CP}}{S_p * \sqrt{\frac{1}{n_{CRT}} + \frac{1}{n_{CP}}}}$$
$$S_p = \frac{(n_{CRT} - 1)s_{CRT}^2 + (n_{CP} - 1)s_{CP}^2}{(n_{CRT} + n_{CP} - 2)}$$

Donde:

\bar{X}_{CRT} : Medias de las resistencias a compresión del concreto con ceniza de paja de trigo en distintas proporciones del peso de cemento.

\bar{X}_{CP} : Medias de las resistencias a compresión del concreto convencional y/o patrón.

A continuación, se reemplaza los valores obtenidos de la resistencia a compresión de los concretos con adición de 5%, 10% y 15% de ceniza de tarwi frente a un concreto convencional sin adición, ambos grupos curados por inmersión, para la edad a los 7,14 y 28 días. Resolviendo se tiene:

Tabla 51

Cálculo del estadístico de prueba t_p para el concreto a una edad de 7 días

N° de ensayo	GRUPOS (kg/cm ²) - Edad 7 días			
	I (0 _{CRT} +100 _C)	II (5 _{CRT} +95 _C)	III (10 _{CRT} +90 _C)	IV (15 _{CRT} +85 _C)
1	197.76	180.88	129.73	112.95
2	171.37	169.82	147.95	110.73
3	176.86	163.82	132.77	109.04
4	197.01	165.24	132.22	139.87
5	188.43	175.18	153.50	133.73
6	192.27	193.18	153.15	116.88
7	175.46	151.72	146.26	138.41
n_i	7	7	7	7
\bar{X}_i	185.60	171.41	142.23	123.09
s^2	10.90	13.32	10.34	13.67
$\bar{X}_{CRT}-\bar{X}_{CP}$		-14.19	-43.37	-62.51
S_p		3.48	3.26	3.50
t_p		-7.63	-24.90	-33.37

Tabla 52

Cálculo del estadístico de prueba t_p para el concreto a una edad de 14 días

N° de ensayo	GRUPOS (kg/cm ²) - Edad 14 días			
	I (0 _{CRT} +100 _C)	II (5 _{CRT} +95 _C)	III (10 _{CRT} +90 _C)	IV (15 _{CRT} +85 _C)
1	217.58	189.72	150.01	170.88
2	239.27	204.48	168.04	144.15
3	218.14	195.25	154.53	147.09
4	246.20	194.83	152.39	140.86
5	217.61	224.11	161.44	147.24
6	215.23	186.30	182.71	149.41
7	226.82	200.46	155.02	146.83
n_i	7	7	7	7
\bar{X}_i	225.84	199.31	160.59	149.49
s^2	12.27	12.52	11.49	9.82
$\bar{X}_{CRT}-\bar{X}_{CP}$		-26.53	-65.25	-76.34
S_p		3.52	3.45	3.32
t_p		-14.10	-35.41	-42.98

Tabla 53

Cálculo del estadístico de prueba t_p para el concreto a una edad de 28 días

N° de ensayo	GRUPOS (kg/cm ²) - Edad 28 días			
	I (0 _{CRT} +100 _C)	II (5 _{CRT} +95 _C)	III (10 _{CRT} +90 _C)	IV (15 _{CRT} +85 _C)
1	261.26	250.45	213.27	162.83
2	263.41	224.19	199.27	174.74
3	289.85	224.37	193.59	178.27

4	262.93	241.46	201.17	160.63
5	273.89	254.32	191.09	179.82
6	266.82	242.18	212.75	168.67
7	296.82	237.62	187.33	154.34
n_i	7	7	7	7
\bar{X}_i	273.57	239.23	199.78	168.47
s^2	14.26	11.67	10.18	9.64
$\bar{X}_{CRT} - \bar{X}_{CP}$		-34.34	-73.79	-105.10
S_p		3.60	3.50	3.46
t_p		-17.84	-39.49	-56.89

4.5.2.5. Formular a regla de decisión.

Teniendo en cuenta que se trata de una prueba unilateral, se rechaza la hipótesis nula cuando:

$$t_p > t_{\alpha, n_{cp} + n_{crt} - 2}, \text{ es decir, } t_{\text{calculado}} > t_{\text{Tabla-crítico}}$$

El valor crítico, para la aceptación de rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a las tablas de T-student, para un nivel de significancia de 5% y 12 grados de libertad, queda definido en:

$$t_{n_{cp} + n_{crt} - 2} = t_{0.05, 7 + 7 - 2} = t_{0.05, 12} = 1.7823$$

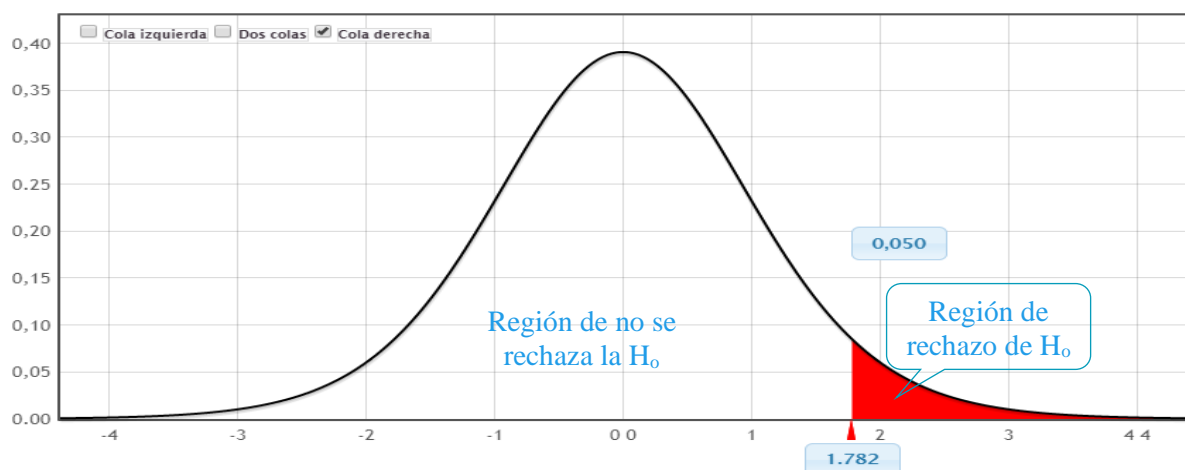


Figura 14. Gráfica del estadístico t para $\alpha=0.05$ y 12 grados de libertad

4.5.2.6. Toma de decisión.

La toma de una decisión (No se rechaza H_0 , o se rechaza H_0 y se acepta H_1), se hará respecto a los estadísticos de prueba calculados anteriormente para la edad del concreto a los 7,14 y 28 días.

Los resultados encontrados a los 7 días nos servirán para determinar la calidad del concreto, mientras a los 28 días será para evaluar la resistencia a compresión del concreto.

Tabla 54

Decisión de la hipótesis H_0 con el t_p para el concreto a los 7 días.

Descripción	GRUPOS (kg/cm ²) - Edad 7 días			
	I (0 _{CRT} +100 _C)	II (5 _{CRT} +95 _C)	III (10 _{CRT} +90 _C)	IV (15 _{CRT} +85 _C)
t_p		-7.63	-24.90	-33.37
α	0.05	0.05	0.05	0.05
$n_i + n_{ii} - 2$		12	12	12
$t_{\text{tabla student}}$		1.7823	1.7823	1.7823
Decisión		No se rechaza H_0	No se rechaza H_0	No se rechaza H_0

Tabla 55

Decisión de la hipótesis H_0 con el t_p para el concreto a los 14 días

Descripción	GRUPOS (kg/cm ²) - Edad 14 días			
	I (0 _{CRT} +100 _C)	II (5 _{CRT} +95 _C)	III (10 _{CRT} +90 _C)	IV (15 _{CRT} +85 _C)
t_p		-14.10	-35.41	-42.98
α	0.05	0.05	0.05	0.05
$n_i + n_{ii} - 2$		12	12	12
$t_{\text{tabla student}}$		1.7823	1.7823	1.7823
Decisión		No se rechaza H_0	No se rechaza H_0	No se rechaza H_0

Tabla 56

Decisión de la hipótesis H_0 con el t_p para el concreto a los 28 días.

Descripción	GRUPOS (kg/cm ²) - Edad 28 días			
	I (0 _{CRT} +100 _C)	II (5 _{CRT} +95 _C)	III (10 _{CRT} +90 _C)	IV (15 _{CRT} +85 _C)
t_p		-17.84	-39.49	-56.89
α	0.05	0.05	0.05	0.05
$n_i + n_{ii} - 2$		12	12	12
$t_{\text{tabla student}}$		1.7823	1.7823	1.7823
Decisión		No se rechaza H_0	No se rechaza H_0	No se rechaza H_0

En la tabla 54, 55 y 56 se observa que todos los estadísticos de prueba caen en la región donde “no se rechaza la hipótesis nula (H_0)”;

- H_0 : La adición de un porcentaje de ceniza de residuo de tarwi como sustituto del cemento portland IP no mejora la resistencia a compresión del concreto.

Por lo tanto, se ha demostrado que la adición de cenizas de tarwi no mejora la resistencia a compresión del concreto, esto con un nivel de confianza al 95% y 5% de error.

4.6. Resumen de la decisión de la hipótesis.

Hipótesis 1, se rechaza la H_1 , por lo tanto, se ha demostrado que las propiedades químicas de las cenizas de residuo de tarwi, calcinadas a 750°C , no tienen características aceptables según la norma ASTM C618-03, pues cumple con el contenido máximo permisible de trióxido de azufre, el contenido máximo de humedad y el porcentaje máximo de calcinación, sin embargo, no contiene la cantidad necesaria de óxidos.

Hipótesis 2, se rechaza H_1 , por lo que se ha demostrado que la adición porcentual de cenizas de residuo de tarwi, calcinado a 750°C , como sustituto del cemento portland no optimiza la trabajabilidad en el concreto. Solo es posible mantener la trabajabilidad “plástica” en el II grupo de combinación $5\%_{\text{CRT}}+95\%_{\text{C}}$.

Finalmente, la hipótesis 3, la adición porcentual de las cenizas de tarwi, calcinado a 750°C , como sustituto del cemento portland no mejora la resistencia a la compresión del concreto, sin embargo, es importante señalar que en el II grupo de combinación $5\%_{\text{CRT}}+95\%_{\text{C}}$ se obtienen resultados superiores a la resistencia de diseño, pero no supera al primer grupo (Concreto de control).

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

La composición química de la ceniza de residuo de tarwi resultante de la combustión en la intemperie y su posterior calcinación a una temperatura controlada de 750 °C garantiza la eliminación de los residuos orgánicos que alteran la composición y el comportamiento mecánico del concreto y la pulverización uniforme de este; sin embargo, la ceniza obtenida muestra una composición con bajo contenido de óxido de sílice, pero cumple con los demás requisitos químicos que exige la norma ASTM C618 para el uso de puzolanas en el concreto.

De acuerdo al análisis promedio de la trabajabilidad obtenida en cada comparativo de los concretos dosificados con adiciones de 5%, 10% y 15%, podemos concluir que la ceniza de residuo de tarwi, calcinada a una temperatura de 750°C, es menor en 3%, 11% y 29% respecto al concreto patrón. En tal efecto, los diseños con adiciones de ceniza de tarwi no optimizan la trabajabilidad para cumplir los requisitos de consistencia plástica. Sin embargo, se concluye que la adición de ceniza al 5% mantiene una consistencia trabajable al igual que el concreto patrón debido al grado de finura (pasante la malla N°200) que presentan ambos materiales, permitiéndonos reemplazar la ceniza de tarwi sin alterar la relación a/c y la resistencia.

El promedio de la temperatura inicial en cada comparativo de los concretos dosificados con adición de ceniza de tarwi en 5%, 10% y 15% es mayor en 0.5°C, 2°C y 3°C respecto al concreto patrón considerando que la diferencia existente está relacionada en los componentes de cada material cementante, la cual tiene efecto en el tiempo de fraguado. Por lo tanto, se concluye que existen beneficios óptimos del desarrollo del tiempo de fraguado del concreto, con adiciones de 5%, sin que la temperatura sobrepase el límite y/o genere una

expansión, pues en la zona altiplánica, las temperaturas son bajas y se requiere que el tiempo de fragua no sea lento.

El promedio de resistencia a la compresión obtenidos a la edad de 28 días denota que el concreto dosificado con cemento portland IP, es mayor respecto al concreto dosificado con adiciones de ceniza de tarwi en 16%, 35% y 50% para el comparativo de las adiciones de 5%, 10% y 15% respectivamente. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis de la investigación. Sin embargo, con la adición de 5% de ceniza de tarwi y un óptimo control de la temperatura del agua de curado es capaz de obtener concretos superiores al $f'c$ generando de esta forma una resistencia óptima a un precio económico, reducción de CO₂ y reutilización de un residuo que muchas veces es desestimado.

Por lo tanto, la investigación evalúa que con la adición de 5% de ceniza de tarwi, calcinado a 750°C, es capaz de mantener la resistencia a la compresión, obtener un menor tiempo de fraguado y un concreto con menor densidad a comparación del concreto patrón. Debido a la baja densidad de los materiales obtenidos, se estima que podrían ser utilizados hasta en pequeños componentes de mampostería “de ceniza de tarwi” en cerramientos sin problema estructural. Aportarían buenos niveles de resistencia a compresión, reduciría el peso de carga muerta a la edificación y excelente manipulación de concreto fresco puesta en obra en un menor tiempo de fraguado inicial.

Finalmente, la adición de ceniza de tarwi en el concreto representa una alternativa potencial para disminuir la contaminación ambiental asociada con el proceso de producción, agregando también valor a los abundantes residuos agrícolas regionales, proporcionando importantes beneficios económicos y ambientales.

5.2. Recomendaciones

Con respecto a la aplicación del concreto con cenizas de residuo de tarwi, se recomienda realizar un adecuado control de curado del concreto durante los primeros 14 días, debido a que en este periodo de tiempo el concreto desarrolla su resistencia alrededor del 90% del diseño establecido.

Se recomienda realizar estudios con adición de ceniza de residuo de tarwi por el potencial que brinda a la región, sometiéndolo a calcinaciones mayores a 1000°C. para que se produzca sílice en fases amorfas

Para mejorar el asentamiento “Slump” del concreto con ceniza de residuo de tarwi se debe considerar realizar investigaciones con aditivos plastificantes y super plastificantes que ayuden en las construcciones de concreto pre mezclado.

Se recomienda dar más énfasis e importancia a las investigaciones con el uso de desechos agrícolas para la construcción ya que es una gran alternativa de uso en mezclas de concreto, siempre y cuando cumplan con las exigencias de la norma ASTM C618.

Referencias bibliográficas

- American Coal Ash Association. (2017). *Fly Ash Facts for Highway Engineers* (Vol. 4ta edición). Washington DC: American Coal Ash Association.
- Baltazar, M., & Nieves, D. (2009). *Manual de prácticas de concreto hidráulico*. Mexico, Xalapa: Universidad Veracruzana.
- Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1-2), 333-338.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). (2010). *Informe de Sostenibilidad del BID*. Washington: BID.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Perú, Chiclayo: S/E.
- Calleja, J. (1982). Cenizas, cementos y hormigones con cenizas . (187), 600-636.
- Camargo, N., & Higuera, C. (2017). Concreto hidráulico modificado con sílice obtenida de la cascarilla del arroz. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 29(2), 91-109. doi:<http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1907>
- CAPECO (Cámara Peruana de la Construcción). (2018). *IEC-Informe Económico de la Construcción*. Perú: CAPECO.
- Carrión Muñoz, R. (Julio de 2000). Centro de investigación del tarwi. *Industrial Data-Facultad de Ingeniería Industrial- UNMSM*, 3(1), 3.
- Chávez, á., & Rodríguez, A. (30 de Junio de 2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Revista Academia & Virtualidad*, 7.
- DIA (Dirección de Información Agraria). (2012). *Boletín de información estadística agraria*. Puno: Dirección de información agraria Puno.
- Diario Andina. (23 de Noviembre de 2018). ADI Perú: 3 de cada 4 casas que se construyen en Perú son informales. *Autoconstrucción. ANDINA*, pág. 3. Obtenido de

<https://andina.pe/agencia/noticia-vivienda-3-cada-4-casas-se-construyen-peru-son-informales-733681.aspx>

- Fernández, M. (2007). *Hormigón* (Vol. Octava Edición). España: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Garay, O. (2015). *El Tarwi Alternativa para la Lucha Contra la Desnutrición Infantil* (Vol. 1ra Edición). Huancayo, Perú: INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA - INIA.
- Giraldo, B. (2006). *Dosificación de Mezclas de Hormigón*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Ingeniería Civil.
- Guzmán, A., Gutierrez, C., Amigo, V., Mejia de Gutierrez, R., & Delvasto, S. (abril-junio de 2011). Valoración puzolánica de la hoja de la caña de azúcar. *Materiales de Construcción*, 61, 225. doi:10.3989/mc.2011.54809
- Hines, W., & Montgomery, D. (1996). *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración* (Vol. Segunda Edición). México: Compañía editorial continental, S.A. de C.V.
- ICG. (2014). *Manual de la Construcción* (Vol. Décimo Tercera Edición). Perú: Manual de la Construcción y Gerencia (ICG).
- Jiménez, G. (2016). *Resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 210 kg/cm² con la adición de diferentes porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar (Tesis de pregrado)*. Cajamarca, Perú: Universidad Peruana del Norte.
- Jiménez, J. (2008). Métodos estadísticos. *Revista Española de la Farmacia Hospitalaria (SEFH)*, 125-142.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de mezclas en el concreto* (Vol. Primera Edición). EE.UU, Illinois: Portland Cement Association (PCA).

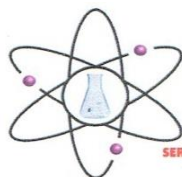
- Lencinas, F., & Incahuanaco, B. (2017). *Evaluación de mezclas de concreto con adiciones de ceniza de paja de trigo como sustituto en porcentaje del cemento Pórtland IP en la zona altiplánica (Tesis de pregrado)*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Mafla, A. (4 de Mayo de 2009). Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción. *Corporación Universitaria Minuto de Dios*, 78.
- Marcos, P., Messco, E., Cabrera, E., & Saavedra, L. (2010). *Sector cementero del Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Milena, I. (julio de 2008). Evaluación físico química de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 23(4), 55-66.
- MINAGRI . (2018). *Prácticas de conservación de suelos, producción, comercialización y perspectivas de granos andinos*. Lima: MINAGRI.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). (2017). *Análisis Económico de la Producción Nacional de la Quinua*. Perú: MINAGRI.
- MINAGRI. (2017). *Notas informativas*. Lima, Perú: Red AGRO.
- Neville, A., & Brooks, J. (1998). *Tecnología del concreto*. México: Trillas S.A. de C.V.
- Nilson, A., & Darwin, D. (2001). *Diseño de Estructuras de Acero* (Vol. Duodécima edición). Colombia, Santa fé Bogotá: Emma Ariza H.
- Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S., & Parody, A. (2018). Factores influyentes en la calidad del concreto. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(2), 161-172.
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú* (Vol. II edición). Perú, Lima: Colegio de Ingenieros del Perú-Consejo Nacional.
- Rivera, G. (1980). *Concreto Simple*. Colombia, Cauca: Universidad de Cauca.
- Rivva, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto* (Vol. 1ra edición). Lima, Peru: American Concrete Institute .

- Rivva, E. (2004a). *Naturaleza y materiales del concreto*. Lima: ICG.
- Rivva, E. (2004b). *Naturaleza y materiales del concreto- II congreso internacional de la construcción y EXPOCON 2004*. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG).
- Rivva, E. (2010a). *Supervisión del concreto en obra*. (3. edición, Ed.) Lima, San Isidro, Perú: ICG.
- Rivva, E. (2010b). *Materiales para el concreto*. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Rivva, E. (2012). *Ataques al concreto* (Vol. 2da Edición). Lima, San Isidro, Perú: ICG.
- Rivva, E. (2014). *Diseño de mezclas* (Vol. 2da edición). Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Rivva, E., Harman, J., Pasquel, E., Badoino, D., & Romero, A. (1998). *Tecnología del concreto*. Lima, Perú: American Concrete Institute .
- Sosa, M., & Aguila, I. (2000). Tecnología productiva de Cemento Puzolánico a partir de la ceniza de cascarilla de arroz. *Revista de la asociación para el progreso de la investigación universitaria*, 7(Nº2), 23-28.
- Suca, G., & Suca A., C. (2015). Potencial del tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) como futura fuente proteínica y avances de su desarrollo agroindustrial. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 18(2), 55-71.
- Tapia, M. (2015). *El tarwi, lupino andino* (Vol. Primera edición). Lima, Perú: Corporación Gráfica Universal SAC.
- Torre, A. (2004). *Curso Básico de Tecnología del Concreto*. Perú, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Anexos

Anexo A. Análisis químico y físico del material cementante

Temperatura de calcinación de ceniza de residuo de tarwi.



RHLAB S.A.C.
SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO

RH-M34-702

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE	
A SOLICITUD DE	: Bach. EDWIN GONZALO QUISPE CHOQUE
ASUNTO	: Servicio de Calcinación de Ceniza de Residuo de Tarwi
PROCEDENCIA	: Distrito de Yunguyo, Provincia de Yunguyo, Departamento de Puno.
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	
DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA	: Muestra Inicial Ceniza
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 01
UBICACIÓN	: Coordenadas N 8202597.83 E 489589.87
SOLICITUD DE ENSAYO	: Servicio de Calcinación de Ceniza de Residuo de Tarwi
MOTIVO	: Adición de ceniza de tarwi en la producción de concreto con f'c = 210 Kg/cm ²
RECEPCION DE MUESTRAS	: Bolsas de Plastico hermeticos, debidamente conservado
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	: 11/08/2019 al 12/08/2019
DETALLE DEL INFORME	

RESULTADOS DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CÓDIGO DEL CLIENTE
		CENIZA DE TARWI
Temperatura de Calcinación	°C	750
Tiempo de Calcinación	Hrs	4
Tiempo de enfriamiento	Hrs	20

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

* Calcinacion de la muestra denominada ceniza de tarwi en el horno para fundición a GLP, de cámara útil de 540X720X400mm (axpxh), construido integramente con ladrillos refractarios y cemento super castable de fragua fría.


Fátima Luque
CIP 167755
GERENTE DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140

laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

que Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
 quipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582
 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-04601

Señores: EDWIN GONZALO QUISPE CHOQUE
 Dirección: C.P. SANGUIRA - YUNGUYO - PUNO
 Atención: EDWIN GONZALO QUISPE CHOQUE
 Recepción: 13/08/2019
 Realización: 13/08/2019
 Observación: Laboratorio No realiza la toma de muestra.

Fecha de emisión: 17/08/2019
 Pág.: 1/1

P30

Método de ensayo aplicado

- *524 Método de Ensayo para Fosfatos por Digestión Selectiva - Fotometría
- *567 Método de Ensayo para Sulfatos por Digestión Específica - Fotometría
- *592 Método de Ensayo para Rocas Fusión alcalina (SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, Mn₂O₃, Na₂O, K₂O, LOI)
- *700 Determinación de humedad en minerales

Muestra	Nombre de muestra	Descrip. de muestra	Procedencia de la muestra	*700 H ₂ O %	*524 PO ₃ - ppm	*567 SO ₄ = ppm	*592 SiO ₂ %	*592 CaCO ₃ %	*592 MgO %	*592 Al ₂ O ₃ %	*592 Fe ₂ O ₃ %	*592 Mn ₂ O ₃ %	*592 Na ₂ O %	*592 K ₂ O %	*592 LOI %
MN19009205	CENIZA DE RESIDUOS DE TARWI	Ceniza	No proporcionado por el cliente	0.02	4464	20000	6.72	42.8	8.25	3.3	1.59	0.34	9.68	21.36	3.89

Seamonte
 Laboratorio Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Sr. VICENTE J. VAREZ NEIRA
 Gerente General
 Ing. Químico C.I.P. 19474

Resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

NH-18 N° 0364

Análisis físico del material cementante



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



LQ - 2019

N°0905

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de CENIZA DE TARWI
PROCEDENCIA : PROVINCIA DE YUNGUYO , DISTRITO DE YUNGUYO-PUNO
PROYECTO : "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI, EN LA PRODUCCION DE CONCRETO CON $f' C=210 \text{ Kg/cm}^2$ "
INTERESADO : Bach. EDWIN GONZALO QUISPE CHOQUE
MOTIVO : TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
MUESTREO : 20/08/2019, por el interesado
ANÁLISIS : 20/08/2019
COD. MUESTRA : B009-000153

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS:

COLOR : Gris, plomo claro
OLOR Y SABOR : Característico a la ceniza
CONSISTENCIA : Granulado fino

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARÁMETROS ANALIZADOS	UNIDAD	RESULTADOS DE CENIZA DE TARWI	CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO	MÉTODO DE ANÁLISIS
HUMEDAD	%	0.07	0.12	AOAC 925.10
MATERIA ORGANICA	%	0.015	<0.05	Método de Walkley-black
PESO EQUIVALENTE	g/cm ³	0.93	2.85	Método del cemento

Puno 09 de setiembre del 2019






 Edith Tello Palma
 DECANA
 FACULTAD ING. QUÍMICA
 UNA - PUNO




 Sr. José Miguel Castillo Prado
 Coordinador, Laboratorio Control de Calidad
 FACULTAD INGENIERIA QUÍMICA
 UNA-PUNO


 ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
 ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
 FIQ - UNA - CIP - 182393

Análisis físico del cemento Pórtland IP-Rumi.

	<p>UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES</p>	
---	---	---

PROYECTO	: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F'c=210 KG/CM ² "		
SOLICITANTE	: Edwin Gonzalo Quispe Choque	PROCEDENCIA	: Cemento Pórtland IP-Rumi
ASESOR	: Ing. Beatriz Aqise Pari	FECHA	: Agosto - septiembre 2019

FINURA DEL CEMENTO

ASTM C 184 – 94

DESCRIPCIÓN	Und.	Ensayos		
N° de ensayo		01	02	03
Peso de tara	gr.	104	109	105
Peso de tara + Muestra	gr.	154	159	155
Peso de Muestra	gr.	50	50	50
Peso Impurezas	gr.	00.15	00.09	00.10
Finura del cemento	%	99.70	99.82	99.80
Desviación estándar	%	0.064		
Finura del cemento Promedio	%	99.77		

GRADO DE HIDRATACIÓN

ASTM C-184

DESCRIPCIÓN	Und.	Ensayos		
N° de ensayo		01	02	03
Peso de tara	gr.	359	349	360
Peso de tara + Muestra	gr.	409	399	410
Peso de Muestra	gr.	50	50	50
Peso Impurezas	gr.	00	00	00
Grado de hidratación del cemento	%	00	00	00
Desviación estándar	%	0.231		
Grado de hidratación del cemento Promedio	%	00		

Anexo B Análisis químico del agua.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANALISIS FISICOQUÍMICO MUESTRA DE AGUA UTM 373174 E 8284452 N, ZONA 19L

PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN FJ – SLDA. AREQUIPA KM.06, VILLA CHULLUNQUIANI
INTERESADO : BACH. EDWIN GONZALO QUISPE CHOQUE.
MOTIVO : Análisis Físico-químico (PARA CONCRETO)
PROYECTO : "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO CON F'c=210 KG/CM²"
MUESTREO : 20/08/2019 (por el Interesado)
ANALISIS : 20/08/2019

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

Aspecto : Líquido

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

pH : 7.40 C.E.: 0.33 ms/cm.

CARACTERÍSTICA QUÍMICAS:

Cloruros (como Cl ⁻)	:	13.52	ppm
Sulfatos (como SO ⁻⁴)	:	40.00	ppm
Dureza total Carbonatos (como CaCO ₃)	:	265.15	ppm
Alcalinidad (como CaCO ₃)	:	136.22	ppm
Materia orgánica	:	0.050	ppm
Sólidos totales en suspensión	:	0.010	ppm
Sólidos disueltos totales	:	0.167	gr/L

DICTAMEN



La muestra analizada es en íones líquido y los resultados serán interpretados en el área correspondiente.

Puno, C.U. 20 de agosto del 2019.



Dr. Edwin Fernández Córdova
ANALISTA DE LOS CONTIENES DE AGUAS
PLANTAS, BRIMATOLOGÍA DE ABONOS Y FERTILIZANTES

Anexo C Ensayo de los agregados.

	<p>UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL</p> <p>LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO</p> <p>Y ENSAYO DE MATERIALES</p>	
---	--	---

PROYECTO	: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWM EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F'C=210 KG/CM2"		
SOLICITANTE	: Edwin Gonzalo Quispe Choque	PROCEDENCIA	: Cantera Ilo Ilo
ASESOR	: Ing. Beatriz Aquisé Pari	FECHA	: Agosto - septiembre 2019

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

NTP400.012, ASTM - C136

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
3/8"	9.525	0	0.00	0.00	100.00	
No4	4.760	25.0	4.71	4.71	95.29	
No8	2.360	65.0	12.24	16.95	83.05	
No16	1.180	101.0	19.02	35.97	64.03	
No30	0.590	135.0	25.42	61.39	38.61	
No 50	0.300	125.0	23.54	84.93	15.07	
No100	0.149	65.0	12.24	97.18	2.82	
No200	0.074	15.0	2.82	100.00	0.00	
Cazuela		0.0	0.00	100.00	0.00	
TOTAL		531.00	100.00			

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

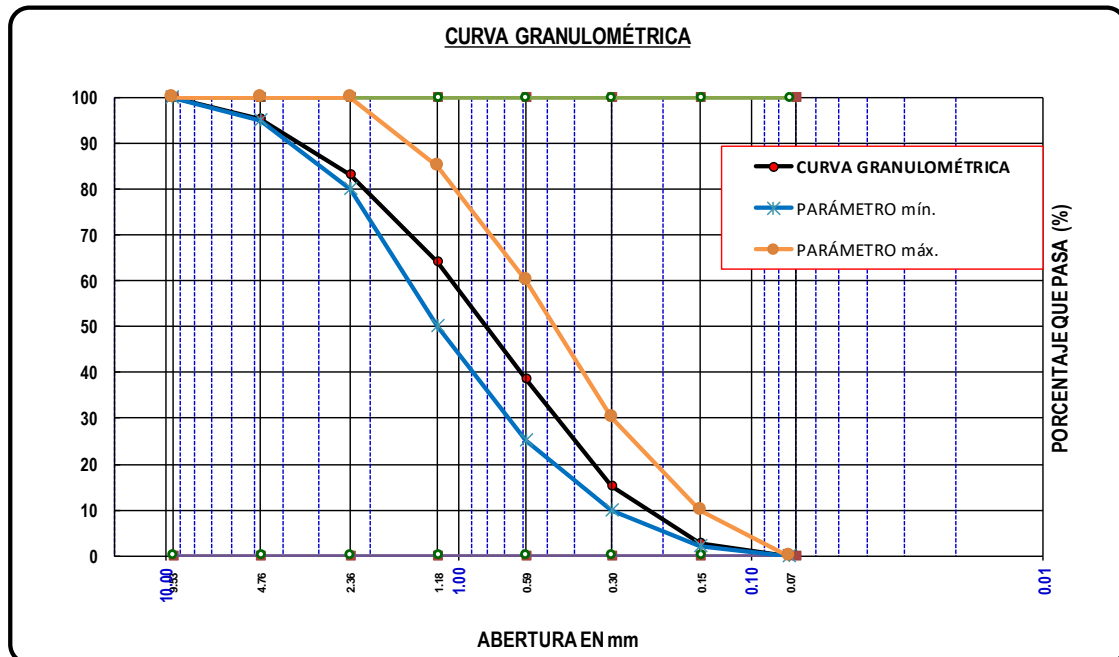
Peso Inicial	547.00 gr.
Peso lavado	531.00 gr.
Peso Perdido	16.00 gr.
% de Pérdida	2.93%

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

N°4

MÓDULO DE FINURA A.F.

3.01





PROYECTO : "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C=210 KG/CM2"
SOLICITANTE : Edwin Gonzalo Quispe Choque **PROCEDENCIA** : Cantera Surupana "Piedra Chancada"
ASESOR : Ing. Beatriz Aquisé Pari **FECHA** : Agosto - septiembre 2019

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

NTP400.012, ASTM - C136

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
3	76.200					
2 1/2	63.500					
2	50.800					
1 1/2	38.100					
1"	25.400	0	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.050	230	4.40	4.40	95.60	
1/2"	12.700	2900	55.45	59.85	40.15	
3/8"	9.525	2100	40.15	100.00	0.00	
No4	4.760	0	0.00	100.00	0.00	
Cazuela		0.00	0.00	100.00	0.00	
TOTAL		5230.00	100.00			

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

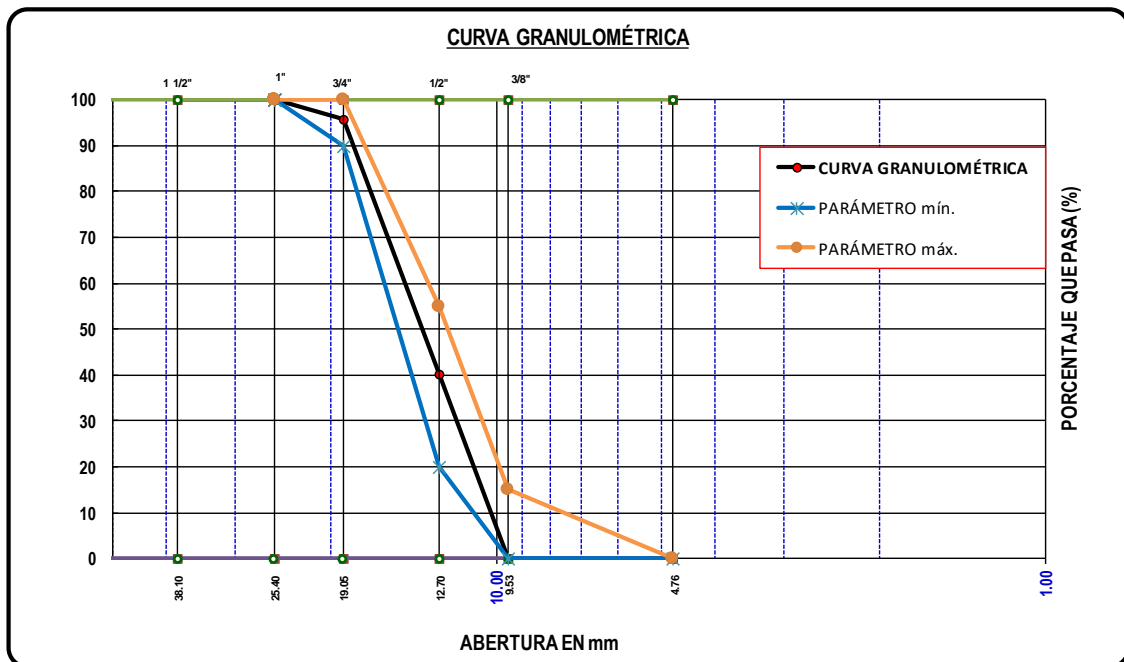
Peso Inicial 5275.00 gr.
 Peso Lavado 5230.00 gr.
 Peso Perdido 45.00 gr.
 % de pérdida 0.85%

TAMAÑO MÁXIMO

1"

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

3/4"





UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO
Y ENSAYO DE MATERIALES



PROYECTO : "ADICIÓN DE GENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C=210 KG/CM2"

SOLICITANTE : Edwin Gonzalo Quispe Choque

PROCEDENCIA : Cantera Ilo Ilo

ASESOR : Ing. Beatriz Aquisé Pari

FECHA : Agosto - septiembre 2019

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

NTP400.017, ASTM - C29/C29M

PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO

N° de ensayo	Und	1	2	3
Peso molde	gr	1851.00	1851.00	1851.00
Volumen de Molde	m3	0.0019	0.0019	0.0019
Peso de Molde + muestra	gr.	4892.00	4893.00	4894.00
Peso de la muestra	gr.	3041.00	3042.00	3043.00
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1599.97	1600.49	1601.02
Peso Unitario Suelto Promedio	kg/m3		1600.49	
Desviación Standard del ensayo			0.526	

DATOS DEL MOLDE DE ENSAYO

Diámetro (m.) : 0.11
 Altura (m.) : 0.20
 Volumen (m3) : 0.00190
 Peso (gr.) : 1851.00

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

N° de ensayo	Und	1	2	3
Peso molde	gr	1851.00	1851.00	1851.00
Volumen de Molde	m3	0.0019	0.0019	0.0019
Peso de Molde + muestra	gr.	5200.00	5199.00	5200.00
Peso de la muestra	gr.	3349.00	3348.00	3349.00
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1762.02	1761.49	1762.02
Peso Unitario Suelto Promedio	kg/m3		1761.84	
Desviación Standard del ensayo			0.304	

DATOS DEL MOLDE DE ENSAYO

Diámetro (m.) : 0.11
 Altura (m.) : 0.20
 Volumen (m3) : 0.00190
 Peso (gr.) : 1851.00



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO
Y ENSAYO DE MATERIALES



PROYECTO	: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F´C=210 KG/CM2"		
SOLICITANTE	: Edwin Gonzalo Quispe Choque	PROCEDENCIA	: Cantera Surupana "Piedra Chancada"
ASESOR	: Ing. Beatriz Aquisé Pari	FECHA	: Agosto - septiembre 2019

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

NTP400.017, ASTM - C29/C29M

PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO				
N° de ensayo	Und	1	2	3
Peso molde	gr	3910.00	3910.00	3910.00
Volumen de Molde	m3	0.0053	0.0053	0.0053
Peso de Molde + muestra	gr.	11658.00	11660.00	11659.00
Peso de la muestra	gr.	7748.00	7750.00	7749.00
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1461.49	1461.87	1461.68
Peso Unitario Suelto Promedio	kg/m3	1461.68		
Desviación Standard del ensayo		0.189		

DATOS DEL MOLDE DE ENSAYO

Diámetro (m.)	:	0.15
Altura (m.)	:	0.30
Volumen (m3)	:	0.00530
Peso (gr.)	:	3910.00

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO				
N° de ensayo	Und	1	2	3
Peso molde	gr	3910.00	3910.00	3910.00
Volumen de Molde	m3	0.0053	0.0053	0.0053
Peso de Molde + muestra	gr.	12840.00	12841.00	12840.00
Peso de la muestra	gr.	8930.00	8931.00	8930.00
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1684.45	1684.64	1684.45
Peso Unitario Suelto Promedio	kg/m3	1684.51		
Desviación Standard del ensayo		0.109		

DATOS DEL MOLDE DE ENSAYO

Diámetro (m.)	:	0.15
Altura (m.)	:	0.30
Volumen (m3)	:	0.00530
Peso (gr.)	:	3910.00



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO
Y ENSAYO DE MATERIALES**



PROYECTO : "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C=210 KG/CM²"
SOLICITANTE : Edwin Gonzalo Quispe Choque **PROCEDENCIA** : Cantera Surupana/Cantera Ilo Ilo
ASESOR : Ing. Beatriz Aquise Pari **FECHA** : Agosto - septiembre 2019

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

NTP400.021, NTP400.022

DESCRIPCION	Und.	AGREGADO FINO TNM N°4		
N° de ensayo		01	02	03
Peso de Muestra SSS	gr.	248	249	248
Peso de Fiola	gr.	128	129	128
Peso de Muestra SSS + Peso de Fiola + Peso de Agua	gr.	532	533	531
Peso del Agua	gr.	156	155	155
Peso de Muestra seca	gr.	239	240	239
Volumen de Fiola	cm ³	250	250	250
P.E. Masa	gr/cm ³	2.54	2.53	2.52
P.E. Masa Promedio	gr/cm ³	2.53		
P.E. Masa SSS	gr/cm ³	2.66	2.63	2.63
P.E. Masa SSS Promedio	gr/cm ³	2.64		
P.E. Aparente	gr/cm ³	2.88	2.82	2.85
P.E. Aparente Promedio	gr/cm ³	2.85		
Absorción	%	4.60	4.17	4.60
Absorción Promedio	%	4.46		

CUADRO DE RESÚMEN

P.E. Masa : 2.53 gr/cm³
P.E. Masa SSS : 2.64 gr/cm³
P.E. Aparente : 2.85 gr/cm³
Absorción : 4.457 %

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

NTP400.021, NTP400.022

DESCRIPCION	Und.	AGREGADO FINO TNM 3/4"		
N° de ensayo		01	02	03
Peso de Muestra Seca	gr.	4847	4842	4844
Peso de Muestra SSS	gr.	5005	5000	5001
Peso de Canastilla	gr.	0	0	0
Peso de Muestra saturada en agua + Peso de Canastilla	gr.	3120	3117	3465
Peso de Muestra Saturada en Agua	gr.	3120	3110	3115
P.E. Masa	gr/cm ³	2.57	2.56	2.57
P.E. Masa Promedio	gr/cm ³	2.57		
P.E. Masa SSS	gr/cm ³	2.90	2.89	2.89
P.E. Masa SSS Promedio	gr/cm ³	2.89		
P.E. Aparente	gr/cm ³	2.81	2.80	2.80
P.E. Aparente Promedio	gr/cm ³	2.80		
Absorción	%	3.26	3.26	3.24
Absorción Promedio	%	3.25		

CUADRO DE RESÚMEN

P.E. Masa : 2.57 gr/cm³
P.E. Masa SSS : 2.89 gr/cm³
P.E. Aparente : 2.80 gr/cm³
Absorción : 3.3 %



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO
 Y ENSAYO DE MATERIALES**



PROYECTO	: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C=210 KG/CM ² "					
SOLICITANTE	: Edwin Gonzalo Quispe Choque	PROCEDENCIA	: Cantera Surupana/Cantera Ilo Ilo			
ASESOR	: Ing. Beatriz Aquisé Pari	FECHA	: Agosto - septiembre 2019			

CONTENIDO DE HUMEDAD
 NTP400.016

DESCRIPCIÓN	Und.	AGREGADO FINO			AGREGADO GRUESO		
		01	02	03	01	02	03
N° de ensayo		01	02	03	01	02	03
Peso de tara	gr.	276	266	272	644	513	502
Peso de tara + Muestra Húmeda	gr.	976	966	972	4644	4513	4502
Peso de tara + Muestra Seca	gr.	937	927.00	934	4605	4473.00	4462
Peso del Agua	gr.	39	39	38	39	40	40
Peso de la muestra seca	gr.	661	661	662	3961	3960	3960
Contenido de Humedad	%	5.90	5.90	5.74	0.98	1.01	1.01
Contenido de Humedad Promedio	%	5.85			1.00		

PASANTE TAMIZ N° 200
 NTP 400.018, ASTM C117

DESCRIPCIÓN	Und.	AGREGADO FINO			AGREGADO GRUESO		
		01	02	03	01	02	03
N° de ensayo		01	02	03	01	02	03
Peso de tara	gr.	125	130	109	710	650	502
Peso de tara + Muestra seco natural	gr.	425	430	409	3310	3247	3009
Peso de tara + Muestra lavado seco	gr.	416.50	421.30	400.10	3288.00	3227.00	2988.00
Peso de muestra seco natural	gr.	300.00	300.00	300.00	2600	2597	2507
Peso de muestra seco lavado	gr.	291.50	291.30	291.10	2578	2577	2486
Material pasante del tamiz N°200	%	2.83	2.90	2.97	0.85	0.77	0.84
Desviación estándar	%	0.07			0.04		
Material pasante del tamiz N°200 Promedio	%	2.90			0.82		

Anexo D. Diseño de mezclas por el método de peso equivalente

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (ACI)

$$f'c = 210 \text{ KG/CM}^2$$

Método por peso equivalente, grupo de diseño: I - Concreto de control

1 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

CARACTERISTICAS	P.E. (Kg/m3)	Peso por bolsa (kg)	Contenido (%)
Cemento Portland IP-I	2850	42.5	100.00%
Ceniza de residuo de tarwi	930		0.00%

DESCRIPCIÓN	UND.	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Cantera		Ilo Ilo	Surupana
Tamaño Maximo Nominal		N°4	3/4"
Peso Especifico de la masa	Kg/m3	2528.22	2567.22
Peso Unitario Seco Suelto	Kg/m3	1600.49	1461.68
Peso Unitario Seco Compactado	Kg/m3	1761.84	1684.51
Contenido de Humedad	%	5.85	1.00
Absorción	%	4.46	3.25
Pasante tamiz N°200	%	2.90	0.82
Módulo de fineza		3.01

2 RESISTENCIA REQUERIDA PROMEDIO

$$f'c = 210.0 \text{ kg/m}^3$$

$$f'cr = 295.0 \text{ kg/m}^3$$

3 VALORES DE DISEÑO

DESCRIPCION	
Asentamiento SLUMP (Pulg)	3" a 4"
Tamaño maximo Nominal (Pulg)	3/4"
Volumen unitario de agua (ltrs/m3)	205.00
Aire incorporado (%)	0.00%
Relacion agua cemento	0.56
Volumen de agregado grueso	0.60

4 RELACIÓN a/(c+crt)

$$Fw = 0.00\%$$

Fw = Contenido de ceniza (% en peso del cemento)

$$a/(c+crt) = 0.53$$

$$\frac{a}{c+crt} = \frac{PE_c \cdot \frac{a}{c}}{\frac{1}{a/c} + 0.1846 \cdot Fw^2}$$

5 ANALISIS DE DISEÑO

Factor cemento

$$\text{Factor cemento} = \frac{205.00}{0.53} = 386.79 \text{ kg/m}^3 = 9.10 \text{ bolsas/m}^3$$

Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso de AG} = 0.60 * 1685 = 1008.8 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo de volúmenes absolutos

Peso del Cemento	C	:	386.79 kg/m3	*	100.00%	=	386.79 kg/m3
Peso de Ceniza de Tarwi	CRT	:	386.79 kg/m3	*	0.00%	=	0.00 kg/m3

Cemento	:	386.79 kg/m3	/	2850	=	0.136 m3
Ceniza de Tarwi	:	0.00 kg/m3	/	930	=	0.000 m3
Agua	:	205.00 ltrs/m3	/	1000	=	0.205 m3
Agregado Grueso	:	1008.8 kg/m3	/	2567.22	=	0.393 m3
Aire	:	0.00%	/	1	=	0.000 m3
						0.734 m3

Contenido de agregado Fino

Agregado Fino	:	1	-	0.734 m ³	=	0.266 m ³
P. del Agregado Fino	:	0.266 m ³	*	2528.22	=	673.33 kg/m ³

6 VALORES DE DISEÑO

Cemento	:	386.79 kg/m ³
Ceniza de Tarwi	:	0.00 kg/m ³
Agua de diseño	:	205.00 ltrs/m ³
Agregado fino Seco	:	673.33 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	:	1008.80 kg/m ³
		2273.93 kg/m ³

7 CORRECCION POR HUMEDAD DEL AGREGADO

		Peso seco		Humedad		
Agregado Fino	=	673.33 kg/m ³	*	1.0585	=	712.70 kg/m ³
Agregado Grueso	=	1008.80 kg/m ³	*	1.0100	=	1018.91 kg/m ³

Humedad superficial de los agregados

Agregado Fino	=	5.85%	-	4.46%	=	1.39%
Agregado Grueso	=	1.00%	-	3.25%	=	-2.25%

Aporte de humedad de los Agregados

Agregado fino Seco	:	673.33 kg/m ³	*	0.0139	=	9.36 ltrs/m ³
Agregado Grueso Seco	:	1008.80 kg/m ³	*	-0.0225	=	-22.73 ltrs/m ³
						<hr/> -13.37 ltrs/m ³

Agua efectiva = 218 ltrs/m³

8 CANTIDAD DE MATERIAL CORREGIDO POR M3

Cemento	=	386.79 kg/m ³
Ceniza de Tarwi	=	0.00 kg/m ³
Agua de diseño	=	218.4 ltrs/m ³
Agregado fino Hum.	=	712.70 kg/m ³
Agregado Grueso Hum.	=	1018.91 kg/m ³

9 PROPORCIÓN EN PESO

Cemento	=	$\frac{387 \text{ kg/m}^3}{387 \text{ kg/m}^3}$	=	1.0
Ceniza de Tarwi	=	$\frac{0 \text{ kg/m}^3}{387 \text{ kg/m}^3}$	=	0.00
Agua efectiva	=	$\frac{218 \text{ ltrs/m}^3}{387 \text{ kg/m}^3}$	=	0.56
Agregado Fino	=	$\frac{713 \text{ kg/m}^3}{387 \text{ kg/m}^3}$	=	1.84
Agregado Grueso	=	$\frac{1019 \text{ kg/m}^3}{387 \text{ kg/m}^3}$	=	2.63

10 CANTIDAD DE MATERIALES POR BOLSA

Cemento	=	1.0	*	42.5	=	42.5 kg/bolsa
Ceniza de Tarwi	=	0.0	*	42.5	=	0.0 kg/bolsa
Agua de diseño	=	0.56	*	42.5	=	24.0 ltrs/bolsa
Agregado fino Hum.	=	1.84	*	42.5	=	78.3 kg/bolsa
Agregado Grueso Hum.	=	2.63	*	42.5	=	112.0 kg/bolsa

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (ACI)

$$f'c = 210 \text{ KG/CM}^2$$

Método por peso equivalente, grupo de diseño: II - Adición de CRT5%

1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

CARACTERÍSTICAS	P.E. (Kg/m ³)	Peso por bolsa (kg)	Contenido (%)
Cemento Portland IP-I	2850	42.5	95.00%
Ceniza de residuo de tarwi	930		5.00%

DESCRIPCIÓN	UND.	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Cantera		Ilo Ilo	Surupana
Tamaño Maximo Nominal		N°4	3/4"
Peso Especifico de la masa	Kg/m ³	2528.22	2567.22
Peso Unitario Seco Suelto	Kg/m ³	1600.49	1461.68
Peso Unitario Seco Compactado	Kg/m ³	1761.84	1684.51
Contenido de Humedad	%	5.85	1.00
Absorción	%	4.46	3.25
Pasante tamiz N°200	%	2.90	0.82
Módulo de fineza		3.01

2 RESISTENCIA REQUERIDA PROMEDIO

$$f'c = 210.0 \text{ kg/m}^3$$

$$f'cr = 295.0 \text{ kg/m}^3$$

3 VALORES DE DISEÑO

DESCRIPCION	
Asentamiento SLUMP (Pulg)	3" a 4"
Tamaño maximo Nominal (Pulg)	3/4"
Volumen unitario de agua (ltrs/m ³)	205.00
Aire incorporado (%)	0.00%
Relacion agua cemento	0.56
Volumen de agregado grueso	0.60

4 RELACIÓN a/(c+crt)

$$Fw = 5.00\%$$

Fw = Contenido de ceniza (% en peso del cemento)

$$a/(c+crt) = 0.53$$

$$\frac{a}{c+crt} = \frac{PE_c \cdot \frac{a}{c}}{\frac{1}{a/c} + 0.1846 \cdot Fw^2}$$

5 ANALISIS DE DISEÑO

Factor cemento

$$\text{Factor cemento} = \frac{205.00}{0.53} = 386.79 \text{ kg/m}^3 = 9.10 \text{ bolsas/m}^3$$

Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso de AG} = 0.60 * 1685 = 1008.8 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo de volúmenes absolutos

Peso del Cemento C	:	386.79 kg/m ³	*	95.00%	=	367.45 kg/m ³
Peso de Ceniza de Tarwi CRT	:	386.79 kg/m ³	*	5.00%	=	19.34 kg/m ³

Cemento	:	367.45 kg/m ³	/	2850	=	0.129 m ³
Ceniza de Tarwi	:	19.34 kg/m ³	/	930	=	0.021 m ³
Agua	:	205.00 ltrs/m ³	/	1000	=	0.205 m ³
Agregado Grueso	:	1008.8 kg/m ³	/	2567.22	=	0.393 m ³
Aire	:	0.00%	/	1	=	0.000 m ³
					=	0.748 m ³

Contenido de agregado Fino

Agregado Fino	:	1	-	0.748 m ³	=	0.252 m ³
P. del Agregado Fino	:	0.252 m ³	*	2528.22	=	637.92 kg/m ³

6 VALORES DE DISEÑO

Cemento	:	367.45 kg/m ³
Ceniza de Tarwi	:	19.34 kg/m ³
Agua de diseño	:	205.00 ltrs/m ³
Agregado fino Seco	:	637.92 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	:	1008.80 kg/m ³
		2238.51 kg/m ³

7 CORRECCION POR HUMEDAD DEL AGREGADO

		Peso seco		Humedad		
Agregado Fino	=	637.92 kg/m ³	*	1.0585	=	675.21 kg/m ³
Agregado Grueso	=	1008.80 kg/m ³	*	1.0100	=	1018.91 kg/m ³

Humedad superficial de los agregados

Agregado Fino	=	5.85%	-	4.46%	=	1.39%
Agregado Grueso	=	1.00%	-	3.25%	=	-2.25%

Aporte de humedad de los Agregados

Agregado fino Seco	:	637.92 kg/m ³	*	0.0139	=	8.86 ltrs/m ³
Agregado Grueso Seco	:	1008.80 kg/m ³	*	-0.0225	=	-22.73 ltrs/m ³
					=	-13.86 ltrs/m ³
Agua efectiva	=	219 ltrs/m³				

8 CANTIDAD DE MATERIAL CORREGIDO POR M3

Cemento	=	367.45 kg/m ³
Ceniza de Tarwi	=	19.34 kg/m ³
Agua de diseño	=	218.9 ltrs/m ³
Agregado fino Hum.	=	675.21 kg/m ³
Agregado Grueso Hum.	=	1018.91 kg/m ³

9 PROPORCIÓN EN PESO

Cemento	=	$\frac{367 \text{ kg/m}^3}{367 \text{ kg/m}^3}$	=	1.0
Ceniza de Tarwi	=	$\frac{19 \text{ kg/m}^3}{367 \text{ kg/m}^3}$	=	0.05
Agua efectiva	=	$\frac{219 \text{ ltrs/m}^3}{367 \text{ kg/m}^3}$	=	0.60
Agregado Fino	=	$\frac{675 \text{ kg/m}^3}{367 \text{ kg/m}^3}$	=	1.84
Agregado Grueso	=	$\frac{1019 \text{ kg/m}^3}{367 \text{ kg/m}^3}$	=	2.77

10 CANTIDAD DE MATERIALES POR BOLSA

Cemento	=	1.0	*	42.5	=	42.5 kg/bolsa
Ceniza de Tarwi	=	0.1	*	42.5	=	2.2 kg/bolsa
Agua de diseño	=	0.60	*	42.5	=	25.3 ltrs/bolsa
Agregado fino Hum.	=	1.84	*	42.5	=	78.1 kg/bolsa
Agregado Grueso Hum.	=	2.77	*	42.5	=	117.8 kg/bolsa

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (ACI)

$$f'c = 210 \text{ KG/CM}^2$$

Método por peso equivalente, grupo de diseño: III - Adición de CRT10%

1 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

CARACTERISTICAS	P.E. (Kg/m3)	Peso por bolsa (kg)	Contenido (%)
Cemento Portland IP-I	2850	42.5	90.00%
Ceniza de residuo de tarwi	930		10.00%

DESCRIPCIÓN	UND.	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Cantera		Ilo Ilo	Surupana
Tamaño Maximo Nominal		N°4	3/4"
Peso Especifico de la masa	Kg/m3	2528.22	2567.22
Peso Unitario Seco Suelto	Kg/m3	1600.49	1461.68
Peso Unitario Seco Compactado	Kg/m3	1761.84	1684.51
Contenido de Humedad	%	5.85	1.00
Absorción	%	4.46	3.25
Pasante tamiz N°200	%	2.90	0.82
Módulo de fineza		3.01

2 RESISTENCIA REQUERIDA PROMEDIO

$$f'c = 210.0 \text{ kg/m}^3$$

$$f'cr = 295.0 \text{ kg/m}^3$$

3 VALORES DE DISEÑO

DESCRIPCION	
Asentamiento SLUMP (Pulg)	3" a 4"
Tamaño maximo Nominal (Pulg)	3/4"
Volumen unitario de agua (ltrs/m3)	205.00
Aire incorporado (%)	0.00%
Relacion agua cemento	0.56
Volumen de agregado grueso	0.60

4 RELACIÓN a/(c+crt)

$$Fw = 10.00\%$$

Fw = Contenido de ceniza (% en peso del cemento)

$$a/(c+crt) = 0.53$$

$$\frac{a}{c + crt} = \frac{PE_c * \frac{a}{c}}{\frac{1}{a/c} + 0.1846 * Fw^2}$$

5 ANALISIS DE DISEÑO

Factor cemento

$$\text{Factor cemento} = \frac{205.00}{0.53} = 386.79 \text{ kg/m}^3 = 9.10 \text{ bolsas/m}^3$$

Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso de AG} = 0.60 * 1685 = 1008.8 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo de volúmenes absolutos

Peso del Cemento C	:	386.79 kg/m3	*	90.00%	=	348.11 kg/m3
Peso de Ceniza de Tarwi CRT	:	386.79 kg/m3	*	10.00%	=	38.68 kg/m3

Cemento	:	348.11 kg/m3	/	2850	=	0.122 m3
Ceniza de Tarwi	:	38.68 kg/m3	/	930	=	0.042 m3
Agua	:	205.00 ltrs/m3	/	1000	=	0.205 m3
Agregado Grueso	:	1008.8 kg/m3	/	2567.22	=	0.393 m3
Aire	:	0.00%	/	1	=	0.000 m3
						<u>0.762 m3</u>

Contenido de agregado Fino

Agregado Fino	:	1	-	0.762 m ³	=	0.238 m ³
P. del Agregado Fino	:	0.238 m ³	*	2528.22	=	602.50 kg/m ³

6 VALORES DE DISEÑO

Cemento	:	348.11 kg/m ³
Ceniza de Tarwi	:	38.68 kg/m ³
Agua de diseño	:	205.00 ltrs/m ³
Agregado fino Seco	:	602.50 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	:	1008.80 kg/m ³
		2203.09 kg/m ³

7 CORRECCION POR HUMEDAD DEL AGREGADO

		Peso seco		Humedad		
Agregado Fino	=	602.50 kg/m ³	*	1.0585	=	637.72 kg/m ³
Agregado Grueso	=	1008.80 kg/m ³	*	1.0100	=	1018.91 kg/m ³

Humedad superficial de los agregados

Agregado Fino	=	5.85%	-	4.46%	=	1.39%
Agregado Grueso	=	1.00%	-	3.25%	=	-2.25%

Aporte de humedad de los Agregados

Agregado fino Seco	:	602.50 kg/m ³	*	0.0139	=	8.37 ltrs/m ³
Agregado Grueso Seco	:	1008.80 kg/m ³	*	-0.0225	=	-22.73 ltrs/m ³
					=	-14.36 ltrs/m ³
Agua efectiva	=	219 ltrs/m³				

8 CANTIDAD DE MATERIAL CORREGIDO POR M³

Cemento	=	348.11 kg/m ³
Ceniza de Tarwi	=	38.68 kg/m ³
Agua de diseño	=	219.4 ltrs/m ³
Agregado fino Hum.	=	637.72 kg/m ³
Agregado Grueso Hum.	=	1018.91 kg/m ³

9 PROPORCIÓN EN PESO

Cemento	=	$\frac{348 \text{ kg/m}^3}{348 \text{ kg/m}^3}$	=	1.0
Ceniza de Tarwi	=	$\frac{39 \text{ kg/m}^3}{348 \text{ kg/m}^3}$	=	0.11
Agua efectiva	=	$\frac{219 \text{ ltrs/m}^3}{348 \text{ kg/m}^3}$	=	0.63
Agregado Fino	=	$\frac{638 \text{ kg/m}^3}{348 \text{ kg/m}^3}$	=	1.83
Agregado Grueso	=	$\frac{1019 \text{ kg/m}^3}{348 \text{ kg/m}^3}$	=	2.93

10 CANTIDAD DE MATERIALES POR BOLSA

Cemento	=	1.0	*	42.5	=	42.5 kg/bolsa
Ceniza de Tarwi	=	0.1	*	42.5	=	4.7 kg/bolsa
Agua de diseño	=	0.63	*	42.5	=	26.8 ltrs/bolsa
Agregado fino Hum.	=	1.83	*	42.5	=	77.9 kg/bolsa
Agregado Grueso Hum.	=	2.93	*	42.5	=	124.4 kg/bolsa

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO (ACI)

$$f'c = 210 \text{ KG/CM}^2$$

Método por peso equivalente, grupo de diseño: IV - Adición de CRT15%

1 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

CARACTERISTICAS	P.E. (Kg/m3)	Peso por bolsa (kg)	Contenido (%)
Cemento Portland IP-I	2850	42.5	85.00%
Ceniza de residuo de tarwi	930		15.00%

DESCRIPCIÓN	UND.	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Cantera		Ilo Ilo	Surupana
Tamaño Maximo Nominal		N°4	3/4"
Peso Especifico de la masa	Kg/m3	2528.22	2567.22
Peso Unitario Seco Suelto	Kg/m3	1600.49	1461.68
Peso Unitario Seco Compactado	Kg/m3	1761.84	1684.51
Contenido de Humedad	%	5.85	1.00
Absorción	%	4.46	3.25
Pasante tamiz N°200	%	2.90	0.82
Módulo de fineza		3.01

2 RESISTENCIA REQUERIDA PROMEDIO

$$f'c = 210.0 \text{ kg/m}^3$$

$$f'cr = 295.0 \text{ kg/m}^3$$

3 VALORES DE DISEÑO

DESCRIPCION	
Asentamiento SLUMP (Pulg)	3" a 4"
Tamaño maximo Nominal (Pulg)	3/4"
Volumen unitario de agua (ltrs/m3)	205.00
Aire incorporado (%)	0.00%
Relacion agua cemento	0.56
Volumen de agregado grueso	0.60

4 RELACIÓN a/(c+crt)

$$Fw = 15.00\%$$

Fw = Contenido de ceniza (% en peso del cemento)

$$a/(c+crt) = 0.53$$

$$\frac{a}{c + crt} = \frac{PE_c * \frac{a}{c}}{\frac{1}{a/c} + 0.1846 * Fw^2}$$

5 ANALISIS DE DISEÑO

Factor cemento

$$\text{Factor cemento} = \frac{205.00}{0.53} = 386.79 \text{ kg/m}^3 = 9.10 \text{ bolsas/m}^3$$

Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso de AG} = 0.60 * 1685 = 1008.8 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo de volúmenes absolutos

Peso del Cemento C	:	386.79 kg/m3	*	85.00%	=	328.77 kg/m3
Peso de Ceniza de Tarwi CRT	:	386.79 kg/m3	*	15.00%	=	58.02 kg/m3

Cemento	:	328.77 kg/m3	/	2850	=	0.115 m3
Ceniza de Tarwi	:	58.02 kg/m3	/	930	=	0.062 m3
Agua	:	205.00 ltrs/m3	/	1000	=	0.205 m3
Agregado Grueso	:	1008.8 kg/m3	/	2567.22	=	0.393 m3
Aire	:	0.00%	/	1	=	0.000 m3
						<u>0.776 m3</u>

Contenido de agregado Fino

Agregado Fino	:	1	-	0.776 m ³	=	0.224 m ³
P. del Agregado Fino	:	0.224 m ³	*	2528.22	=	567.08 kg/m ³

6 VALORES DE DISEÑO

Cemento	:	328.77 kg/m ³
Ceniza de Tarwi	:	58.02 kg/m ³
Agua de diseño	:	205.00 ltrs/m ³
Agregado fino Seco	:	567.08 kg/m ³
Agregado Grueso Seco	:	1008.80 kg/m ³
		2167.67 kg/m ³

7 CORRECCION POR HUMEDAD DEL AGREGADO

		Peso seco		Humedad		
Agregado Fino	=	567.08 kg/m ³	*	1.0585	=	600.23 kg/m ³
Agregado Grueso	=	1008.80 kg/m ³	*	1.0100	=	1018.91 kg/m ³

Humedad superficial de los agregados

Agregado Fino	=	5.85%	-	4.46%	=	1.39%
Agregado Grueso	=	1.00%	-	3.25%	=	-2.25%

Aporte de humedad de los Agregados

Agregado fino Seco	:	567.08 kg/m ³	*	0.0139	=	7.88 ltrs/m ³
Agregado Grueso Seco	:	1008.80 kg/m ³	*	-0.0225	=	-22.73 ltrs/m ³
					=	-14.85 ltrs/m ³
Agua efectiva	=	220 ltrs/m³				

8 CANTIDAD DE MATERIAL CORREGIDO POR M3

Cemento	=	328.77 kg/m ³
Ceniza de Tarwi	=	58.02 kg/m ³
Agua de diseño	=	219.8 ltrs/m ³
Agregado fino Hum.	=	600.23 kg/m ³
Agregado Grueso Hum.	=	1018.91 kg/m ³

9 PROPORCIÓN EN PESO

Cemento	=	$\frac{329 \text{ kg/m}^3}{329 \text{ kg/m}^3}$	=	1.0
Ceniza de Tarwi	=	$\frac{58 \text{ kg/m}^3}{329 \text{ kg/m}^3}$	=	0.18
Agua efectiva	=	$\frac{220 \text{ ltrs/m}^3}{329 \text{ kg/m}^3}$	=	0.67
Agregado Fino	=	$\frac{600 \text{ kg/m}^3}{329 \text{ kg/m}^3}$	=	1.83
Agregado Grueso	=	$\frac{1019 \text{ kg/m}^3}{329 \text{ kg/m}^3}$	=	3.10

10 CANTIDAD DE MATERIALES POR BOLSA

Cemento	=	1.0	*	42.5	=	42.5 kg/bolsa
Ceniza de Tarwi	=	0.2	*	42.5	=	7.5 kg/bolsa
Agua de diseño	=	0.67	*	42.5	=	28.4 ltrs/bolsa
Agregado fino Hum.	=	1.83	*	42.5	=	77.6 kg/bolsa
Agregado Grueso Hum.	=	3.10	*	42.5	=	131.7 kg/bolsa

Anexo E Ensayo de tiempo de fraguado inicial.

Tiempo de fraguado inicial del cemento Pórtland IP (Grupo I)

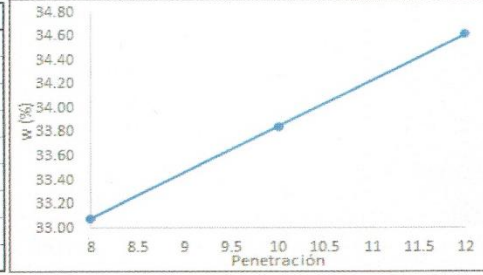
	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA FICHA DE LABORATORIO LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO</p>	
---	--	---

PROYECTO	: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C210 KG/CM ² "		
SOLICITANTE	: Edwin Gonzalo Quispe Choque	ENSAYO	: Determinación del tiempo de fraguado inicial (Método Aguja de Vicat)
LUGAR	: Laboratorio de Tecnología del concreto UAC		

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO
 NTP334.006 y ASTM C 187-98

Grupo : I (Cemento Rumi IP)
 T° Ambiente : 22.5°C T° agua : 23 °C

Descripción	Ud.	Resultados		
		1	2	3
N° de Prueba		1	2	3
Peso de Cemento	g.	650	650	650
Peso de CRT	g.	0	0	0
Volumen del agua	ml.	215	220	225
Tiempo de mezclado	min.	03:15	03:15	03:14
Lectura Inicial	mm.	0	0	0
Lectura Final	mm.	8	10	12
Penetración	mm.	8	10	12
Relación a/c (w)	%	33.08	33.85	34.62



Por lo tanto el porcentaje de consistencia ideal es: 33.85 %

TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL
 NTP334.006 y ASTM C191-01

Tiempo (min)	PENETRACIÓN (mm)			
	A	T °C	B	T °C
0	45	21.5	45	20.0
30	45	20.0	45	20.5
45	45	19.9	45	19.5
60	45	19.7	45	19.7
75	45	19.3	45	20.0
90	45	19.7	45	21.1
105	45	20.0	45	21.1
120	45	21.0	45	20.7
135	45	21.1	40	20.5
150	40	20.7	32	20.3
165	34	20.5	28	20.2
180	26	20.3	25	20.0
195	24	20.0		
210				
225				
240				


 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA - C.P. INGENIERIA CIVIL
 VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN

Tiempo de fraguado inicial del Grupo II (5%CRT+95%C)

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA FICHA DE LABORATORIO LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO	
---	--	---

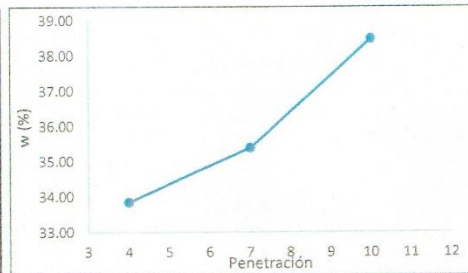
PROYECTO	: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C210 KG/CM2"	
SOLICITANTE	: Edwin Gonzalo Quispe Choque	ENSAYO : Determinación del tiempo de fraguado inicial (Método Aguja de Vicat)
LUGAR	: Laboratorio de Tecnología del Concreto UAC	

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO

NTP334.006 y ASTM C 187-98

Grupo : II (Adición de 5% de CRT + 95% Cemento)
 T° Ambiente : 20.5°C T° agua : 23 °C

Descripción	Ud.	Resultados		
		1	2	3
N° de Prueba		1	2	3
Peso de Cemento	g.	617.5	617.5	617.5
Peso de CRT	g.	32.5	32.5	32.5
Volumen del agua	ml.	220	230	250
Tiempo de mezclado	min.	03:18	03:17	03:16
Lectura Inicial	mm.	0	0	0
Lectura Final	mm.	4	7	10
Penetración	mm.	4	7	10
Relación a/c (w)	%	33.85	35.38	38.46



Por lo tanto el porcentaje de consistencia ideal es: 38.46 %

TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL

NTP334.006 y ASTM C191-01

Tiempo (min)	PENETRACIÓN (mm)			
	A	T °C	B	T °C
0	45	20.7	45	21.1
30	45	21.1	45	21.1
45	45	20.1	45	20.3
60	45	20.3	44	19.8
75	44	19.8	39	20
90	41	20	35	21.8
105	37	21.8	32	20
120	27	20	26	20.8
135	24	20.8	22	20.7
150				
165				
180				
195				
210				
225				
240				


 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA - I.P. INGENIERIA CIVIL
 Y ARQUITECTURA - INGENIERIA CIVIL

Tiempo de fraguado inicial del Grupo III (10%CRT+90%C)

	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA FICHA DE LABORATORIO LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO</p>	
---	---	---

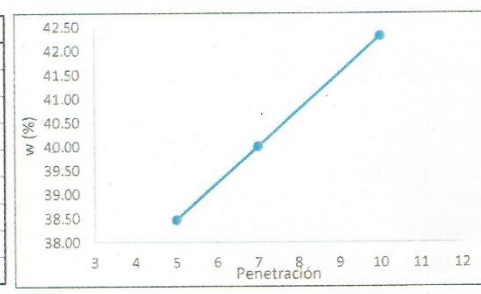
PROYECTO	: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C210 KG/CM ² "		
SOLICITANTE	: Edwin Gonzalo Quispe Choque	ENSAYO	: Determinación del tiempo de fraguado inicial (Método Aguja de Vicat)
LUGAR	: Laboratorio de Tecnología del concreto UAC		

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO

NTP334.006 y ASTM C 187-98

Grupo : III (Adición de 10% de CRT + 90% Cemento)
 T° Ambiente : 20.8°C T° agua : 23 °C

Descripción	Ud.	Resultados		
		1	2	3
N° de Prueba		1	2	3
Peso de Cemento	g.	585	585	585
Peso de CRT	g.	65	65	65
Volumen del agua	ml.	250	260	275
Tiempo de mezclado	min.	03:20	03:19	03:18
Lectura Inicial	mm.	0	0	0
Lectura Final	mm.	5	7	10
Penetración	mm.	5	7	10
Relación a/c (w)	%	38.46	40.00	42.31



Por lo tanto el porcentaje de consistencia ideal es: 42.31 %

TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL

NTP334.006 y ASTM C191-01

Tiempo (min)	PENETRACIÓN (mm)			
	A	T °C	B	T °C
0	45	20.5	45	21.1
30	45	20.7	45	21.5
45	45	21.1	45	20
60	40	21.5	39	20
75	35	20	32	19.7
90	28	20	29	19.9
105	25	19.7	23	20
120				
135				
150				
165				
180				
195				
210				
225				
240				


 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA - I.P. INGENIERIA CIVIL
 PROF. ANTONIO BUSTOS
 Y ASISTENTE - I.P. INGENIERIA CIVIL

Anexo F Granulometría de la arena normalizada para elaboración de morteros

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES	
---	--	---

PROYECTO	: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWM EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F'c=210 KG/CM2"		
SOLICITANTE	: Edwin Gonzalo Quispe Choque	ANÁLISIS	: Granulometría de arena OTAWA
ASESOR	: Ing. Beatriz Aquisé Pari	FECHA	: Agosto - septiembre 2019

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
NTP334.051, ASTM C-109

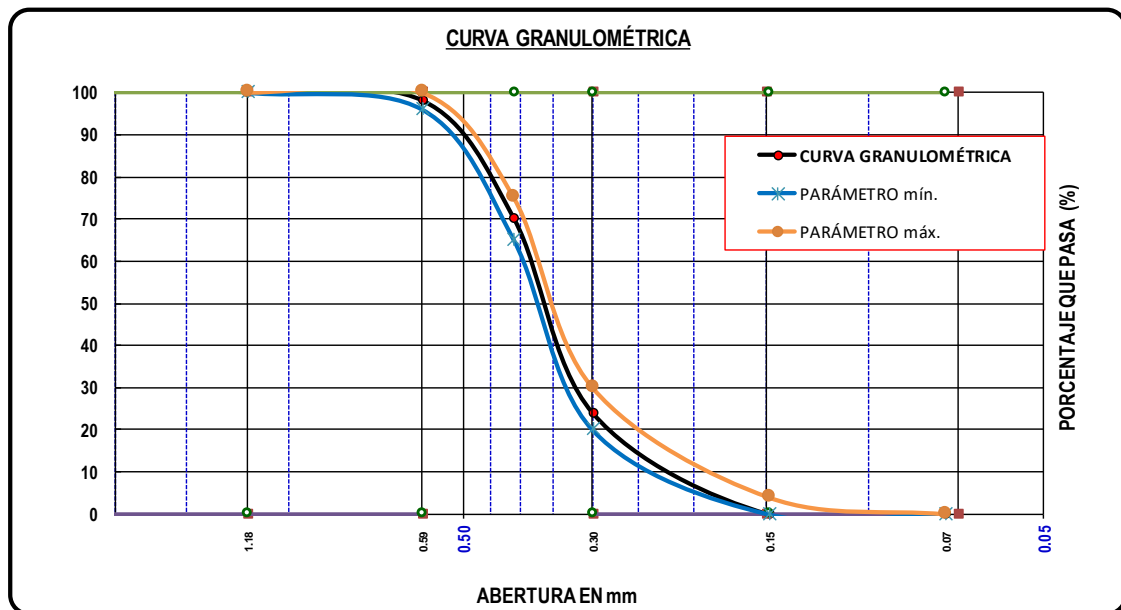
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
3/8"	9.525					
No4	4.760					
No8	2.360					
No16	1.180	0.0	0.00	0.00	100.00	
No30	0.590	10.0	2.00	2.00	98.00	
No40	0.410	140.0	28.00	30.00	70.00	
No50	0.300	230.0	46.00	76.00	24.00	
No100	0.149	120.0	24.00	100.00	0.00	
No200	0.074	0.0	0.00	100.00	0.00	G. Controlada
Cazuela		0.0	0.00	100.00	0.00	
TOTAL		500.00	100.00			

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA



Peso Inicial	510.00 gr.
Peso Lavado	500.00 gr.
Peso Perdido	10.00 gr.
% de pérdida	1.96%

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

N°30



Anexo G Ensayo de resistencia a la compresión del mortero a los 7 y 28 días

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES	
---	--	---

PROYECTO	: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C=210 KG/CM ² "		
SOLICITANTE	: Bach.Edwin Gonzalo Quispe Choque	ESTRUCTURA	: Resultados de los mortero elaborados con distintos porcentajes de adición de Ceniza de Residuo de Tarwi a los 7 días
ASESOR	: Ing. Beatriz Aquisé Pari		

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE MORTERO

NTP 334.051 ASTM C-109

N°	Descripción	Composición (%)		Edad (días)	Lados del espécimen (cm)		Altura del cubo (cm)	Área (cm ²)	Peso (gr)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Promedio de Resistencia	% de Resistencia
		CRT	Cemento		L1	L2							
1	I- M Patrón	0%	100%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	265.00	5184.90	207.40	177.61	100%
2	I- M Patrón	0%	100%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	262.00	3853.30	154.13		
3	I- M Patrón	0%	100%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	261.00	4456.20	178.25		
4	I- M Patrón	0%	100%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	262.00	4266.30	170.65		
5	II - CRT 5%	5%	95%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	260.00	3848.90	153.96	161.52	91%
6	II - CRT 5%	5%	95%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	262.00	4021.10	160.84		
7	II - CRT 5%	5%	95%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	260.00	3761.90	150.48		
8	II - CRT 5%	5%	95%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	263.00	4520.30	180.81		
9	III-CRT 10%	10%	90%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	257.00	3939.80	157.59	140.23	79%
10	III-CRT 10%	10%	90%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	256.00	3807.60	152.30		
11	III-CRT 10%	10%	90%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	256.00	3142.40	125.70		
12	III-CRT 10%	10%	90%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	254.00	3133.60	125.34		
13	IV-CRT 15%	15%	85%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	247.00	3152.50	126.10	126.79	71%
14	IV-CRT 15%	15%	85%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	249.00	3188.40	127.54		
15	IV-CRT 15%	15%	85%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	251.00	3261.20	130.45		
16	IV-CRT 15%	15%	85%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	252.00	3077.10	123.08		
17	V-CRT 20%	20%	80%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	250.00	2275.00	91.00	77.08	43%
18	V-CRT 20%	20%	80%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	248.00	1996.00	79.84		
19	V-CRT 20%	20%	80%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	252.00	1537.80	61.51		
20	V-CRT 20%	20%	80%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	251.00	1899.00	75.96		
21	VI-CRT 25%	25%	75%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	246.00	1427.50	57.10	63.80	36%
22	VI-CRT 25%	25%	75%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	247.00	1820.00	72.80		
23	VI-CRT 25%	25%	75%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	245.00	1685.00	67.40		
24	VI-CRT 25%	25%	75%	7	5.0	5.0	5.00	25.00	241.00	1447.50	57.90		

Observaciones

*Ensayo desarrollado por los tesisistas en el laboratorio de tecnología de los materiales y concreto



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO
Y ENSAYO DE MATERIALES



PROYECTO : "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C=210 KG/CM2"
SOLICITANTE : Bach.Edwin Gonzalo Quispe Choque **ESTRUCTURA** : : Resultados de los mortero elaborados con distintos porcentajes de adición de Ceniza de Residuo de Tarwi a los 28 días
ASESOR : Ing. Beatriz Aquisé Pari

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPÉCIMENES DE MORTERO

NTP 334.051 ASTM C-109

N°	Grupo	Composición (%)		Edad (días)	Lados del espécimen (cm)		Altura del cubo (cm)	Área (cm ²)	Peso (gr)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Promedio de Resistencia	% de Resistencia
		CRT	Cemento		L1	L2							
1	I- M Patrón	0%	100%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	265.00	5993.20	239.73	236.11	96%
2	I- M Patrón	0%	100%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	262.00	5614.80	224.59		
3	I- M Patrón	0%	100%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	261.00	5962.90	238.52		
4	I- M Patrón	0%	100%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	262.00	6039.70	241.59		
5	II - CRT 5%	5%	95%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	260.00	5232.10	209.28	214.99	88%
6	II - CRT 5%	5%	95%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	262.00	5211.10	208.44		
7	II - CRT 5%	5%	95%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	260.00	5717.00	228.68		
8	II - CRT 5%	5%	95%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	263.00	5338.70	213.55		
9	III-CRT 10%	10%	90%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	257.00	4448.30	177.93	170.90	70%
10	III-CRT 10%	10%	90%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	256.00	4146.30	165.85		
11	III-CRT 10%	10%	90%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	256.00	4228.70	169.15		
12	III-CRT 10%	10%	90%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	254.00	4266.60	170.66		
13	IV-CRT 15%	15%	85%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	247.00	3596.70	143.87	149.38	61%
14	IV-CRT 15%	15%	85%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	249.00	3942.40	157.70		
15	IV-CRT 15%	15%	85%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	251.00	3478.80	139.15		
16	IV-CRT 15%	15%	85%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	252.00	3920.00	156.80		
17	V-CRT 20%	20%	80%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	250.00	3105.40	124.22	123.48	50%
18	V-CRT 20%	20%	80%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	248.00	3111.20	124.45		
19	V-CRT 20%	20%	80%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	252.00	3035.50	121.42		
20	V-CRT 20%	20%	80%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	251.00	3095.80	123.83		
21	VI-CRT 25%	25%	75%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	246.00	2942.20	117.69	119.11	49%
22	VI-CRT 25%	25%	75%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	247.00	3028.80	121.15		
23	VI-CRT 25%	25%	75%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	245.00	2860.70	114.43		
24	VI-CRT 25%	25%	75%	28	5.0	5.0	5.00	25.00	241.00	3078.90	123.16		

Observaciones

*Ensayo desarrollado por los tesisistas en el laboratorio de tecnología de los materiales y concreto

Anexo H Peso Unitario del concreto fresco

	<p>UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES</p>	
---	--	---

PROYECTO	: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C=210 KG/CM2"		
SOLICITANTE	: Edwin Gonzalo Quispe Choque	PRUEBA	: Peso Unitario del Concreto Fresco
ASESOR	: Ing. Beatriz Aquisé Pari	FECHA	: Agosto - septiembre 2019

<p>RESULTADO</p> <p>PESO UNITARIO (MEZCLA GRUPO I) Concreto de Control</p>

Descripción	Muestra			
N° de ensayo	Und	1	2	3
Peso de Molde + muestra	gr.	8647.00	8649.00	8648.00
Peso de la muestra	gr.	6192.00	6194.00	6193.00
Peso Unitario del concreto	kg/m3	2260.62	2261.35	2260.98
Peso Unitario del concreto Promedickg/m3		2260.98		
Desviación Standard del ensayo	%	0.37		

DATOS DE LA OLLA DE RENDIMIENTO

Diámetro (m.)	: 0.15
Altura (m.)	: 0.16
Volumen (m3)	: 0.00274
Peso (gr.)	: 2455.00

<p>RESULTADO</p> <p>PESO UNITARIO (MEZCLA GRUPO II) Concreto de con adición de 5% de Ceniza de Residuo de Tarwi</p>
--

Descripción	Muestra			
N° de ensayo	Und	1	2	3
Peso de Molde + muestra	gr.	8280.00	8279.00	8282.00
Peso de la muestra	gr.	5825.00	5824.00	5827.00
Peso Unitario del concreto	kg/m3	2126.63	2126.26	2127.36
Peso Unitario del concreto Promedickg/m3		2126.75		
Desviación Standard del ensayo	%	0.56		

DATOS DE LA OLLA DE RENDIMIENTO

Diámetro (m.)	: 0.15
Altura (m.)	: 0.16
Volumen (m3)	: 0.00274
Peso (gr.)	: 2455.00

<p>RESULTADO</p> <p>PESO UNITARIO (MEZCLA GRUPO III) Concreto de con adición de 10% de Ceniza de Residuo de Tarwi</p>
--

Descripción	Muestra			
N° de ensayo	Und	1	2	3
Peso de Molde + muestra	gr.	7908.00	7910.00	7909.00
Peso de la muestra	gr.	5453.00	5455.00	5454.00
Peso Unitario del concreto	kg/m3	1990.82	1991.55	1991.18
Peso Unitario del concreto Promedickg/m3		1991.18		
Desviación Standard del ensayo	%	0.37		

DATOS DE LA OLLA DE RENDIMIENTO

Diámetro (m.)	: 0.15
Altura (m.)	: 0.16
Volumen (m3)	: 0.00274
Peso (gr.)	: 2455.00



<p>RESULTADO</p> <p>PESO UNITARIO (MEZCLA GRUPO IV) Concreto de con adición de 15% de Ceniza de Residuo de Tarwi</p>

Descripción	Muestra			
N° de ensayo	Und	1	2	3
Peso de Molde + muestra	gr.	7339.00	7340.00	7338.00
Peso de la muestra	gr.	4884.00	4885.00	4883.00
Peso Unitario del concreto	kg/m3	1783.08	1783.45	1782.72
Peso Unitario del concreto Promedickg/m3		1783.08		
Desviación Standard del ensayo	%	0.37		

DATOS DE LA OLLA DE RENDIMIENTO

Diámetro (m.)	: 0.15
Altura (m.)	: 0.16
Volumen (m3)	: 0.00274
Peso (gr.)	: 2455.00

Anexo I Resultado de diámetros, alturas y peso de los especímenes de concreto

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES	
---	--	---

PROYECTO	: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C=210 KG/CM2"		
SOLICITANTE	: Bach.Edwin Gonzalo Quispe Choque	ESTRUCTURA	: Resultados de los diámetros, alturas y peso del Concreto Patron (I-CP) elaborados con 0% adición de Ceniza de Residuo de Tarwi
ASESOR	: Ing. Beatriz Aquisé Pari		

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILINDRICOS DE CONCRETO

NTP 339.034 ASTM C-39

N°	Edad (días)	Diámetro del espécimen (cm)			Ø promedio (cm)	Altura del espécimen (cm)			H promedio (cm)	Grado de Esbeltez	Volumen (cm ³)	Peso (gr)	Densidad (kg/m ³)	Tipo de Concreto
		Ø1	Ø2	Ø3		H1	H2	H3						
1	7	9.9	10.0	10.0	9.97	19.9	20.0	19.8	19.90	2.00	1555.09	3737.00	2403.08	Normal
2	7	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3742.00	2394.20	Normal
3	7	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3745.00	2396.12	Normal
4	7	9.9	10.0	10.0	9.97	19.9	19.9	19.9	19.90	2.00	1562.94	3732.00	2387.80	Normal
5	7	10.0	10.0	9.9	9.97	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1531.84	3735.00	2438.24	Normal
6	7	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3735.00	2389.72	Normal
7	7	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	20.0	19.9	19.93	1.99	1562.94	3740.00	2392.92	Normal
8	14	10.0	9.9	10.0	9.97	19.9	19.9	19.9	19.90	2.00	1562.94	3737.00	2391.00	Normal
9	14	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	19.9	19.9	19.90	1.99	1562.94	3760.00	2405.72	Normal
10	14	10.0	10.0	9.9	9.97	20.0	19.9	19.9	19.93	2.00	1531.84	3742.00	2442.81	Normal
11	14	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3730.00	2386.52	Normal
12	14	9.9	10.0	10.0	9.97	19.9	19.9	19.9	19.90	2.00	1562.94	3759.00	2405.08	Normal
13	14	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	20.0	19.9	19.93	1.99	1562.94	3760.00	2405.72	Normal
14	14	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	19.9	19.9	19.93	1.99	1562.94	3730.00	2386.52	Normal
15	28	9.9	10.0	10.0	9.97	19.9	20.0	20.0	19.97	2.00	1570.80	3740.00	2380.96	Normal
16	28	10.0	10.0	9.9	9.97	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1531.84	3751.00	2448.69	Normal
17	28	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	20.0	20.00	2.00	1570.80	3735.00	2377.77	Normal
18	28	10.0	9.9	10.0	9.97	20.0	19.9	19.9	19.93	2.00	1562.94	3720.00	2380.13	Normal
19	28	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	20.0	20.00	2.00	1570.80	3746.00	2384.78	Normal
20	28	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	20.0	20.00	2.00	1570.80	3728.00	2373.32	Normal
21	28	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	19.9	19.9	19.90	1.99	1562.94	3747.00	2397.40	Normal

Observaciones

*Ensayo desarrollado por los testistas en el laboratorio de tecnología de los materiales y concreto



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO
Y ENSAYO DE MATERIALES



PROYECTO : "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C=210 KG/CM2"
SOLICITANTE : Bach.Edwin Gonzalo Quispe Choque **ESTRUCTURA** : : Resultados de los diámetros, alturas y peso del
 Concreto elaborados con 5% adición de Ceniza de Residuo de Tarwi
ASESOR : Ing. Beatriz Aquisé Pari (CRT5% - II)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPÉCIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO

NTP 339.034 ASTM C-39

N°	Edad (días)	Diámetro del espécimen (cm)			Ø promedio (cm)	Altura del espécimen (cm)			H promedio (cm)	Grado de Esbeltez	Volumen (cm ³)	Peso (gr)	Densidad (kg/m ³)	Tipo de Concreto
		Ø1	Ø2	Ø3		H1	H2	H3						
A1	7	9.9	10.0	10.0	9.97	19.9	20.0	19.9	19.93	2.00	1562.94	3685.00	2357.73	Normal
A2	7	10.0	10.0	9.9	9.97	20.0	19.9	19.9	19.93	2.00	1531.84	3678.00	2401.03	Normal
A3	7	9.9	10.0	10.0	9.97	19.9	19.9	19.9	19.90	2.00	1562.94	3680.00	2354.53	Normal
A4	7	9.9	10.0	9.9	9.93	19.9	19.9	19.9	19.90	2.00	1531.84	3660.00	2389.28	Normal
A5	7	9.9	10.0	9.9	9.93	19.8	19.9	19.9	19.87	2.00	1531.84	3677.00	2400.38	Normal
A6	7	9.9	10.0	10.0	9.97	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3655.00	2338.54	Normal
A7	7	10.0	9.9	9.9	9.93	19.9	19.9	19.9	19.90	2.00	1531.84	3675.00	2399.08	Normal
A8	14	10.0	9.9	10.0	9.97	19.9	19.9	19.9	19.90	2.00	1562.94	3700.00	2367.33	Normal
A9	14	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	20.0	19.9	19.93	1.99	1562.94	3707.00	2371.81	Normal
A10	14	9.9	10.0	10.0	9.97	20.0	19.9	20.0	19.97	2.00	1570.80	3704.00	2358.04	Normal
A11	14	9.9	10.0	10.0	9.97	20.0	19.9	19.9	19.93	2.00	1562.94	3694.00	2363.49	Normal
A12	14	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	20.0	20.00	2.00	1570.80	3710.00	2361.86	Normal
A13	14	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3695.00	2364.13	Normal
A14	14	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	19.9	19.9	19.93	1.99	1562.94	3681.00	2355.17	Normal
A15	28	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3693.00	2362.85	Normal
A16	28	10.0	9.9	10.0	9.97	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3709.00	2373.09	Normal
A17	28	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3713.00	2375.65	Normal
A18	28	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	20.0	20.0	19.97	2.00	1570.80	3702.00	2356.77	Normal
A19	28	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	19.9	20.0	19.97	2.00	1570.80	3715.00	2365.04	Normal
A20	28	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3703.00	2369.25	Normal
A21	28	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	20.0	20.00	2.00	1570.80	3684.00	2345.31	Normal

Observaciones

*Ensayo desarrollado por los testistas en el laboratorio de tecnología de los materiales y concreto



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO
Y ENSAYO DE MATERIALES



PROYECTO : "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C=210 KG/CM2"
SOLICITANTE : Bach.Edwin Gonzalo Quispe Choque **ESTRUCTURA** : : Resultados de los diámetros, alturas y peso del
 Concreto elaborados con 10% adición de Ceniza de Residuo de Tarwi
ASESOR : Ing. Beatriz Aquisé Pari (CRT10%- III)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILINDRICOS DE CONCRETO

NTP 339.034 ASTM C-39

N°	Edad (días)	Diámetro del espécimen (cm)			Ø promedio (cm)	Altura del espécimen (cm)			H promedio (cm)	Grado de Esbeltez	Volumen (cm3)	Peso (gr)	Densidad (kg/m3)	Tipo de Concreto
		Ø1	Ø2	Ø3		H1	H2	H3						
B1	7	10.0	9.9	10.0	9.97	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3576.00	2287.99	Normal
B2	7	10.0	10.0	9.9	9.97	20.0	20.0	20.0	20.00	2.01	1539.54	3575.00	2322.13	Normal
B3	7	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	20.0	20.0	19.97	2.00	1570.80	3580.00	2279.10	Normal
B4	7	10.0	10.0	10.1	10.03	20.0	20.0	20.0	20.00	1.99	1602.37	3597.00	2244.80	Normal
B5	7	10.0	9.9	9.9	9.93	20.0	19.9	19.9	19.93	2.01	1531.84	3592.00	2344.89	Normal
B6	7	10.0	9.9	10.0	9.97	19.9	20.0	19.9	19.93	2.00	1562.94	3580.00	2290.55	Normal
B7	7	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3581.00	2291.19	Normal
B8	14	10.0	9.9	10.0	9.97	20.0	19.9	19.9	19.93	2.00	1562.94	3570.00	2284.15	Normal
B9	14	9.9	10.0	9.9	9.93	19.9	20.0	20.0	19.97	2.01	1539.54	3585.00	2328.62	Normal
B10	14	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3597.00	2301.43	Normal
B11	14	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	20.0	20.0	19.97	2.00	1570.80	3585.00	2282.28	Normal
B12	14	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	20.0	20.00	2.00	1570.80	3600.00	2291.83	Normal
B13	14	10.0	9.9	10.0	9.97	19.9	20.0	20.0	19.97	2.00	1570.80	3578.00	2277.83	Normal
B14	14	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	20.0	20.0	19.97	2.00	1570.80	3573.00	2274.64	Normal
B15	28	9.9	10.0	10.0	9.97	19.9	20.0	19.9	19.93	2.00	1562.94	3584.00	2293.11	Normal
B16	28	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	20.0	20.00	2.00	1570.80	3574.00	2275.28	Normal
B17	28	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3596.00	2300.79	Normal
B18	28	10.0	9.9	10.0	9.97	20.0	19.9	20.0	19.97	2.00	1570.80	3592.00	2286.74	Normal
B19	28	9.9	10.0	10.0	9.97	20.0	19.9	19.9	19.93	2.00	1562.94	3587.00	2295.03	Normal
B20	28	10.0	9.9	10.0	9.97	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3593.00	2298.87	Normal
B21	28	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	20.0	20.0	19.97	2.00	1570.80	3600.00	2291.83	Normal

Observaciones

*Ensayo desarrollado por los testistas en el laboratorio de tecnología de los materiales y concreto



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO
Y ENSAYO DE MATERIALES



PROYECTO : "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C=210 KG/CM2"
SOLICITANTE : Bach.Edwin Gonzalo Quispe Choque **ESTRUCTURA** : : Resultados de los diámetros, alturas y peso del
 Concreto elaborados con 15% adición de Ceniza de Residuo de Tarwi
ASESOR : Ing. Beatriz Aquisé Pari (CRT15%- IV)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILINDRICOS DE CONCRETO



NTP 339.034 ASTM C-39

N°	Edad (días)	Diámetro del espécimen (cm)			Ø promedio (cm)	Altura del espécimen (cm)			H promedio (cm)	Grado de Esbeltez	Volumen (cm3)	Peso (gr)	Densidad (kg/m3)	Tipo de Concreto
		Ø1	Ø2	Ø3		H1	H2	H3						
C1	7	10.0	10.1	10.0	10.03	19.9	20.0	20.0	19.97	1.99	1570.80	3516.00	2238.36	Normal
C2	7	10.0	9.9	10.0	9.97	20.0	19.9	20.0	19.97	2.00	1570.80	3523.00	2242.81	Normal
C3	7	10.0	10.0	9.9	9.97	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1531.84	3505.00	2288.10	Normal
C4	7	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	19.9	20.0	19.93	1.99	1570.80	3526.00	2244.72	Normal
C5	7	10.0	9.9	10.0	9.97	19.9	20.0	19.9	19.93	2.00	1562.94	3527.00	2256.64	Normal
C6	7	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3512.00	2247.04	Normal
C7	7	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	20.0	19.9	19.93	1.99	1562.94	3513.00	2247.68	Normal
C8	14	10.0	9.9	10.0	9.97	20.0	19.9	19.9	19.93	2.00	1562.94	3520.00	2252.16	Normal
C9	14	9.9	10.0	10.0	9.97	19.9	20.0	20.0	19.97	2.00	1570.80	3517.00	2238.99	Normal
C10	14	10.0	10.0	9.9	9.97	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1531.84	3525.00	2301.15	Normal
C11	14	9.9	10.0	10.0	9.97	20.0	19.9	19.9	19.93	2.00	1562.94	3527.00	2256.64	Normal
C12	14	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	20.0	20.00	2.00	1570.80	3533.00	2249.18	Normal
C13	14	9.9	10.0	9.9	9.93	19.9	20.0	19.9	19.93	2.01	1531.84	3520.00	2297.89	Normal
C14	14	10.0	9.9	10.0	9.97	20.0	19.9	19.9	19.93	2.00	1562.94	3525.00	2255.36	Normal
C15	28	9.9	10.0	10.0	9.97	19.9	20.0	19.8	19.90	2.00	1555.09	3519.00	2262.89	Normal
C16	28	10.0	9.9	9.9	9.93	20.0	20.0	20.0	20.00	2.01	1539.54	3503.00	2275.36	Normal
C17	28	10.0	10.0	10.0	10.00	20.0	20.0	19.9	19.97	2.00	1562.94	3501.00	2240.01	Normal
C18	28	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	19.9	20.0	19.93	1.99	1570.80	3517.00	2238.99	Normal
C19	28	9.9	10.0	10.0	9.97	20.0	19.9	19.9	19.93	2.00	1562.94	3538.00	2263.68	Normal
C20	28	10.0	9.9	9.9	9.93	20.0	20.0	19.9	19.97	2.01	1531.84	3516.00	2295.28	Normal
C21	28	10.0	10.0	10.0	10.00	19.9	19.9	19.9	19.90	1.99	1562.94	3523.00	2254.08	Normal

Observaciones

*Ensayo desarrollado por los testistas en el laboratorio de tecnología de los materiales y concreto

Anexo J Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES	
---	---	---

PROYECTO	: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C=210 KG/CM ² "		
SOLICITANTE	: Bach. Edwin Gonzalo Quispe Choque	ESTRUCTURA	: Concreto Patrón (CP - Grupo I)
ASESOR	: Ing. Beatriz Aquisé Pari		elaborados con 0% adición de Ceniza de Residuo de Tarwi.

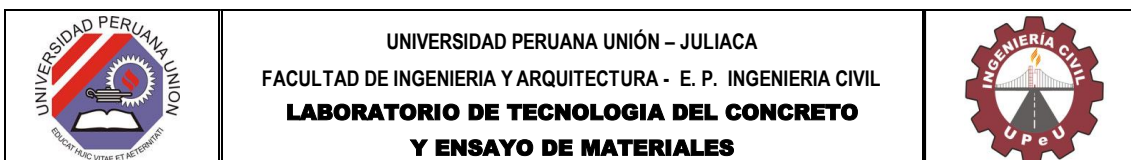
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILINDRICOS DE CONCRETO

NTP 339.034 ASTM C-39

N°	Descripción	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% de Resistencia	Tipo de Falla
1	Concreto Patrón	7	3.74	19.90	9.97	78.02	15428.90	197.76	94.17	2
2	Concreto Patrón	7	3.74	19.97	10.00	78.54	13459.50	171.37	81.61	3
3	Concreto Patrón	7	3.75	19.97	10.00	78.54	13890.70	176.86	84.22	2
4	Concreto Patrón	7	3.73	19.90	9.97	78.02	15370.50	197.01	93.82	3
5	Concreto Patrón	7	3.74	19.97	9.97	78.02	14700.40	188.43	89.73	3
6	Concreto Patrón	7	3.74	19.97	10.00	78.54	15100.90	192.27	91.56	3
7	Concreto Patrón	7	3.74	19.93	10.00	78.54	13780.70	175.46	83.55	2
8	Concreto Patrón	14	3.74	19.90	9.97	78.02	16975.30	217.58	103.61	3
9	Concreto Patrón	14	3.76	19.90	10.00	78.54	18792.10	239.27	113.94	4
10	Concreto Patrón	14	3.74	19.93	9.97	78.02	17018.80	218.14	103.88	3
11	Concreto Patrón	14	3.73	19.97	10.00	78.54	19336.70	246.20	117.24	3
12	Concreto Patrón	14	3.76	19.90	9.97	78.02	16977.40	217.61	103.62	3
13	Concreto Patrón	14	3.76	19.93	10.00	78.54	16904.40	215.23	102.49	3
14	Concreto Patrón	14	3.73	19.93	10.00	78.54	17814.30	226.82	108.01	3
15	Concreto Patrón	28	3.74	19.97	9.97	78.02	20382.60	261.26	124.41	4
16	Concreto Patrón	28	3.75	19.97	9.97	78.02	20550.60	263.41	125.43	3
17	Concreto Patrón	28	3.74	20.00	10.00	78.54	22764.80	289.85	138.02	2
18	Concreto Patrón	28	3.72	19.93	9.97	78.02	20512.70	262.93	125.20	3
19	Concreto Patrón	28	3.75	20.00	10.00	78.54	21511.60	273.89	130.43	3
20	Concreto Patrón	28	3.73	20.00	10.00	78.54	20955.80	266.82	127.06	4
21	Concreto Patrón	28	3.75	19.90	10.00	78.54	23312.40	296.82	141.34	2

Observaciones

*Ensayo desarrollado por los tesisistas en el laboratorio de tecnología de los materiales y concreto



PROYECTO	: "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F' C=210 KG/CM2"		
SOLICITANTE	: Bach. Edwin Gonzalo Quispe Choque	ESTRUCTURA	: Concreto tratados con 5% de adición de Ceniza de Residuo de Tarwi (CRT5% - Grupo II)
ASESOR	: Ing. Beatriz Aquisé Pari		

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILINDRICOS DE CONCRETO
NTP 339.034 ASTM C-39

N°	Descripción	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% de Resistencia	Tipo de Falla
A1	Adición de CRT 5%	7	3.69	19.87	9.87	76.46	14111.60	184.56	87.89	2
A2	Adición de CRT 5%	7	3.68	19.93	9.97	78.02	13249.20	169.82	80.87	3
A3	Adición de CRT 5%	7	3.68	19.90	9.90	76.98	12780.50	166.03	79.06	2
A4	Adición de CRT 5%	7	3.66	19.90	9.93	77.50	12805.60	165.24	78.69	2
A5	Adición de CRT 5%	7	3.68	19.87	9.87	76.46	13575.90	177.56	84.55	3
A6	Adición de CRT 5%	7	3.66	19.97	9.97	78.02	15071.30	193.18	91.99	2
A7	Adición de CRT 5%	7	3.68	19.90	9.93	77.50	11757.40	151.72	72.25	2
A8	Adición de CRT 5%	14	3.70	19.90	9.93	77.50	14801.10	190.99	90.95	3
A9	Adición de CRT 5%	14	3.71	19.93	9.97	78.02	16059.70	205.85	98.02	3
A10	Adición de CRT 5%	14	3.70	19.97	9.97	78.02	15233.20	195.25	92.98	3
A11	Adición de CRT 5%	14	3.69	19.93	9.97	78.02	15199.70	194.83	92.77	3
A12	Adición de CRT 5%	14	3.71	20.00	10.00	78.54	17601.70	224.11	106.72	3
A13	Adición de CRT 5%	14	3.70	19.97	9.97	78.02	14632.10	187.55	89.31	2
A14	Adición de CRT 5%	14	3.68	19.93	9.97	78.02	15743.80	201.80	96.09	4
A15	Adición de CRT 5%	28	3.69	19.97	10.00	78.54	19670.40	250.45	119.26	2
A16	Adición de CRT 5%	28	3.71	19.97	9.97	78.02	17490.50	224.19	106.76	3
A17	Adición de CRT 5%	28	3.71	19.97	9.97	78.02	17622.20	225.88	107.56	2
A18	Adición de CRT 5%	28	3.70	19.90	9.97	78.02	18964.50	243.08	115.75	2
A19	Adición de CRT 5%	28	3.72	19.97	10.00	78.54	19974.10	254.32	121.10	3
A20	Adición de CRT 5%	28	3.70	19.97	9.97	78.02	19021.00	243.81	116.10	3
A21	Adición de CRT 5%	28	3.68	20.00	10.00	78.54	18662.50	237.62	113.15	4

Observaciones

*Ensayo desarrollado por los tesisistas en el laboratorio de tecnología de los materiales y concreto



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO
 Y ENSAYO DE MATERIALES**



PROYECTO : "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F´C=210 KG/CM2"
SOLICITANTE : Bach. Edwin Gonzalo Quispe Choque **ESTRUCTURA** : Concreto tratados con 10% de adición de Ceniza de Residuo de Tarwi (CRT10% - Grupo III)
ASESOR : Ing. Beatriz Aquisé Pari

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILINDRICOS DE CONCRETO

NTP 339.034 ASTM C-39

Nº	Descripción	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% de Resistencia	Tipo de Falla
B1	Adición de CRT 10%	7	3.58	19.93	9.90	76.98	10120.90	131.48	62.61	2
B2	Adición de CRT 10%	7	3.58	19.93	9.97	78.02	11543.00	147.95	70.45	2
B3	Adición de CRT 10%	7	3.58	19.93	9.97	78.02	10428.10	133.66	63.65	2
B4	Adición de CRT 10%	7	3.60	19.97	10.00	78.54	10453.60	133.10	63.38	3
B5	Adición de CRT 10%	7	3.59	19.87	9.93	77.50	11895.70	153.50	73.10	2
B6	Adición de CRT 10%	7	3.58	19.90	9.93	77.50	11948.20	154.18	73.42	3
B7	Adición de CRT 10%	7	3.58	19.87	9.97	78.02	11487.10	147.24	70.11	1
B8	Adición de CRT 10%	14	3.57	19.93	9.93	77.50	11624.90	150.01	71.43	3
B9	Adición de CRT 10%	14	3.59	19.97	9.93	77.50	13022.60	168.04	80.02	3
B10	Adición de CRT 10%	14	3.60	19.97	9.97	78.02	12136.60	155.56	74.08	3
B11	Adición de CRT 10%	14	3.59	19.97	10.00	78.54	11968.80	152.39	72.57	4
B12	Adición de CRT 10%	14	3.60	19.97	10.00	78.54	12679.80	161.44	76.88	3
B13	Adición de CRT 10%	14	3.58	19.97	9.97	78.02	14254.60	182.71	87.01	3
B14	Adición de CRT 10%	14	3.57	19.90	9.97	78.02	12175.10	156.06	74.31	2
B15	Adición de CRT 10%	28	3.58	19.90	9.97	78.02	16638.80	213.27	101.56	3
B16	Adición de CRT 10%	28	3.57	19.90	9.97	78.02	15650.60	200.60	95.53	2
B17	Adición de CRT 10%	28	3.60	19.97	9.97	78.02	15204.30	194.88	92.80	3
B18	Adición de CRT 10%	28	3.59	19.97	9.97	78.02	15694.60	201.17	95.79	4
B19	Adición de CRT 10%	28	3.59	19.87	9.97	78.02	14908.50	191.09	91.00	2
B20	Adición de CRT 10%	28	3.59	19.97	9.97	78.02	16598.30	212.75	101.31	3
B21	Adición de CRT 10%	28	3.60	19.90	9.97	78.02	14712.50	188.58	89.80	3

Observaciones

*Ensayo desarrollado por los testistas en el laboratorio de tecnología de los materiales y concreto



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN – JULIACA
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA - E. P. INGENIERIA CIVIL
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO
 Y ENSAYO DE MATERIALES**



PROYECTO : "ADICIÓN DE CENIZA DE TARWI EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO F´C=210 KG/CM2"
SOLICITANTE : Bach. Edwin Gonzalo Quispe Choque **ESTRUCTURA** : Concreto tratados con 15% de adición de
ASESOR : Ing. Beatriz Aquise Pari **Ceniza de Residuo de Tarwi (CRT15% - Grupo IV)**


RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILINDRICOS DE CONCRETO
 NTP 339.034 ASTM C-39

Nº	Descripción	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	% de Resistencia	Tipo de Falla
C1	Adición de CRT 15%	7	3.52	19.97	9.97	78.02	8930.70	114.47	54.51	3
C2	Adición de CRT 15%	7	3.52	19.93	9.97	78.02	8638.90	110.73	52.73	2
C3	Adición de CRT 15%	7	3.51	19.97	9.93	77.50	8507.30	109.78	52.27	3
C4	Adición de CRT 15%	7	3.53	19.90	9.93	77.50	10985.70	141.76	67.50	3
C5	Adición de CRT 15%	7	3.53	19.90	9.93	77.50	10433.00	134.63	64.11	1
C6	Adición de CRT 15%	7	3.51	19.97	9.97	78.02	9180.10	117.67	56.03	3
C7	Adición de CRT 15%	7	3.51	19.90	9.93	77.50	10870.50	140.27	66.80	3
C8	Adición de CRT 15%	14	3.52	19.87	9.93	77.50	13331.30	172.03	81.92	1
C9	Adición de CRT 15%	14	3.52	19.90	9.93	77.50	11245.90	145.12	69.10	3
C10	Adición de CRT 15%	14	3.53	19.90	9.93	77.50	11475.50	148.08	70.51	3
C11	Adición de CRT 15%	14	3.53	19.93	9.90	76.98	10989.60	142.76	67.98	3
C12	Adición de CRT 15%	14	3.53	20.00	10.00	78.54	11564.30	147.24	70.11	3
C13	Adición de CRT 15%	14	3.52	19.90	9.93	77.50	11578.60	149.41	71.15	1
C14	Adición de CRT 15%	14	3.53	19.93	9.90	76.98	11455.40	148.82	70.86	3
C15	Adición de CRT 15%	28	3.52	19.90	9.97	78.02	12703.40	162.83	77.54	3
C16	Adición de CRT 15%	28	3.50	19.90	9.93	77.50	13541.30	174.74	83.21	2
C17	Adición de CRT 15%	28	3.50	19.97	9.97	78.02	14001.50	179.47	85.46	3
C18	Adición de CRT 15%	28	3.52	19.90	9.87	76.46	12616.00	165.00	78.57	3
C19	Adición de CRT 15%	28	3.54	19.87	9.97	78.02	14028.70	179.82	85.63	2
C20	Adición de CRT 15%	28	3.52	19.97	9.93	77.50	13070.90	168.67	80.32	3
C21	Adición de CRT 15%	28	3.52	19.90	9.97	78.02	12121.50	155.37	73.99	3

Observaciones

*Ensayo desarrollado por los tesisistas en el laboratorio de tecnología de los materiales y concreto

Anexo K Constancia de uso de Laboratorio de Tecnología de Concreto y Ensayo de los Materiales



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FILIAL JULIACA
Una Institución y un Avance

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CONSTANCIA

El que suscribe Ing. Herson Duberly Pari Cusi; Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y el Jefe de laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca.

HACE CONSTAR:

Que el Bachiller en Ingeniería Civil:

EDWIN GONZALO QUISPE CHOQUE Código universitario N° 201322726


Ha realizado ensayos en el Laboratorio de Tecnología del Concreto y Ensayos de los Materiales para completar su trabajo de tesis denominado: **“Adición de ceniza de tarwi en la producción de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ”** con la finalidad de obtener el título profesional de Ingeniero Civil. Los trabajos se realizaron entre 07/08/19 al 14/11/19.

Los ensayos efectuados por los tesisistas fueron los siguientes:


- ✓ 01 Ensayo de Contenido de Humedad Agregado Grueso.
- ✓ 01 Ensayo de Contenido de Humedad Agregado Fino.
- ✓ 03 Ensayos de Análisis Granulométrico.
- ✓ 01 Ensayo de Peso Específico y Absorción Agregado Grueso.
- ✓ 01 Ensayo de Peso Específico y Absorción Agregado Fino.
- ✓ 01 Ensayo de Peso Unitario Agregado Grueso.
- ✓ 01 Ensayo de Peso Unitario Agregado Fino.
- ✓ 01 Ensayo de Finura del Cemento por medio del Tamiz N°200.
- ✓ 42 Ensayos de Resistencia a la compresión en Dados de Mortero.
- ✓ 84 Ensayos de Resistencia a la Compresión en Testigos de Concreto.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime por conveniente.

Juliaca, Villa Chullunquiani, 11 de diciembre del 2019



Ing. Herson Duberly Pari Cusi
Código U.P. de Ingeniería Civil



Ing. Yesenia Apaza Pinto
Jefe de Laboratorio

Anexo L Panel Fotográfico.



Fotografía N° 1 Residuos de tarwi



Fotografía N° 2 Quema de residuos de tarwi en la intemperie (500°C aprox.)



Fotografía N° 3 Apoyo en el laboratorio RH para la calcinación de cenizas



Fotografía N° 4 Calcinación de ceniza de residuo de tarwi a una temperatura 750°C.



Fotografía N° 5 Determinación del grado de hidratación y finura del cemento Pórtland.



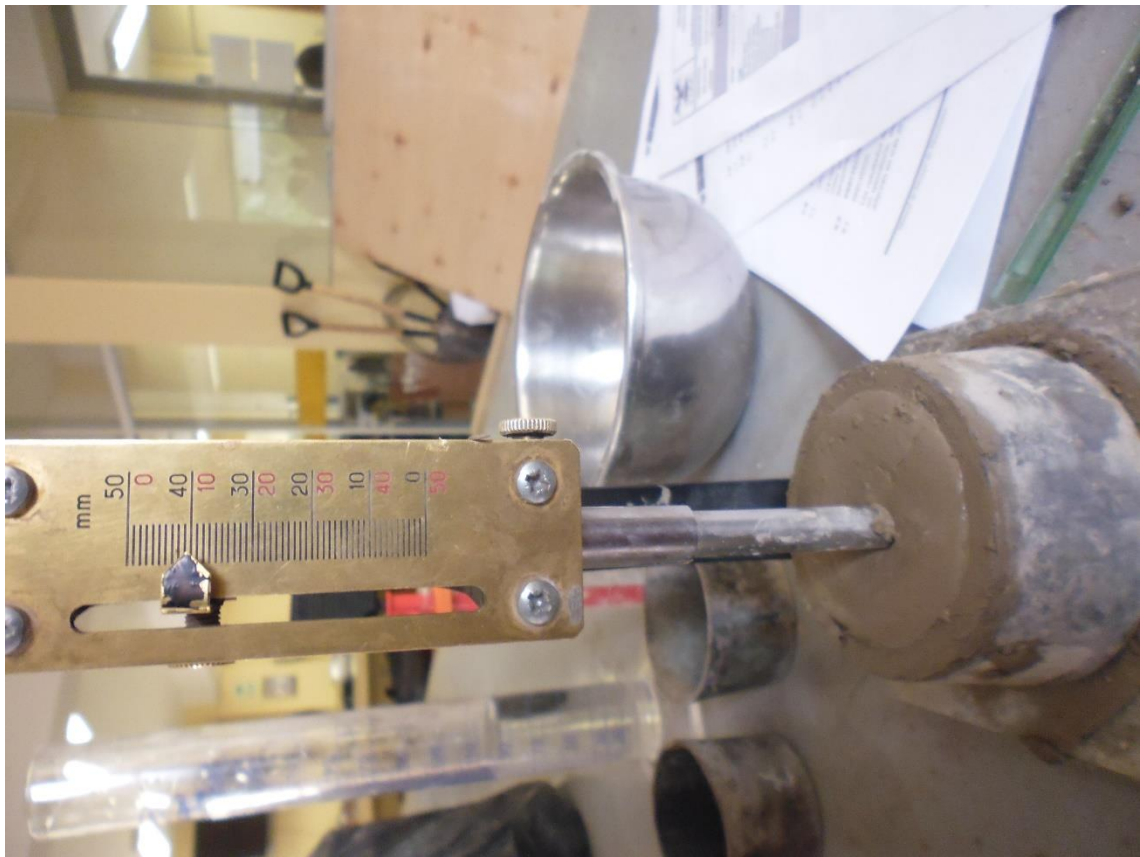
Fotografía N° 6 Apoyo en la realización del análisis químico del agua.



Fotografía N° 7 Extracción de piedra canchada de la “Planta Chancadora Surupana”



Fotografía N° 8 Ceniza de residuo de tarwi pasante la malla N°200



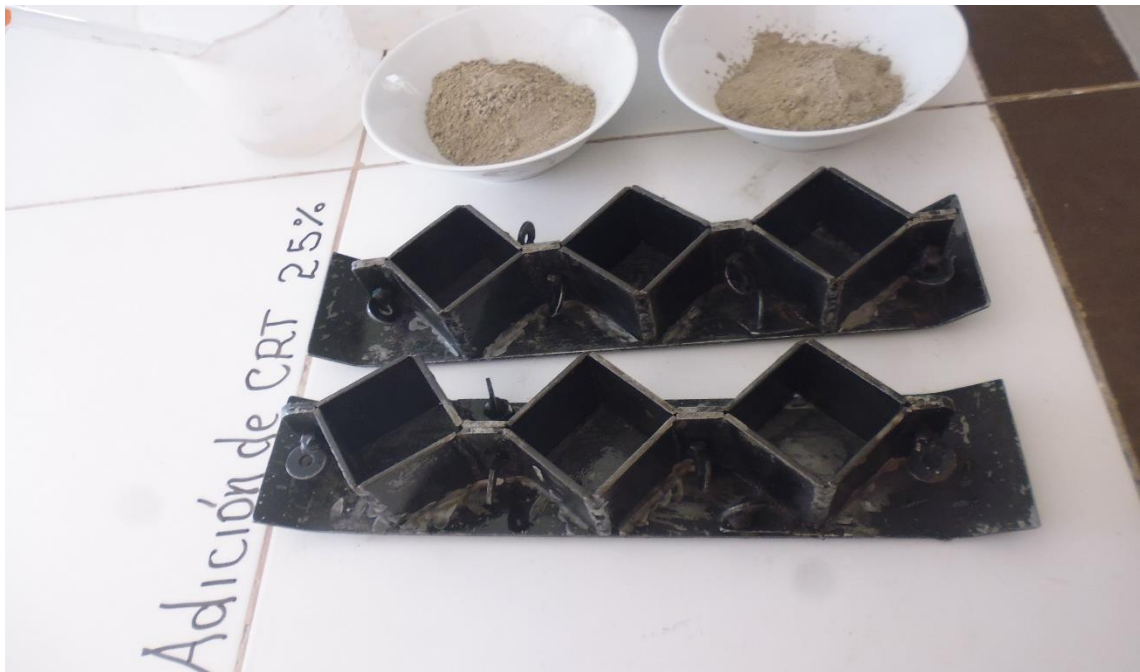
Fotografía N° 9 Determinación de la consistencia del cemento Pórtland.



Fotografía N° 10 Determinación del tiempo de fraguado inicial.



Fotografía N° 11 Lecturas del tiempo de fraguado inicial del III grupo de tratamiento.



Fotografía N° 12 Impermeabilización de la junta con parafina y aplicación de aceite mineral ligero en las caras interiores de los moldes de mortero.



Fotografía N° 13 Mezclado mecánico acondicionado para mortero de consistencia plástica



Fotografía N° 14 Curado de los cubos de mortero para mantener el pH del agua.



Fotografía N° 15 Limpieza de arena suelta o incrustaciones de las caras del cubo que van a estar en contacto con los bloques de la máquina de ensayo.



Fotografía N° 16 Marcas grabadas que permiten centrar exactamente el cubo de mortero.



Fotografía N° 17 Aplicación de aceite mineral ligero en las caras interiores de los moldes de concreto.



Fotografía N° 18 Determinación del Slump (asentamiento) mediante el cono de Abrams



Fotografía N° 19 Determinación del peso unitario del concreto en estado fresco.



Fotografía N° 20 Determinación de la exudación del concreto.



Fotografía N° 21 Determinación de la temperatura del concreto en estado fresco.



Fotografía N° 22 Protección de las briquetas para evitar la pérdida de humedad.



Fotografía N° 23 Protección de las briquetas de concreto de las heladas.



Fotografía N° 24 Control de la temperatura del agua de curado durante la noche.



Fotografía N° 25 Control de la temperatura del agua de curado durante el día.



Fotografía N° 26 Efecto superficial resultante de la adición de CRT en el concreto.



Fotografía N° 27 Determinación del peso unitario del concreto endurecido.



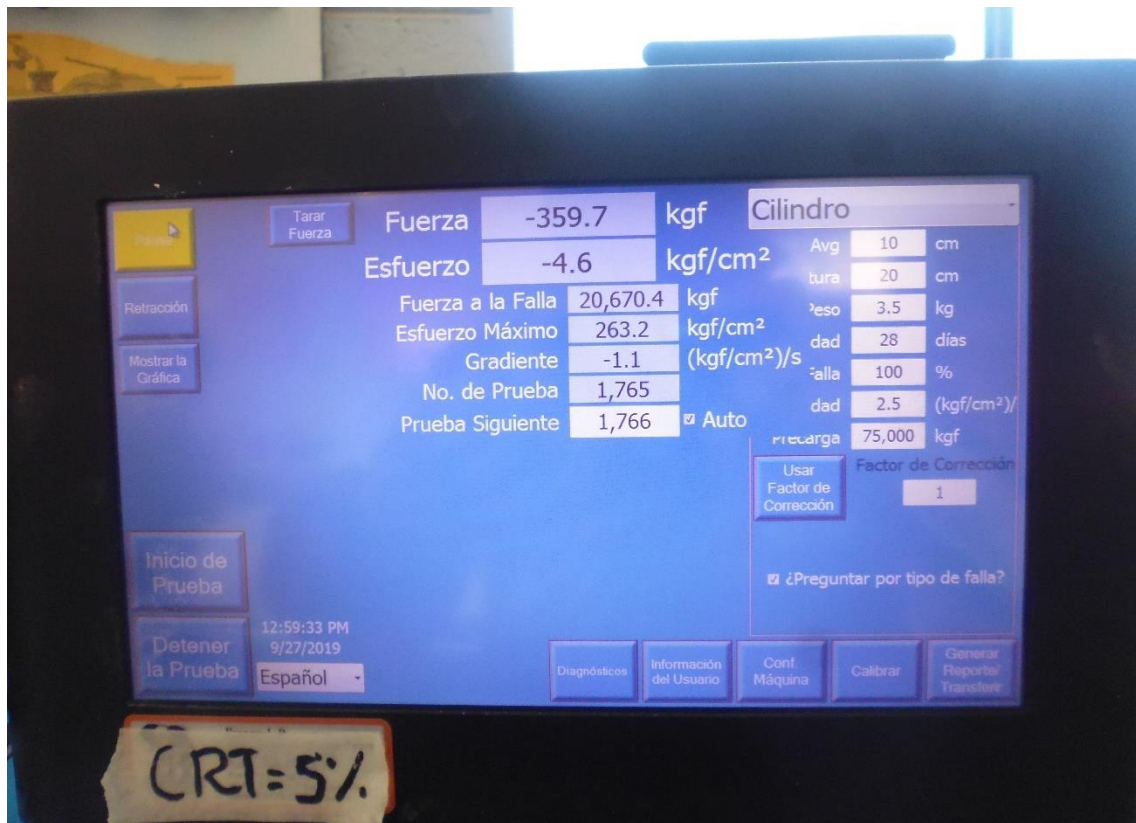
Fotografía N° 28 Refrendado de las briquetas de concreto.



Fotografía N° 29 Determinación del diámetro y alturas de las briquetas de concreto



Fotografía N° 30 Ensayo a compresión de los especímenes de concreto cilíndricos con diferentes adiciones de CRT.



Fotografía N° 31 Lectura del esfuerzo a la compresión de los especímenes de concreto con 5% de adición de CRT.



Fotografía N° 32 Determinación del tipo de falla en los especímenes de concreto.