



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“EFECTOS DEL CONCRETO LIGERO CON AGREGADOS DE ROCA
VOLCÁNICA EN LA FABRICACIÓN DE POSTES EN EL PERÚ”**

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

AUTOR:

SALAZAR MÁRQUEZ, HEINER IVÁN

ASESOR:

MG. RÍOS DÍAZ, ORLANDO HUGO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

ADMINISTRACIÓN Y SEGURIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

LIMA – PERÚ

2018

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por Heiner Iván Salazar Márquez cuyo título es: "EFECTOS DEL CONCRETO LIGERO CON AGREGADOS DE ROCA VOLCÁNICA EN LA FABRICACIÓN DE POSTES EN EL PERÚ"

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante, otorgándole el calificativo de: 18 (número) Dieciocho (letras).

Lima, 12 de Julio de 2018

.....
MG. ING. AYBAR ARRIOLA, GUSTAVO

PRESIDENTE

.....
MG. ING. MARQUINA CALLACNA,

RODOLFO
SECRETARIO

.....
MG. ING. RÍOS DÍAZ, ORLANDO

VOCAL

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	--------------------	--------	---------------------------------

DEDICATORIA

A mis padres Vila, Esteban y mi hermano Boris, por ser los pilares fundamentales en mi vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

AGRADECIMIENTO

A mis compañeros, amigos y familiares por guiarme en el buen camino del aprendizaje y así culminar con éxito mi carrera profesional afín de contribuir con el desarrollo de nuestro país.

A mi padre Esteban y tío Rolando, por su asesoría y orientación como ingenieros, durante el transcurso de mi preparación académica.

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo Heiner Iván Salazar Márquez con DNI N° 43066086, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 12 de junio del 2018



HEINER IVÁN SALAZAR MARQUEZ

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada "EFECTOS DEL CONCRETO LIGERO CON AGREGADOS DE ROCA VOLCÁNICA EN LA FABRICACIÓN DE POSTES EN EL PERÚ", la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Civil.

El Autor.

INDICE

PÁGINA DEL JURADO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DECLARACION DE AUTENTICIDAD	v
PRESENTACIÓN.....	vi
INDICE	vii
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
INDICE DE TABLAS.....	xiii
INDICE DE ECUACIONES.....	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. Realidad problemática	18
1.2. Trabajos previos.....	21
1.2.1. Internacionales.....	21
1.2.2. Nacionales.....	23
1.3. Teorías relacionadas al tema	26
1.3.1. El concreto.....	26
1.3.1.1. Usos estructurales	26
1.3.1.2. Propiedades en estado fresco.....	27
1.3.1.3. Propiedades en estado endurecido.....	28
1.3.1.4. Agua para el concreto	30
1.3.1.5. Cemento.....	31
1.3.1.5.1. Tipos de cemento	31
1.3.1.6. Agregados del concreto	32
1.3.1.7. Aditivos.....	34
1.3.1.8. Concreto liviano	35
1.3.1.8.1. Definición	35
1.3.1.8.2. Clasificación.....	36
1.3.1.8.3. Características	36
1.3.1.8.4. Diseño de mezclas del concreto liviano	37
1.3.1.9. Propiedades físicas y mecánicas en el concreto	40
1.3.1.9.1. Resistencia a la compresión.....	40
1.3.1.9.2. Ensayo de compresión.....	42

1.3.1.9.3.	Densidad de equilibrio.....	43
1.3.1.9.4.	Asentamiento.....	44
1.3.2.	Roca volcánica.....	45
1.3.2.1.	Puzolana.....	46
1.3.3.	Postes.....	48
1.3.3.1.	Postes de concreto armado.....	49
1.3.3.2.	Definiciones principales.....	50
1.3.3.3.	Proceso de fabricación.....	58
1.3.3.4.	Curado.....	60
1.3.3.5.	Diseño.....	60
1.3.3.5.1.	Cargas mínimas de rotura.....	60
1.3.3.5.2.	Características geométricas.....	61
1.3.3.5.3.	Carga de Trabajo.....	61
1.3.3.6.	Ensayos de rutina.....	63
1.3.3.7.	Rotulado.....	64
1.3.3.8.	Transporte y almacenamiento.....	65
1.4.	Formulación del problema.....	66
1.5.	Justificación del estudio.....	66
1.6.	Hipótesis.....	67
1.6.1.	Hipótesis general.....	67
1.6.2.	Hipótesis específicos.....	67
1.6.3.	Objetivo general.....	69
1.6.4.	Objetivos específicos.....	69
II.	MÉTODO.....	70
2.1.	Método de investigación.....	71
2.1.1.	Tipo.....	71
2.1.2.	Nivel.....	71
2.1.3.	Diseño.....	72
2.2.	Variables, operacionalización.....	72
2.2.1.	Variables.....	72
2.2.2.	Operacionalización.....	73
2.3.	Población y muestra.....	74
2.3.1.	Población.....	74
2.3.2.	Muestra.....	74
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	74
2.4.1.	Técnicas.....	74

2.4.2.	Instrumentos de medición	75
2.4.3.	Validez	76
2.4.4.	Confiabilidad.....	77
2.5.	Métodos de análisis de datos	77
2.6.	Aspectos éticos.....	78
III.	RESULTADOS.....	80
3.1.	Recolección de muestras	81
3.2.	Estudio geotécnico, ensayos químicos y difracción rayos x (DRX).....	82
3.2.1.	M-A (Muestra A).....	82
3.2.2.	M-B (Muestra B).....	84
3.2.3.	M-C (Muestra C)	86
3.3.	Caracterización de los agregados.....	88
3.3.1.	Granulometría	88
3.3.2.	Determinación del peso unitario	95
3.3.3.	Determinación del contenido de humedad.....	99
3.3.4.	Determinación del peso específico y absorción	101
3.4.	Elaboración del diseño de mezcla.....	109
3.4.1.	Calculo del asentamiento (Slump)	109
3.4.2.	Calculo del tamaño máximo nominal	110
3.4.3.	Calculo de agua	111
3.4.4.	Calculo aire atrapado	112
3.4.5.	Calculo de resistencia requerida.....	113
3.4.6.	Calculo del cemento	113
3.4.7.	Cálculo del volumen agregado grueso.....	115
3.4.8.	Calculo del volumen del agregado fino	116
3.4.9.	Diseño no corregido.....	117
3.4.10.	Corrección, absorción y humedad	117
3.4.11.	Diseño de mezcla	119
3.5.	Vaciado de mezclas	123
3.6.	Ensayos de compresión	132
3.7.	Determinación de la densidad seca del concreto	144
3.8.	Análisis de costos	146
3.8.1.	Materiales para el concreto	147
3.8.1.1.	Acarreo de roca volcánica.....	147
3.8.1.2.	Costo de producción de roca volcánica.....	149
3.8.1.3.	Costo de transporte de agregados a obra (Sólo en Lima).....	149
3.8.1.4.	Costo de agregados en obra.....	149

3.8.1.5.	Relación de materiales	150
3.8.1.6.	Costos de producción de concreto ligero y tradicional para la fabricación de postes	150
3.8.2.	Costos de transporte de postes.....	152
3.8.3.	Costos en personal para traslado a pie en lugares sin acceso vehicular.....	153
IV.	DISCUSIÓN	155
V.	CONCLUSIONES.....	165
VI.	RECOMENDACIONES.....	168
VII.	REFERENCIAS	171
VIII.	ANEXOS	175
8.1.	Matriz de consistencia.....	176
8.2.	Ubicación cantera Quilmaná	177
8.3.	Estudio geológico y muestreo de rocas volcánicas tobáceas	178
8.4.	Análisis geoquímicos de muestras de roca volcánica	192
8.5.	Ensayos de caracterización de los agregados	193
8.6.	Ensayo de resistencia a la compresión del concreto ligero	195
8.7.	Ensayo de caracterización del concreto.....	196
8.8.	Especificaciones técnicas de postes de concreto centrifugado	197

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: TRASLADO DE POSTE DE CONCRETO EN ZONA AGRESTE DE LA PROVINCIA DE CALCA	19
ILUSTRACIÓN 2: TRASLADO DE POSTE DE CONCRETO EN ZONA AGRESTE EN EL DEPARTAMENTO DE AREQUIPA.....	19
ILUSTRACIÓN 3: CORROSIÓN DE CONCRETO Y DE LA ARMADURA EN POSTE EN LA URBANIZACIÓN LOS TALLANES.....	20
ILUSTRACIÓN 4: CEMENTO SOL TIPO I.	32
ILUSTRACIÓN 5: BLOQUES DE CONCRETO LIGERO.	35
ILUSTRACIÓN 6: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.	43
ILUSTRACIÓN 7: CÁLCULO DEL ASENTAMIENTO (SLUMP) POR MEDIO DEL CONO DE ABRAMS.	44
ILUSTRACIÓN 8: PUMITA (ROCA VOLCÁNICA).....	46
ILUSTRACIÓN 9: ALMACENAMIENTO DE POSTES DE CONCRETO ARMADO CENTRIFUGADO	48
ILUSTRACIÓN 10: MÁQUINA DE CENTRIFUGADO DE POSTES DE CONCRETO.	51
ILUSTRACIÓN 11: FORMALETA PARA POSTES DE CONCRETO.	53
ILUSTRACIÓN 12: DETALLE DE EMPOTRAMIENTO DEL POSTE.	55
ILUSTRACIÓN 13: VISTA EN PLANTA DE LA CONICIDAD DE UN POSTE DE CONCRETO.....	56
ILUSTRACIÓN 14: DETALLE DE PERFORACIONES EN UN POSTE DE 9M.	57
ILUSTRACIÓN 15: ARMADURA DEL POSTE.....	58
ILUSTRACIÓN 16: CENTRIFUGADO DE MEZCLA Y ACABADO DENTRO DE FORMALETA.	59
ILUSTRACIÓN 17: ENSAYO DE ROTURA DE POSTE DE CONCRETO.....	64
ILUSTRACIÓN 18: DETALLE DE ROTULADO EN FORMALETA Y ACABADO FINAL.	65
ILUSTRACIÓN 19: ALMACENAJE EN PILAS Y CARGA DE POSTES DE CONCRETO.	66
ILUSTRACIÓN 20: VISTA PANORÁMICA CANTERA QUILMANÁ, PROVINCIA DE CAÑETE.	81
ILUSTRACIÓN 21: VISTA COMPARATIVA MUESTRAS M-A, M-B Y M-C.	81
ILUSTRACIÓN 22: ROCAS VOLCÁNICAS MUESTRA A (M-A).	82
ILUSTRACIÓN 23: COMPARACIÓN DE TAMAÑO DE LA MUESTRA M-A.	83
ILUSTRACIÓN 24: COMPARACIÓN DE TAMAÑO DE LA MUESTRA B (M-B).	84
ILUSTRACIÓN 25: LIGEREZA DE UNA UNIDAD DE LA MUESTRA B.	85
ILUSTRACIÓN 26: RECOLECCIÓN Y ACARREO DE MUESTRA C (M-C).	86
ILUSTRACIÓN 27 : CUARTEO DE MATERIAL GRUESO (M-B).....	89
ILUSTRACIÓN 28: COLOCACIÓN DE LA MUESTRA M-B SOBRE LOS TAMICES Y AGITADOR MECÁNICO.....	89
ILUSTRACIÓN 29: RETENCIÓN POR TAMICES DE M-B PARA SU PESAJE.....	90
ILUSTRACIÓN 30: CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO GRUESO M-B.	91
ILUSTRACIÓN 31: MUESTRA DE AGREGADO FINO EN TAMICES SOBRE AGITADOR MECÁNICO.	92
ILUSTRACIÓN 32: RETENCIÓN DE AGREGADO FINO POR TAMICES PARA SU PESAJE.	93
ILUSTRACIÓN 33: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO.....	94
ILUSTRACIÓN 34: VERTIDO Y PESAJE DE AGREGADO SUELTO FINO Y GRUESO.	96
ILUSTRACIÓN 35: CHUCEADO DE MATERIAL GRUESO Y FINO PARA SU PESAJE.	98
ILUSTRACIÓN 36: MUESTRAS DE AGREGADO GRUESO Y FINO PARA ENSAYO DE HUMEDAD.	99
ILUSTRACIÓN 37: COLOCACIÓN DE MUESTRAS EL HORNO A 100°C ± 5°C POR 24 HORAS.....	100
ILUSTRACIÓN 38: PESO SUMERGIDO DEL AGREGADO GRUESO.	102
ILUSTRACIÓN 39: COMPACTADO Y DEMOSTRACIÓN QUE EL MATERIAL FINO SE ENCUENTRA SATURADO SUPERF. SECO.....	105
ILUSTRACIÓN 40: PESAJE: MATRAZ / MATRAZ + AGUA + AGREGADO FINO.....	105
ILUSTRACIÓN 41: PESAJE DE AGREGADO FINO + TARA Y COLOCACIÓN AL HORNO.	106
ILUSTRACIÓN 42: PROBETAS A USAR PARA EL VACIADO DE CONCRETO.	124
ILUSTRACIÓN 43: HABILITACIÓN DE LOS MATERIALES PARA LA DOSIFICACIÓN 1.....	126
ILUSTRACIÓN 44: HABILITACIÓN DE LOS MATERIALES PARA LA DOSIFICACIÓN 2.....	127
ILUSTRACIÓN 45: HABILITACIÓN DE LOS MATERIALES PARA LA DOSIFICACIÓN 3.....	127
ILUSTRACIÓN 46: VERTIDO DE ELEMENTOS AL TROMPO MECÁNICO.....	128
ILUSTRACIÓN 47: LLENADO DEL CONO DE ABRAMS Y MEDIDA DE ASENTAMIENTO.	129
ILUSTRACIÓN 48: INGRESO DE AIRE CON PIPETA HASTA LA MARCA Y MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE	

EN EL CONCRETO.....	129
ILUSTRACIÓN 49: VERTIDO Y COMPACTACIÓN DE MEZCLAS EN PROBETAS.	130
ILUSTRACIÓN 50: EXTRACCIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO SECO.....	131
ILUSTRACIÓN 51: ROTULADO Y CURADO DE LOS ESPECÍMENES CILÍNDRICOS.....	131
ILUSTRACIÓN 52: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS.....	133
ILUSTRACIÓN 53: DETALLE DE FRACTURAS EN PROBETAS DE CONCRETO.	136
ILUSTRACIÓN 54: RESULTADOS EN PANTALLA DE PRENSA HIDRÁULICA, DOSIF. 1, PROBETA 1-4A, 28 DÍAS DE CURADO.....	140
ILUSTRACIÓN 55: RESULTADOS EN PANTALLA DE PRENSA HIDRÁULICA, DOSIF. 1, PROBETA 1-4B, 28 DÍAS DE CURADO.....	140
ILUSTRACIÓN 56: RESULTADOS EN PANTALLA DE PRENSA HIDRÁULICA, DOSIF. 1, PROBETA 1-4C, 28 DÍAS DE CURADO.....	140
ILUSTRACIÓN 57: VARIACIÓN DE LA RESIST. A COMPRESIÓN VS DÍAS DE CURADO. DOSIFICACIÓN 1.....	141
ILUSTRACIÓN 58: VARIACIÓN DE LA RESIST. A COMPRESIÓN VS DÍAS DE CURADO. DOSIFICACIÓN 2.....	142
ILUSTRACIÓN 59: VARIACIÓN DE LA RESIST. A COMPRESIÓN VS DÍAS DE CURADO. DOSIFICACIÓN 3.....	143
ILUSTRACIÓN 60: COMPARACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN VS DÍAS DE CURADO.....	144
ILUSTRACIÓN 61: PESO DE CONCRETO SECO EN HORNO Y PESO EN EL AGUA.....	146
ILUSTRACIÓN 62: TRANSPORTE DE POSTES.....	153
ILUSTRACIÓN 63: RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS POR DOSIFICACIONES.....	160
ILUSTRACIÓN 64: TIPOS DE FRACTURA EN PROBETAS CILÍNDRICAS.	161
ILUSTRACIÓN 65: MÉNSULAS Y PALOMILLAS DE CONCRETO PARA POSTES.....	163
ILUSTRACIÓN 66: MAPA SATELITAL CANTERA DE ROCA VOLCÁNICA QUILMANÁ (QUILMANÁ-CAÑETE). ...	177
ILUSTRACIÓN 67: MAPA CANTERA DE ROCA VOLCÁNICA QUILMANÁ (QUILMANÁ-CAÑETE).	177

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 : CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS.	33
TABLA 2: CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO LIGERO SEGÚN SU DENSIDAD.....	36
TABLA 3: CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE POSTES DE CONCRETO.....	61
TABLA 4: CARGA DE TRABAJO EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE POSTES.....	62
TABLA 5: CARGAS DE TRABAJO SEGÚN DIÁMETROS DE CIMA DE POSTES.....	62
TABLA 6: OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	73
TABLA 7: PESO DE M-B RETENIDO EN CADA TAMIZ.	90
TABLA 8: TABLA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO (M-B).	91
TABLA 9: PESO DEL AGREGADO FINO POR TAMIZ.....	93
TABLA 10: TABLA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO.....	94
TABLA 11: RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	108
TABLA 12: ASENTAMIENTO SEGÚN ESTRUCTURAS.....	109
TABLA 13: CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA (KG/M ³) PARA EL CONCRETO EN FUNCIÓN DEL TMN Y DEL SLUMP DEL AGREGADO GRUESO.....	111
TABLA 14: AIRE ATRAPADO EN FUNCIÓN DEL TMN DEL AGREGADO GRUESO PARA DISEÑOS SIN AIRE INCORPORADO.....	112
TABLA 15: RESISTENCIA REQUERIDA EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA.....	113
TABLA 16: RELACIÓN A/C EN FUNCIÓN DE F'c.....	114
TABLA 17: VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO.....	115
TABLA 18: DISEÑO NO CORREGIDO.....	117
TABLA 19: DISEÑO DE MEZCLA F'c = 300 KG/CM (DOSIFICACIÓN 1).....	119
TABLA 20: DISEÑO DE MEZCLA (DOSIFICACIÓN 2).....	121
TABLA 21: DISEÑO DE MEZCLA (DOSIFICACIÓN 2).....	122
TABLA 22: DOSIFICACIONES DEL CONCRETO A ENSAYAR.....	123
TABLA 23: PESO NECESARIO PARA MEZCLAS SEGÚN DOSIFICACIÓN.....	126
TABLA 24: ASENTAMIENTO POR DOSIFICACIÓN.....	128
TABLA 25: CONTENIDO DE AIRE.....	130
TABLA 26: ROTULADO DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS.....	132
TABLA 27: CARGAS MÁXIMAS DE ROTURA DE PROBETAS A LOS 7 DÍAS.....	134
TABLA 28: CARGAS MÁXIMAS DE ROTURA DE PROBETAS A LOS 14 DÍAS.....	135
TABLA 29: CARGAS MÁXIMAS DE ROTURA DE PROBETAS A LOS 21 DÍAS.....	135
TABLA 30: CARGAS MÁXIMAS DE ROTURA DE PROBETAS A LOS 28 DÍAS.....	136
TABLA 31: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS A LOS 7 DÍAS.....	137
TABLA 32: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS A LOS 14 DÍAS.....	138
TABLA 33: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS A LOS 21 DÍAS.....	139
TABLA 34: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS A LOS 28 DÍAS.....	139
TABLA 35: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, DOSIFICACIÓN 1.....	141
TABLA 36: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, DOSIFICACIÓN 2.....	142
TABLA 37: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, DOSIFICACIÓN 3.....	143
TABLA 38: PESO ESPECÍFICO DEL CONCRETO A LOS 28 DÍAS.....	145
TABLA 39: DENSIDAD SECA DEL CONCRETO A 28 DÍAS.....	146
TABLA 40: COSTO DE ACARREO ROCA VOLCÁNICA.....	148
TABLA 41: COSTO DE PRODUCCIÓN DE ROCA VOLCÁNICA.....	149
TABLA 42: COSTOS DE TRANSPORTE DE AGREGADOS.....	149
TABLA 43: COSTOS DE AGREGADOS EN OBRA.....	149
TABLA 44: RELACIÓN DE MATERIALES PARA CONCRETO LIGERO CON AGREGADO DE ROCA VOLCÁNICA.....	150
TABLA 45: COSTO DE PRODUCCIÓN DEL CONCRETO LIGERO CON ROCA VOLCÁNICA.....	151
TABLA 46: COSTO DE PRODUCCIÓN DEL CONCRETO TRADICIONAL PARA LA FABRICACIÓN DE POSTES.....	151
TABLA 47: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	176

INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1: MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO GRUESO.....	91
ECUACIÓN 2: MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO	94
ECUACIÓN 3: PESO UNITARIO DEL AGREGADO	96
ECUACIÓN 4: CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS.....	101
ECUACIÓN 5: PESO ESPECÍFICO DE MASA DEL AGREGADO GRUESO.	103
ECUACIÓN 6: PESO ESPECÍFICO DE MASA SUPERFICIALMENTE SECA DEL AGREGADO GRUESO.....	103
ECUACIÓN 7: PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL AGREGADO GRUESO.	103
ECUACIÓN 8: PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	103
ECUACIÓN 9: DENSIDAD SECA.	104
ECUACIÓN 10: DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA.	104
ECUACIÓN 11: DENSIDAD APARENTE.....	104
ECUACIÓN 12: PESO ESPECÍFICO DE MASA DEL AGREGADO FINO.....	107
ECUACIÓN 13: PESO ESPECÍFICO DE MASA SUPERFICIALMENTE SECO DEL AGREGADO FINO.....	107
ECUACIÓN 14: PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL AGREGADO FINO.....	107
ECUACIÓN 15: PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.	107
ECUACIÓN 16: VOLUMEN DE AGUA.....	112
ECUACIÓN 17: VOLUMEN DE CEMENTO.	114
ECUACIÓN 18: VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO.	116
ECUACIÓN 19: VOLUMEN DEL AGREGADO FINO.....	117
ECUACIÓN 20: AGREGADO CORREGIDO POR HUMEDAD	118
ECUACIÓN 21: ADICIÓN DE AGUA POR AGREGADO GRUESO.	118
ECUACIÓN 22: ADICIÓN DE AGUA POR AGREGADO FINO.	118
ECUACIÓN 23: VOLUMEN DE PROBETA PARA ENSAYO.	124
ECUACIÓN 24: PESO NECESARIO DE ELEMENTOS PARA VERTIDO DE PROBETAS.....	125
ECUACIÓN 25: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	137
ECUACIÓN 26: PESO ESPECÍFICO DEL CONCRETO.....	145
ECUACIÓN 27: DENSIDAD DEL CONCRETO.	145
ECUACIÓN 28: RENDIMIENTO DE ACARREO ROCA VOLCÁNICA.....	147
ECUACIÓN 29: PORCENTAJE ADICIONAL DE POSTES A TRASLADAR.....	152
ECUACIÓN 30: PORCENTAJE VEHÍCULOS AHORRADOS PARA TRASLADO DE POSTES.....	153
ECUACIÓN 31: PORCENTAJE DE PERSONAL PARA TRASLADO A PIE AHORRADO USANDO CONCRETO LIGERO.....	154

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad analizar los efectos físicos, mecánicos y económicos del concreto ligero usando como agregado grueso las rocas volcánicas frente a los concretos tradicionales usados en la fabricación de postes. El enfoque de la investigación fue de tipo básico, nivel explicativo y diseño no experimental teniendo como población a todas las rocas volcánicas de las canteras del departamento de Lima y como muestra a las rocas volcánicas de la cantera Quilmaná en la provincia de Cañete.

La investigación se realizó por etapas; en primer lugar se recolectaron tres muestras de rocas volcánicas de la cantera Quilmaná, luego de estudios geológicos, químicos y de difracción de rayos X, se escogió la más indicada para la fabricación del concreto ligero, luego se hallaron las propiedades físicas de los agregados en un laboratorio de materiales y se procedió a diseñar la mezcla de concreto en 3 dosificaciones para cumplir con lo establecido en la Norma Técnica Peruana de Postes de Concreto¹. En el laboratorio de materiales se vaciaron las mezclas en probetas cilíndricas y luego de 28 días de curado se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión, luego se realizó el ensayo de caracterización física del concreto.

Finalmente se analizaron los resultados y se llegó a las conclusiones según los objetivos planteados, dando las recomendaciones para futuras investigaciones con este tipo de concreto ligero en la fabricación de postes.

Palabras clave:

Concreto ligero, roca volcánica, postes de concreto.

¹ NTP 339.027

ABSTRACT

The principal aim of the current investigation is to analyse the physical, mechanic and economic effects of the lightweight concrete using volcanic rocks as coarse aggregate and comparing them with the traditional concrete used in the manufacture of poles. The approach of the investigation was of basic type, explanatory level and not experimental design having as population all the volcanic rocks of the quarries of the department of Lima and as sample the volcanic rocks of the quarry Quilmaná in the province of Cañete.

The investigation was realized by stages; first there were gathered three samples of volcanic rocks of the Quilmaná quarry, after geological, chemical and of X-rays diffraction studies, the most suitable sample for the manufacture of the lightweight concrete was chosen, then the physical properties of aggregates were identified in a laboratory of materials and it was proceeded to design the concrete mixing in 3 doses to fulfil with the established in the Technical Peruvian Norm of Concrete Poles. In the laboratory of materials the mixings were emptied in cylindrical test tubes and after 28 days of curing, the endurance tests to compression were realized, then it was realized the test of physical characterization of the concrete.

Finally the results were analysed to arrive to the conclusions according to the main objectives, giving the recommendations for future investigations with this type of lightweight concrete used in the manufacture of poles.

Keywords:

Lightweight concrete, volcanic rocks, concrete poles

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Desde que los seres humanos habitan la Tierra, siempre ha existido la necesidad por la evolución de las cosas a su alrededor, es por esto que se ha buscado a lo largo del tiempo, perfeccionamientos que han logrado el ahorro de esfuerzos. La base actual de la economía mundial demanda cambios dirigidos en optimizar los recursos existentes.

La materia prima usada en el sector construcción ha sufrido diversas innovaciones para mejorar su desempeño de las estructuras y su comportamiento frente a los cambios climáticos que con el paso del tiempo son más evidentes. Es el caso del concreto, que a pesar de que se pensaba que con la llegada del acero su uso iba a disminuir, continúa siendo la opción más demandada en la construcción de edificaciones de pequeña y mediana altura, y estructuras varias, dentro de las cuales existe una rama importante dedicada a la edificación de postes que son estructuras verticales destinadas servir de soporte para las de redes de alumbrado público en redes subterráneas, aéreas, media y alta tensión, redes de telecomunicaciones o usados para mostrar carteles.

En la actualidad, en el mundo vivimos en una sociedad industrializada donde para las necesidades de alumbrado, telefonía, publicidad y otros de índole aéreo usamos mayormente los postes de concreto armado centrifugado, y nuestro país especialmente debido a sus propiedades mecánicas y la baja cantidad de mantenimiento que requieren, las cuales los han convertido en los más competitivos y usados frente a otros de diferente material como los de metal o madera. Sin embargo debido al clima particular que posee nuestro país las cuales son extremos y, en ciertos lugares, muy agresivos (exposición atmosférica, humedad, radiación ultravioleta, etc.), la durabilidad de los postes de concreto disminuye a causa, entre otros, de la corrosión que se observa en la armadura misma del poste así como en su concreto externo, teniendo que hacer un mantenimiento constante o cambiando las unidades cada cierto tiempo generando así un gasto adicional a los clientes; además el traslado a lugares, con acceso restringido para vehículos (camiones, grúas, etc.), es muy difícil por el gran peso

que posee, necesitando el apoyo de al menos 30 operarios para manipularlo. Por otro lado el factor económico en su fabricación, en muchos casos, hace que los clientes opten por otra alternativa en materiales, decidiéndose por estructuras metálicas o de madera las cuales por sus características las hacen menos duraderas que una de concreto bien hecha.



*Ilustración 1: Traslado de poste de concreto en zona agreste de la provincia de Calca
Fuente: Municipalidad de Cuzco*



*Ilustración 2: Traslado de poste de concreto en zona agreste en el departamento de Arequipa
Fuente: PAFRER S.A.*

Debido a la geografía de nuestro país, se presentan largas extensiones de zonas costeras en donde, debido a la humedad presente, los problemas de durabilidad de los postes de concreto y sus accesorios son año a año más resaltantes a la vista; es por ello que es de suma importancia planear sistemas anticorrosivos así

como técnicas de protección del concreto, o en todo caso realizar un mejoramiento del concreto usando materiales especiales, los cuales mecánicamente, físicamente y económicamente sean beneficiosos, cumpliendo y siendo eficientes y eficaces también en los límites mecánicos requeridos por la NTP 339.027². Todo esto con el objetivo de darle una resistencia química y mecánica a las unidades, dependiendo el medio ambiente donde se levantará la estructura.



*Ilustración 3: Corrosión de concreto y de la armadura en poste en la urbanización Los Tallanes
Fuente: Municipalidad de Piura*

Debido al aumento del costo en las construcciones civiles en los últimos años, en donde el concreto es uno de los factores más importantes al momento de la inversión, planeamiento e implementación de la materia prima en la fabricación de postes, es necesario encontrar métodos y soluciones alternas para lograr optimizar desempeños y economía sin que esto signifique la disminución en la calidad del producto.

A través del tiempo se han realizado investigaciones y trabajos enfocados en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto, principalmente, en conseguir ciertas mezclas con un grado de resistencia mayor para diseñar

² Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas.

estructuras con elementos de menor dimensión pero que cumplan con las especificaciones mínimas de seguridad establecidas en los códigos internacionales. Eso resulta en una reducción significativa en el peso. Existen otras maneras de llegar a dicha reducción para que se pueda usar estructuralmente, los concretos ligeros, que pueden ser obtenidos de la mezcla de diversos materiales, entre ellos las puzolanas naturales, las cuales son una opción viable y con mucho futuro dado que debido a sus propiedades se podrían convertir en la solución que se necesita en la fabricación de diversas estructuras (postes centrifugados), bloques y accesorios que requieren concreto ligero, en un mediano a largo plazo, aportando mayor resistencia, menores gastos y mayor durabilidad.

En la siguiente investigación se analizarán los efectos de la roca volcánica como agregado del concreto ligero para el mejoramiento de las propiedades físicas, mecánicas y económicas en la fabricación de postes en el Perú.

1.2. Trabajos previos

1.2.1. Internacionales

(Mancipe, y otros, 2007), en su investigación titulada “Diseño de concretos de alta resistencia a partir de una puzolana natural” realizada para obtener el título de Ingeniero Civil en la Universidad de La Salle el año 2007 en la ciudad de Bogotá afirma que para mejorar la resistencia y propiedades del concreto se puede usar como alternativa las puzolanas naturales, ya que es de mucha utilidad cuando se desea aumentar la debido a que son de mucha importancia ya que así se trata de elevar la capacidad de resistencia a las fuerzas de compresión del hormigón. El **objetivo** de la investigación científica es diseñar hormigones adicionando como puzolana natural el caolín y realizar una comparación con los diseños de hormigones convencionales existentes, que en su gran mayoría usan aditivos especiales, y de esta manera, avalado por los resultados de la comparación, poder perfeccionar las condiciones cuando se requiera un hormigón de alta resistencia; el autor realizó su investigación del **tipo experimental**, llegando a la **conclusión**

que usando concreto convencional la resistencia a la compresión es de 3785 PSI (a los 28 días) mientras que analizando el diseño realizado con el caolín adicionado (usando la mejor proporción 5% de caolín en mezcla) el resultado es una resistencia de 2961 PSI (para 28 días), en otras palabras el diseño de concreto adicionando el caolín no supera las resistencia a la compresión de cuando se realizan con concretos tradicionales; es decir usando el caolín, el concreto no satisface la tesis propuesta, ya que al adicionarse éste, el concreto disminuyó significativamente su resistencia a la compresión.

(Valdés, 2010), en su tesis titulada “Recomendaciones para el diseño estructural del concreto ligero” para optar por el grado de Maestro en ingeniería en la Universidad Nacional Autónoma de México, en el año 2010 en la ciudad de México D.C. – México afirma que a pesar de que el concreto ligero ha tenido un uso ancestral, en la actualidad y durante gran parte de su historia únicamente fue y es usado sólo en circunstancias particulares, de tal modo que hasta ahora no ha sido usado como técnica recurrente en la industria de la construcción. El **objetivo** de la investigación es proporcionar y emplear recomendaciones de diseño basadas en pruebas de laboratorio que complementen los vacíos de información que existen en los códigos y aportar elementos para propiciar su uso con fines estructurales; importantes son las ventajas de su empleo, entre las que destacan la disminución de los miembros de cimentación, es decir reducción de geometría y número de piezas coladas, debido a cargas muertas más bajas. Para su estudio se enfocó como **muestra** en un edificio de concreto reforzado de 4 niveles destinado a habitaciones hospitalaria. La mencionada investigación es de **tipo experimental** pues se analizaron las propiedades para un edificio de concreto de masa normal y de concreto ligero llegando a la **conclusión** de que el peso propio de la estructura tuvo una reducción del 64%, que a su vez indujo una disminución en la masa sísmica total al 74%. Los periodos en la estructura de concreto ligero fueron mayores, como era de esperarse ya que el módulo de elasticidad era menor, haciendo más flexible la estructura. Finalmente, en el cortante basal hubo una reducción del 77%. Las dimensiones de los elementos de concreto ligero quedaron regidas por la deformación, mientras que el concreto de masa normal rigió la resistencia. El costo final de la estructura se redujo al 90% empleando concreto

ligero, sin embargo, no se podría generalizar que cuando se emplea el concreto ligero resulta una opción más económica, sino que se necesitarían evaluar las opciones.

1.2.2. Nacionales

(Ibarcená, 2013), en su tesis titulada “Uso de concreto ligero con agregados de roca volcánica en la fabricación de unidades de albañilería no estructural” con la finalidad de obtener el título de Ingeniero Civil en la Universidad Católica de Santa María el año 2013 en la ciudad de Arequipa; cuya investigación es de **tipo experimental** donde plantea el uso de roca volcánica, específicamente la piedra pómez, como agregado en la elaboración de bloques de concreto para diversos usos, como por ejemplo al fabricar tabiquería. Su **objetivo** fue determinar el efecto que tiene el concreto ligero cuando se le adiciona como agregado las rocas volcánicas, tanto en sus propiedades físicas, mecánicas y económicas, todo esto usado en la elaboración de unidades de albañilería no estructural; **concluyendo** que físicamente, disminuye su densidad entre 34% a 52% (1450 Kg/m³ - 1050 Kg/m³), además lo hace más poroso y disminuye también enormemente la conducción del calor que podría existir en el futuro hasta un 67%, asimismo proporciona cierta coloración y trama más vistosa y elegante; en cuanto a las propiedades mecánicas, dependiendo del agregado que se use su resistencia ante la compresión disminuye en un intervalo entre 75% a 87%, sin embargo no afecta sustancialmente cuando se la va a usar para elaborar bloques de concreto, y por último económicamente el costo no varía mucho cuando se necesita un muro con densidad de 1330 Kg/m³, comparando a un muro de bloques de concreto tradicional, pero es 35% más económico que un muro usando ladrillos.

(Carrera, 1980), en su tesis titulada “Concreto Liviano Empleando vidrio volcánico como agregado” para obtener el Título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en el año 1980 en la ciudad de Lima, afirma que el concreto normal para estructuras de Ingeniería, hecho con grava o piedra triturada y arena, pesa entre 2250 y 2400 Kg/m³ y cuenta con una resistencia dentro del rango estructural; existen sin embargo, diversos tipos de estructuras como casas,

departamentos, escuelas y edificios para oficinas en los cuales no es necesario un concreto de resistencia estructural y, por lo tanto, un concreto menos denso puede dar la resistencia necesaria y al mismo tiempo dar un aislamiento térmico adicional con la ventaja de un menor peso estructural. La investigación de **tipo experimental** tiene como **objetivo** investigar las diferentes propiedades, así como el comportamiento que tiene un concreto ligero en el que se emplea como agregado el vidrio volcánico, mediante éstas investigaciones se ha querido conocer un nuevo tipo de concreto ligero; y dar así las pautas necesarias para ser usado en obras de ingeniería en el Perú. Llegó a la **conclusión** que el uso estructural de este tipo de concreto ligero está restringido por su baja resistencia a la compresión (155 Kg/cm²). Realizando estudios más minuciosos, donde se tomen en cuenta la reducción del peso del concreto del elemento, serán necesarios antes de determinar su beneficio; sin embargo es muy ventajoso para paredes prefabricadas, planchas divisorias de ambientes y parapetos, cielos rasos y tarrajeo de paredes pues tiene la ventaja de que éstos elementos aligerarían las cargas sobre losas o voladizas.

(Seminario, 2003), en su tesis titulada “Evaluación de la Corrosión en Postes de Concreto Armado de la Urbanización los Tallanes” para optar por título de Ingeniero mecánico-eléctrico en la universidad de Piura el año 2003 en la ciudad de Piura, siendo la investigación de **tipo descriptiva**. El **objetivo** de la investigación fue elaborar un estudio en la urbanización Los Tallanes en Piura para determinar la corrosión existente y su magnitud en los diferentes postes de concreto armado centrifugado; también, luego de analizar sus causas, realizar ciertas recomendaciones de forma técnica y práctica de ciertos métodos anticorrosivos. Llegando a la **conclusión** que al nivel más próximo del suelo se ubicó el concreto con mayor concentración de carbonato, específicamente a una altura de metro y medio del ras del suelo aproximadamente, debido al cual se propone como método de reparación la aplicación de ciertos selladores sobre la superficie del concreto o también ubicar un cono truncado en la base de los postes, siendo éste último económicamente la mejor propuesta puesto que también proporciona un acrecentamiento de impermeabilidad como también del aumento del espesor de recubrimiento (diámetro) en la zona afectada del poste y

gracias a estos aumentos una acentuación importante de su resistencia mecánica.

(Flores, 2009), asimismo en su tesis titulada “Estudio teórico experimental de postes tronco cónico de concreto armado” para optar por el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) el año 2009 en la ciudad de Lima, la cual tiene como **objetivo** presentar los resultados de la mejora continua del diseño de un conjunto de postes de concreto armado utilizados por las empresas eléctricas locales (EDELNOR, EDELSUR) en sus instalaciones de alta y baja tensión. Para esto realizó un diseño estructural de postes de concreto armado de sección variable, realizando pruebas y ensayos las cuales optimizaron el diseño, usando para esto los criterios y procedimientos de cálculo establecidos en las normas técnico peruana y norteamericanas (ACI³) para el diseño de elementos de concreto armado y los ensayos de los materiales de acuerdo a los procedimientos de la ASTM⁴. Llegando a la **conclusión** de que gracias al diagrama momento curvatura se puede entender mejor el comportamiento de la estructura y predecir así con mayor exactitud la deformación del poste, asimismo en base a los ensayos de los materiales se pudo predecir de mejor manera el momento resistente del poste, determinándose gracias a ello un factor de seguridad mucho mayor, además gracias a la investigación se comprueba que la teoría elástica no puede predecir la resistencia máxima de los miembros sometidos a cargas elevadas, puesto que no toma en cuenta el rango inelástico de comportamiento de los materiales es por esto que en base a los ensayos se encuentran mejor las gráficas reales de esfuerzo-deformación incluyendo el comportamiento elástico e inelástico, obteniendo así buenos resultados al simular el poste prediciendo el comportamiento del mismo, llegando así a optimizar la estructura lo cual influencia positivamente el costo de fabricación, tanto en materiales como en velocidad de producción.

³ ACI: American Concrete Institute

⁴ ASTM: American Society for Testing and Materials

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. El concreto

El concreto es un material duro que se asemeja a las rocas, éste es el resultado de la combinación de cemento, agua, aire y agregados (piedra y arena) en adecuadas proporciones. Lo que diferencia a las rocas del concreto es que se le puede otorgar dimensiones específicas y para esto se utilizan los denominados encofrados. (Ortega, 1990 pág. 11)

El citado autor menciona que el concreto es el material que resulta de la mezcla de tres elementos fundamentales: agua, cemento y agregados (arena y piedra), los cuales al solidificarse se transforman en uno de los más resistentes para realizar bases, paredes, entre otros. Al inicio se encuentra en un estado fresco, permitiendo que se le pueda moldear, pero con el transcurrir del tiempo luego de algunas horas se fortalece adoptando las dimensiones del molde o depósito que lo contuvo. En el presente capítulo se señalarán sus principales características.

1.3.1.1. Usos estructurales

(Cenapred, 2018) menciona que “Los elementos estructurales son las partes de una construcción que sirven para darle resistencia y rigidez. Su función principal es soportar el peso de la construcción y otras fuerzas como sismos, vientos, etc.”

Dentro de una construcción, los elementos más importantes son:

- **Vigas y viguetas:** Son mayormente barras de concreto reforzado horizontales, cuya función principal es trasladar los pesos hacia las columnas, esto genera que las vigas y viguetas presentes se encuentren a fuerzas de flexión.
- **Columnas:** Llamadas también pilares, son elementos de forma prismática de concreto reforzado, que tienen como función soportar las fuerzas de compresión y torsión a lo largo del eje vertical y transportar dichas fuerzas

hacia los cimientos de la construcción.

- **Cimientos:** Son los elementos que soportan el peso de la estructura y la distribuye en el suelo, las fuerzas que soporta son las de compresión.
- **Placas:** Son muros de concreto que dan rigidez lateral a la estructura ante eventos como los sismos.

1.3.1.2. Propiedades en estado fresco

Es de mucha importancia un análisis general de las principales características que presenta el concreto en su estado fresco, cómo se miden y las causas o factores que lo afectan, asimismo lo relacionado a diseños de mezcla, transporte, colocación y compactación; todo esto puesto que dichas características afectarán en un bajo o alto grado al concreto cuando éste se haya endurecido luego de unas horas. (Sanchez, 1991 pág. 112)

El autor afirma que es necesario el manejo de las propiedades del concreto en estado fresco ya que éstas determinan las propiedades que poseerán posteriormente al endurecerse, dentro de las principales tenemos:

- **Cohesión:** Propiedad que impide la división de los materiales en la mezcla y las administra en el transcurso de su colocación dentro del encofrado.
- **Pérdida de revenimiento:** Se suele usar este término para describir la reducción de consistencia, o el acrecimiento de la rigidez que la mezcla de concreto experimenta a partir del momento en el que sale de la mezcladora hasta que acaba siendo puesta y compactada en la estructura que se desea trabajar. Es importante conocer que el hecho de usar materiales porosos secos como agregado o el hecho de usar cementos con puzolanas hacen que la mezcla pierda su revenimiento de una forma más pronunciada.
- **Tiempo de fraguado:** existen reacciones internas químicamente durante

todo el proceso de la fabricación del concreto, al inicio no existen grandes cambios en cuanto a su consistencia, pero empieza a perder fluidez notoriamente cuando la resistencia a la penetración alcanza los 35 Kg/cm², esto hasta que finalmente se transforma en un material rígido que ya no es posible moldear, cuando finalmente alcanza 280 Kg/cm² de resistencia a la penetración⁵ se dice que el concreto ya ha fraguado y es a partir de este punto en donde empieza a obtener una resistencia mecánica adecuada.

- **Segregación:** Después que la mezcla del concreto fue puesta en el encofrado o envase que lo cobije, empieza un proceso natural donde los elementos pesados como el cemento y los agregados descienden y el elemento vital: el agua sube a la superficie, es así que en la superficie superior se crea un manto con resistencia y durabilidad menor y para no tener este tipo de inconvenientes se debe utilizar la adecuada proporción de agua en la mezcla, emplear agregados con una correcta granulometría o en todo caso emplear cementos que proporcionen mayor superficie específica.⁶

1.3.1.3. Propiedades en estado endurecido

(Kosmatka, y otros, 2004 pág. 2) señala que: “Después del término del proporcionamiento, dosificación, colocación (hormigonado, puesta, colado), consolidación, acabamiento y curado adecuados, el concreto se endurece, se transforma en un material no-combustible, durable, resistente a la abrasión e impermeable lo cual requiere poca o ninguna conservación”.

En otras palabras los autores, pertenecientes al PCA⁷ nos enuncian algunas propiedades que adquiere el concreto al endurecerse, entre los principales tenemos:

- **Adquisición de resistencia mecánica:** En los concretos la rapidez con la que obtiene resistencia mecánica depende de la rapidez con la que se

⁵ Ensayo de resistencia a la penetración en el concreto ASTM C-403

⁶ Grado de finura del cemento, siendo los de mayor superficie específica el tipo III y portland-puzolana

⁷ Portland Cement Association.

hidrata el, la cual está íntimamente ligado a su superficie específica, cabe precisar que si bien es cierto que los cementos portland-puzolana poseen una mayor superficie específica, no quiere decir que logren de forma inmediata dicha resistencia puesto que debido a sus características naturales no pueden dotarla en sus primeras etapas.

- **Generación de calor:** al realizarse la mezcla existen ciertas reacciones internas entre los materiales, específicamente entre el agua y el cemento, las cuales son de índole exotérmico, lo cual trae como consecuencia un aumento de la temperatura de la mezcla que luego de un tiempo, al enfriarse, se contrae generando de esta manera ciertos esfuerzos de tracción que en muchos casos termina agrietando el material. Cabe resaltar que esto suele ocurrir mayormente cuando se usa un cemento que se hidrata rápidamente, es decir cuando tiene alta superficie específica, o también sucede cuando se trabaja en estructuras muy grandes en espesor.
- **Resistencia ante sulfatos:** Como bien es conocido, las sales inorgánicas que son muy comunes en los suelos a aguas residuales contienen sulfatos y éstos reaccionan con el aluminato tricalcico (C3A) dando creación al sulfoaluminato de calcio, las cuales luego de un tiempo se expanden generando expansiones en la mezcla que poco a poco desintegran al concreto; ante esto se pueden realizar varias acciones, la principal es usar cementos que contengan reducido aluminato de calcio, o también usar ciertas puzolanas que al trabajar en conjunto mejoran la resistencia contra ataque de sulfatos.
- **Estabilidad volumétrica:** la presencia de grietas en el concreto endurecido es una de las cosas que ningún ingeniero desea observar en el trabajo, esto se genera debido a la inclinación a sufrir contracciones. En este sentido durante el fraguado aparece un tipo de contracción denominada plástica la cual está ligado al uso excesivo de agua en la mezcla y la poca protección y curado que se tuvo. También existe la denominada contracción térmica la cual se genera por el enfriamiento progresivo del concreto después de que se haya calentado a causa de la hidratación del cemento; finalmente sucede

una contracción por secado que se observa luego de un determinado tiempo largo una vez que la estructura realizada pierda hidratación debido a la evaporación.

- **Estabilidad química:** Los agregados que se usan en la mezcla tiene reacciones cuando se encuentran dentro de la masa de cemento, ciertas de estas reacciones son positivas para la consistencia requerida pero existen otras que son muy dañinas, las denominadas reacciones álcali-agregado.

Existen de tres tipos, que dependen de la naturaleza de la roca que se usó como agregado, estas pueden ser:

- Reacciones Álcali-sílice
- Reacciones Álcali-carbonato
- Reacciones Álcali-silicato

Por lo general, debido al material que se usa convencionalmente en las construcciones en el Perú, la reacción álcali-sílice es la más común entre todas.

1.3.1.4. Agua para el concreto

(Ibarcená, 2013 pág. 8) afirma que “El agua posee dos funciones en el concreto: la primera como ingrediente en su fabricación y la segunda como medio de curado en estructuras recién edificadas”.

El mencionado autor cita que el agua cumple un rol importante tanto en el mezclado (en su fabricación), como en su curado (al endurecer). Durante la mezcla, el agua tiene como objetivo adquirir el adecuado asentamiento, que en ese momento está siendo elaborada, todo esto dependiendo de la clase de estructura que se trabaje. Un hecho importante a saber es que a más cantidad de agua (hidratación) en la mezcla, el asentamiento como la segregación también aumentará.

Una vez que se empieza a solidificar el concreto, es natural que pierda poco a poco una parte del agua que se usó en su elaboración, resultando en la aparición de ciertos poros en su lugar, trayendo como consecuencia que la resistencia mecánica disminuya, haciéndolo mucho más permeable y por ende más propenso a tener ataques por agentes químicos externos.

El porcentaje de agua que se hecha en la mezcla determina significativamente la fluidez de la misma, sin embargo no todo el cemento reacciona con la hidratación, se conoce que la relación de agua-cemento (a/c) requerida es de 0.18, puesto que sólo es necesario un 17% del peso del total del cemento para que exista una reacción, todo lo demás llega a evaporarse.

1.3.1.5. Cemento

Según la ASTM C150⁸, el cemento Portland, es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clínker compuesto principalmente por silicatos de calcio hidráulicos y que poseen mayormente una o más de las formas de sulfato de calcio como adición durante la molienda, en otras palabras:

Cemento Portland = Clínker Portland + yeso

1.3.1.5.1. Tipos de cemento

Según la ASTM C150, el cemento se clasifica en 5 tipos:

- **TIPO I:** El más usado, se usa cuando no se requieren propiedades especiales.
- **TIPO II:** Para uso general, especialmente cuando se requieren resistencia moderada a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
- **TIPO III:** Se usa cuando se requieren altas resistencias iniciales.

⁸ American Society of Testing Materials: Especificación Normalizada para Cemento Portland.

- **TIPO IV:** Es requerido cuando se desea un calor de hidratación bajo.
- **TIPO V:** Se usa cuando se requieren alta resistencia contra los sulfatos.

Cabe señalar que para la presente investigación, se usará el cemento más comercial y de uso general, el cemento Sol Tipo I, de 42.5 kg.



*Ilustración 4: Cemento Sol Tipo I.
Fuente: www.maestro.com.pe*

1.3.1.6. Agregados del concreto

Tradicionalmente los agregados usados en la mezcla del concreto tienen un 60% a 75% de representación dentro del total del volumen, es por esto que tiene una gran importancia sobre la mezcla a elaborar y es necesario conocer las propiedades de los diferentes tipos de agregado que se pueden emplear en la elaboración del concreto. (Ibarcená, 2013 pág. 9)

El autor menciona que los agregados del concreto tienen una gran importancia pues poseen características que los hacen ideales para determinados trabajos, debido al entorno donde se realizarán. Sus principales características son:

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS	ASPECTOS INFLUIDOS EN EL CONCRETO	
	ESTADO FRESCO	ESTADO ENDURECIDO
Granulometría	<ul style="list-style-type: none"> • Manejabilidad • Requerimiento de agua • Segregación 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia mecánica • Cambios volumétricos • Costos
Limpieza	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad • Resistencia mecánica • Cambis volumétricos
Densidad	<ul style="list-style-type: none"> • Peso unitario 	<ul style="list-style-type: none"> • Peso unitario
Sanidad	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad
Absorción y porosidad	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de revenimiento • Contracción plástica 	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad • Permeabilidad
Forma de partículas	<ul style="list-style-type: none"> • Manejabilidad • Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia mecánica • Cambios volumétricos • Costos
Textura superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Manejabilidad • Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad • Resistencia al desgaste • Costos
Tamaño mínimo	<ul style="list-style-type: none"> • Segregación • Peso unitario • Requerimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia mecánica • Cambios volumétricos • Peso unitario • Permeabilidad • Economía
Reactividad álcali-agregado		<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad
Módulo de elasticidad		<ul style="list-style-type: none"> • Módulo de elasticidad • Cambios volumétricos
Resistencia a la abrasión		<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la abrasión • Durabilidad
Resistencia mecánica		<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia mecánica
Partículas friables y terrones de arcilla	<ul style="list-style-type: none"> • Contracción plásticas 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia mecánica • Durabilidad • Reventones superficiales
Coefficiente de absorción térmica		<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades térmicas

*Tabla 1 : Características de los agregados.
Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería.*

Forma y textura superficial de las partículas: Estas características representan el comportamiento del concreto, por lo cual es de suma importancia analizar y prever las consecuencias que podría tener su variación, sobretodo la importancia en el manejo en su estado fresco como también la adherencia que experimentan las partículas cuando el concreto esté ya endurecido.

Propiedades térmicas: El concreto tiene las propiedades térmicas siguientes:

- **Conductividad térmica:** Es el coeficiente que dirige la rapidez con la que se transfiere el calor mediante la conducción a través del tiempo es decir el diferencial dQ/dt , a través de un área (A), a consecuencia de un aumento de temperatura el cual podemos definirlo como un diferencial dT/dx .
- **Calor específico:** Es la magnitud física que precisa la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado kelvin o Celsius la temperatura ASTM de un gramo de sustancia. Para el agua esta propiedad es de $4.18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- **Calor:** Se refiere a la energía que pasa de un cuerpo al otro cuando están en contacto y esto resulta en un equilibrio de sus temperaturas.
- **Difusividad térmica:** se refiere a lo propenso que es un material para adecuarse a la temperatura de su medio ambiente.

1.3.1.7. Aditivos

(American Concrete Institute, 2000 pág. 2) define al aditivo como: “un material que no siendo agua, agregado, cemento o refuerzo con fibra, es empleado como un ingrediente del concreto o mortero y es añadido inmediatamente antes o durante el mezclado.”

El autor explica que los aditivos con materiales especiales que se usan como componentes del concreto, los cuales se añaden durante la mezcla con la finalidad de modificar alguna de sus características dependiendo del trabajo que se está realizando, dando de esta manera más facilidad en la colocación del concreto y

ahorro en los costos de operación.

Según la norma ASTM C94⁹ se clasifica a los aditivos de la manera siguiente:

- **TIPO A:** Reductores de agua.
- **TIPO B:** Retardadores de fragua.
- **TIPO C:** Acelerantes.
- **TIPO D:** Reductores de agua y retardadores de fragua.
- **TIPO E:** Reductores de agua y acelerantes.
- **TIPO F:** Súper reductores de agua.
- **TIPO G:** Súper reductores de agua y acelerantes.

1.3.1.8. Concreto liviano

1.3.1.8.1. Definición

Se define como concreto liviano o ligero a aquellos que poseen una densidad menor a 1920 kg/m³, establecido en la NTP E60¹⁰ y se dividen en tres clases: el concreto aireado, concreto sin finos y concretos de áridos livianos



Ilustración 5: Bloques de concreto ligero.

Fuente: www.concretospilares.com

⁹ American Society of Testing Materials: Especificación Normalizada para concreto Premezclado

¹⁰ Norma Técnica Peruana: Concreto armado.

1.3.1.8.2. Clasificación

Según el ACI 213R-03¹¹ el concreto ligero o liviano se puede clasificar según su densidad como se observa en la siguiente tabla:

CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A LA DENSIDAD DEL CONCRETO LIVIANO		
Densidad del concreto	Aislamiento térmico	Resistencia a compresión
300 a 1120 kg/m ³ aislante	Alto	Baja 0.7 a 7 MPa
1120 a 1680 kg/m ³ Relleno / Estructural	Medio	Media 7 a 17 MPa
1680 a 1920 kg/m ³ Estructural	Bajo	Alta 17 MPa en adelante

*Tabla 2: Clasificación del concreto ligero según su densidad.
Fuente: ACI 213R-03.*

Como se puede observar en la tabla anterior, para que un concreto liviano se pueda catalogar como concreto liviano estructural, la densidad seca máxima que debe poseer es de 1920 kg/m³.

1.3.1.8.3. Características

El concreto liviano o ligero presenta con varios aspectos beneficiosos, dentro de los más importantes, de acuerdo a los autores Valdez, Suarez y Proaño en su artículo Hormigones livianos, son las siguientes:

- Disminuye el peso de las estructuras y sus cargas a la cimentación.

¹¹ American Concrete Institute: Guía para concreto ligero estructural.

- El transporte, habilitación y colocación es mucho más económico.
- Su densidad es baja.
- Tiene características de aislamiento térmico, aislamiento acústico.
- Posee bajo módulo de elasticidad.
- Tiene más ventajas de piroresistencia, comparado con el concreto que se usa convencionalmente.
- Aplicaciones diversas, incluso mayor que un concreto de uso convencional.

1.3.1.8.4. Diseño de mezclas del concreto liviano

Existen 3 formas de elaborar concreto liviano: el primero con agregado liviano, el cual reemplaza en su totalidad al agregado grueso y está destinado a usos estructurales, el segundo es con concreto aireado, celular o espumoso, donde se introducen grandes vacíos de, de tal manera que se produce un concreto poroso y liviano. Finalmente se tiene el concreto sin finos, donde se mantienen agregados gruesos de peso normal, se omiten los finos y por lo tanto hay un gran número de vacíos presentes. (Segura, 2007 pág. 24)

El mencionado autor señala que se puede aligerar el concreto de tres maneras; usando agregados gruesos livianos, aireando el concreto y eliminando los finos en la mezcla. En la presente investigación se usó la primera forma de aligerar el concreto, es decir se reemplazó el agregado grueso convencional por uno con características específicas que lo hacen más liviano (rocas volcánicas), llegando al rango estructural que requiere la fabricación de postes.

(Romero, y otros, 2014 pág. 50) señala que: “El método ACI¹² es un método de dosificación para diseñar mezclas de hormigón; basado en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido”.

Los mencionados autores mencionan que existen diferentes procesos de diseños de mezclas, sin embargo, prácticamente todas son variedades derivadas del

¹² ACI: American Concrete Institute.

método del ACI¹³; este método requiere que conozcamos las siguientes características:

- **Resistencia a la compresión ($f'c$):** Se refiere a la necesaria que debe llegar cuando este en el día 28, su unidad de medición es “Kg/cm²”.
- **Peso específico del cemento (PE_c):** Se refiere la correspondencia entre el aire de un volumen de cemento respecto a la masa de un volumen igual de agua liberado de todo gas. Se mide en “Kg/cm³”.
- **Peso unitario compactado del agregado grueso (PUC_{AG}):** Es la relación existente entre la masa de un grupo de partículas compactadas del agregado grueso que se utilice, entre el volumen total que ocupan, se mide en “Kg/m³”.
- **Peso unitario suelto del agregado grueso (PUS_{AG}):** Es la relación existente entre la masa de un grupo de partículas sueltas del agregado grueso que se utilice, entre el volumen total que ocupan, se mide en “Kg/m³”.
- **Peso específico del agregado grueso (PE_{AG}):** Con respecto al material de agregado grueso usado en la elaboración del concreto. Se mide en “Kg/cm³”.
- **Porcentaje de absorción del agregado grueso (ABS_{AG}):** La relación del peso del agua el cual absorbe una determinada cantidad de agregado grueso y su peso al encontrarse en estado seco. Se mide en “%”
- **Contenido de humedad del agregado grueso (HUM_{AG}):** Es el cociente que se obtiene al dividir el peso del agua que se presenta al momento de realizar un vaciado dentro del agregado grueso con el peso de la misma cantidad de agregado ya en estado seco. Se mide en “%”.
- **Tamaño máximo nominal (TMN):** Está definido como el tamiz mayor que

¹³ ACI: American Concrete Institute

le sigue respecto al cuyo porcentaje retenido acumulado es de quince por ciento (15%) o más, siendo ésta medida en pulgadas (").

- **Peso específico seco del agregado fino (PE_{AF}):** Con respecto al agregado fino usado en la elaboración del concreto, se mide en "Kg/cm³".
- **Peso unitario compactado del agregado fino (PUC_{AF}):** Es la relación existente entre la masa de un grupo de partículas compactadas del agregado fino que se utilice, entre el volumen total que ocupan, se mide en "Kg/m³".
- **Peso unitario suelto del agregado fino (PUS_{AF}):** Es la relación existente entre la masa de un grupo de partículas sueltas del agregado fino que se utilice, entre el volumen total que ocupan, se mide en "Kg/m³".
- **Porcentaje de absorción del agregado fino (ABS_{AF}):** Es la referida con respecto al agregado fino. Su medición se da en "%".
- **Contenido de humedad del agregado fino (HUM_{AF}):** Respecto al agregado fino a usar, es medido en porcentaje "%".
- **Módulo de fineza del agregado fino:** Se refiere al valor que mide la fineza que tiene el agregado fino, es necesario saber que un valor bajo significa que el material usado es mucho más fino. No posee unidad, es adimensional.
- **Cantidad de datos estadísticos:** es de suma importancia para calcular la resistencia frente a compresiones (f'_{cr}), a un determinado número de datos estadísticos se necesita igual número de ensayos a hacer.
- **Tipo de estructura:** De acuerdo al tipo de construcción de estructura que se necesita se calculará el asentamiento necesario para su adecuada ejecución.

- **Granulometría:** Este ensayo es de mucha importancia para conocer cómo se distribuye los diámetros de los agregados, para esto se vierte sobre una serie de tamices para posteriormente pesar lo retenido en cada uno.
- **Módulo de finura:** Dependiendo del tipo de agregado es la suma de porcentajes retenidos acumulados en los tamices del ensayo granulométrico.

1.3.1.9. Propiedades físicas y mecánicas en el concreto

1.3.1.9.1. Resistencia a la compresión

(Osorio, 2017) en su artículo indica que la resistencia a la compresión: “Es la característica mecánica principal del concreto y se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , Mpa y con alguna frecuencia en Psi.”

El autor explica que la existencia a la compresión se define como a capacidad de soportar una fuerza sobre un área específica.

En cuanto al concreto liviano, la resistencia se relaciona a su densidad, en términos generales se establece que concretos más densos desarrollan mayor fuerza a la compresión; esto está en función al aporte de sus partes que lo componen, por lo cual el material encargado de disminuir la masa de concreto es el agregado liviano.

Sin embargo la relación entre densidad y resistencia no son los únicos encargados de dar la resistencia al concreto, existen otros factores como:

Relación agua-cemento:

(Terreros, 2006 págs. 123-126) nos menciona que “mientras la relación agua/cemento sea menor, se obtendrán mejores resistencias, sin embargo cuando se trabajan con agregados livianos es muy difícil calcular este factor, debido a que

estos agregados poseen mucha porosidad”.

El autor nos indica que la relación agua/cemento y la resistencia son inversamente proporcionales y es por eso que dicha relación influye mucho en el diseño de mezcla, dependiendo al tipo de estructura que será destinada.

Granulometría del agregado liviano:

Por lo general el tamaño máximo nominal de los áridos livianos estructurales con mayor uso en el mundo es de 8 mm, Se considera que el tamaño máximo de los agregados livianos naturales sea 20 mm, porque a mayores dimensiones, se tiene mayor superficie específica y esto podría ocasionar una reducción considerable en la resistencia del concreto liviano por lo que requieren menor presencia de pasta de cemento. (Martínez, 2010 pág. 73)

En la presente investigación se diseñará la mezcla de concreto en base a los métodos ACI, usando como material grueso liviano la roca volcánica con un TMN de $\frac{3}{4}$ ” según los cálculos indicados en la parte de resultados, cumpliendo de esta forma con lo que menciona el autor anterior que el TMN del agregado liviano no debe ser mayor a 20 mm.

Curado del concreto

Es importante la hidratación con agua en el concreto liviano mediante el curado, sin embargo el incremento de la resistencia es menos afectado por un pobre curado, debido a que la estructura porosa de los agregados ligeros absorben agua y por lo tanto se mantiene hidratado el concreto contribuyendo al curado interno. (Neville, 1998 pág. 66)

Como indica el autor, el proceso de curado es uno de los más importantes para alcanzar adecuados resultados a los ensayos de compresión posteriores, sobre todo en los primeros 7 días es esencial llevar un control adecuado y si es posible realizarlo en cámaras de curado especiales, regulando la humedad y temperatura

ambiente, sin manipularlos demasiado.

1.3.1.9.2. Ensayo de compresión

El ensayo de compresión se realiza en laboratorios de mecánica de materiales y es la forma práctica y tradicional de evaluar la resistencia y uniformidad del concreto. Para lograr resultados adecuados el procedimiento es el siguiente, según lo establecido en la NTP 339.034¹⁴:

- El ensayo se realizará en las probetas cilíndricas (o testigos) del curado húmedo tan pronto como sea práctico, luego de retirarlos del almacenaje de humedad.
- Se coloca el bloque de rotura inferior, sobre el cabezal de la máquina de ensayo. El bloque de rotura superior directamente bajo la rótula del cabezal. Se procede a limpiar las caras de contacto de los bloques superior e inferior y las de la probeta de ensayo y colocar el cilindro sobre el bloque inferior de rotura. Cuidadosamente alinear los ejes de la probeta con el centro de empuje de la rótula del bloque asentado.
- Se aplica una velocidad de carga continua y sin detenerse hasta que la probeta sufra rotura.
- La carga será aplicada a una velocidad de movimiento correspondiendo a una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de $0,25 \pm 0,05$ Mpa/s. la velocidad de movimiento diseñada será mantenida al menos durante la mitad final de la fase de carga anticipada.
- Finalmente se anotan los datos obtenidos y se calcula la resistencia a la compresión en gabinete, mediante fórmulas.

¹⁴ Norma Técnica Peruana: Resistencia a compresión.



*Ilustración 6: Ensayo de resistencia a la compresión del concreto.
Fuente: Material propio.*

1.3.1.9.3. Densidad de equilibrio

Según la norma ASTM C567¹⁵, la densidad es el peso de la unidad de volumen de concreto en estado endurecido; esto quiere decir que el peso unitario del concreto liviano estructural puede ser definido como la cantidad de volumen que puede almacenarse en un recipiente sobre el peso de este, para determinar la cantidad de vacíos presente y la densidad de concreto.

Esta norma internacional nos menciona que la densidad de equilibrio se alcanza alrededor de los 90 días. Para la mayoría de los concretos livianos de alta resistencia, dicha densidad es alcanzada alrededor de 180 días. La experiencia ha demostrado que a pesar de las variaciones en el contenido de humedad inicial de agregado liviano, la densidad de equilibrio será aproximadamente 50 kg/m³ mayor que la densidad seca.

¹⁵ American Society for Testing and Materials: Método Normalizado de Ensayo para la Determinación de la Densidad de Concreto Estructural Liviano

1.3.1.9.4. Asentamiento

El asentamiento es una propiedad del concreto fresco referida a la facilidad que posee para ser moldeado, manejado, transportado, colocado, compactado y terminado sin que se pierda su homogeneidad. Un método indirecto para hallar el asentamiento es por medio del Cono de Abrams, el cual es muy útil para determinar la consistencia o fluidez de la mezcla. (Rivera, 1998)

El autor señala que el asentamiento nos ayuda a determinar la consistencia y fluidez del concreto, su facilidad para adaptarse al encofrado que lo contendrá dejando lo mínimo de vacíos. Para medir este dato, uno de los métodos más usados es el ensayo con el Cono de Abrams, en donde por medio de un molde cónico llenado en tres capas y siguiendo con lo establecido en la NTP 339.035¹⁶ o la ASTM C143¹⁷, se calcula el asentamiento o también denominado Slump al medir la distancia que la mezcla desciende al retirar dicho molde.

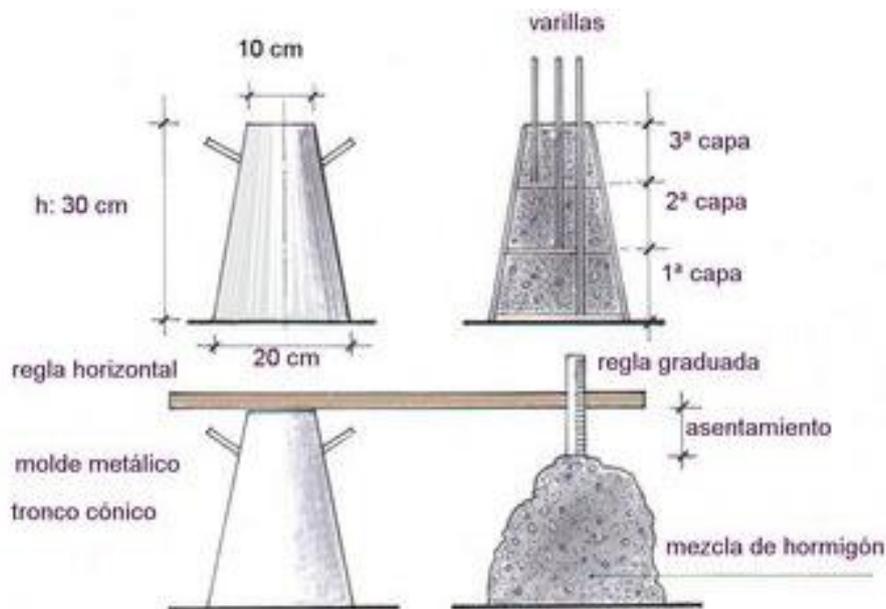


Ilustración 7: Cálculo del asentamiento (Slump) por medio del Cono de Abrams.

Fuente: www.construmatica.com

¹⁶ Norma Técnica Peruana: Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland

¹⁷ American Society for Testing and Materials : Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico

Según la altura que tenga la pasta de concreto fresco luego de desmoldarla del Cono de Abrams se le puede clasificar de la siguiente forma:

0" – 2"	Seco
3" – 4"	Normal
4" – 6"	Plástico
Mayor a 6"	Superplastificado

1.3.2. Roca volcánica

Las rocas volcánicas, también denominadas rocas ígneas, son las que se generan debido al enfriamiento de una masa en estado líquido, compuesto con sílice, que tiene origen en el interior de la Tierra, las cuales se ubican en zonas de alto grado de calor y se solidifican una vez enfriadas cuando suben a la superficie del planeta, denominado corteza terrestre. Originando así las rocas volcánicas. (Ministerio de Economía y Competitividad, 2017)

En el mencionado artículo definen que las rocas ígneas, también denominadas rocas volcánicas, son las que se originaron debido al enfriamiento ocurrido rápidamente de la lava superficial del en la corteza terrestre a poca hondura, adquiriendo ciertas propiedades que las hacen únicas frente a otras rocas, para su uso en construcción, como son el aspecto poroso y la poca densidad que manifiestan. En el Perú existen varias zonas donde las podemos encontrar dichas rocas volcánicas debido a que nuestro país se encuentra en una zona volcánica que tiene su punto más alto en el sur de nuestro país, donde se encuentra una zona volcánica reconocida mundialmente: Arequipa. Asimismo en Lima podemos encontrar canteras de este tipo de roca al Sur por la provincia de Cañete, donde se ubican diversas canteras de roca ígnea.

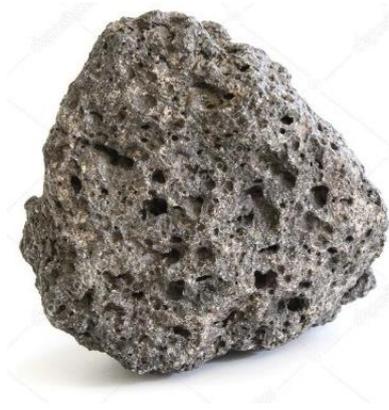


Ilustración 8: Pumita (Roca volcánica)
Fuente: www.geologiaonline.com

Es de suma importancia la porosidad y poca densidad que presentan dichas rocas puesto que en la construcción las podemos usar como agregado para elaborar concreto aligerado, disminuyendo hasta en un 30% su densidad y por ende su peso si lo comparamos con un concreto tradicional.

1.3.2.1. Puzolana

La puzolana es un material silíceo finamente dividido que reacciona con el hidróxido cálcico liberado por la hidratación del cemento. Una buena puzolana puede reemplazar hasta el 30% del contenido de cemento sin disminuir por ello la capacidad mecánica del hormigo a largo plazo. La puzolana tiene la virtud de reducir la disgregación de la masa en dosificaciones pobres en finos y, como tal, de consistencia plástica o poco áspera. (Paez, 1986 pág. 133)

El citado autor menciona que las puzolanas son elementos silíceos o aluminosilíceos con los que los romanos empezaron a producir el cemento en ese tiempo hasta nuestros días que usamos el cemento Portland para realizar las mezclas en construcción. Actualmente el cemento de origen puzolánico es también denominado un ecomaterial y existen de 2 tipos de puzolanas:

Puzolanas naturales:

- Son las rocas de origen volcánico donde el constituyente amorfo es el vidrio

el cual es creado por el enfriamiento repentino de la lava. Entre otros podemos clasificar aquí a las cenizas volcánicas, las tobas, la escoria y obsidiana.

- Rocas o suelos donde la sílice es el constituyente que contiene ópalo.

Puzolanas artificiales:

- Cenizas volantes: son las que se originan debido a la combustión de carbón mineral, esto se da principalmente dentro de las grandes plantas que generan la electricidad.
- Arcillas activadas o calcinadas artificialmente: esto se genera al quemar los ladrillos de arcilla, dejando como residuo estas mencionadas arcillas, también existen otros tipos de éstas arcillas que resultan cuando o se someten a elevadas temperaturas mayores 800 °C.
- Escorias de fundición: sustancialmente son generadas al fundir aleaciones de fierro en hornos especiales de alta temperatura, dichas escorias son violentamente enfriadas para q puedan adquirir la estructura amorfa que se requiere.
- Cenizas de residuos agrícolas: también se puede conseguir residuos minerales muy aprovechables en sílice y alúmina a través de la quema de residuos agrícolas como por ejemplo la cascarilla de arroz, el bagazo y la paja de la caña de azúcar, todo esto luego de una adecuada combustión que lo estructura correctamente.

Cuando se usa en el cemento, la puzolana ofrece entre otros beneficios los siguientes:

- Resistencia mayor ante a los sulfatos y cloruros.
- Mejor resistencia al agua marina.
- Mejor impermeabilidad frente a la disminución de grietas que aparecen en el fraguado.
- Disminución del calor de Hidratación.
- Resistencia a la compresión aumentada.

- Mayor resistencia del acero frente a agentes corrosivos.
- Resistencia a la abrasión aumentada.
- Mayor tiempo de duración del cemento.
- El agua requerida disminuye.

1.3.3. Postes

Los postes son elementos verticales usados en la elaboración y levantamiento de alambradas, tendidos de electricidad y telefonía, iluminación de la ciudad, actividades agrícolas, levantamiento de paneles publicitarios, etc.

Debido al uso que se le dé y la economía de quien lo requieran podemos encontrar en el mercado postes hechos de diversos materiales, entre los principales están los de concreto, de madera y los metálicos. En esta investigación se enfocará específicamente a los hechos de concreto armado siguiendo las especificaciones establecidas dentro de la NTP 329.027¹⁸.



*Ilustración 9: Almacenamiento de postes de concreto armado centrifugado
Fuente: Postes del Norte S.A.*

¹⁸ NTP: Norma Técnica Peruana: Postes de Hormigón (Concreto) armado para líneas aéreas.

1.3.3.1. Postes de concreto armado

La elaboración y preparación de los postes de concreto se realizan de un modo muy simple. En primer lugar se realiza en una gran máquina de centrifugado que funciona con varios rodillos madre que son accionados por un motor primario y unos rodillos secundarios que giran como guías. Esta mencionada máquina está compuesto por un molde acerado que da forma al poste, el cual cuando se le requiera se puede intercambiar por otros de distinto tamaño, dependiendo de la necesidad requerida. (Seminario, 2003 pág. 29)

El mencionado autor señala que los postes son hechos de concreto armado centrifugado, cumpliendo con el adecuado proceso de elaboración, requisito de acabados, coeficientes de seguridad, tolerancias, extracción de muestras, siguiendo lo establecido en la NTP 339.027¹⁹.

Los postes de concreto se deben fabricar con el uso exclusivo de formaletras metálicas, que aseguren uniformidad en su forma y exactitud en sus dimensiones. Se pueden fabricar con el uso de uno de los sistemas existentes, siempre y cuando se cumpla con las especificaciones dadas en la mencionada norma. (INDECOPI, 2008)

Es muy importante señalar que bajo ninguna circunstancia se deben elaborar postes amasados y compactados a mano. A continuación se señalan las principales definiciones.

Dentro de los principales usos que tienen los postes de concreto armado centrifugado están:

Energía: Líneas de Transmisión de 60-220KV, sistemas de distribución de energía en BT y MT, subestaciones bipostes 50-430 KVA, subestaciones monopostes, etc.

¹⁹ Norma Técnica Peruana: Postes de Hormigón (Concreto) armado para líneas aéreas.

Telecomunicaciones: Planta externa telefonía fija, distribución TV cable, transmisión de datos por fibra óptica, cámaras de seguridad y video, telefonía celular, señales para tráfico, paneles publicitarios, etc.

Iluminación: Centros comerciales, estacionamientos, parques, intercambios viales, autopistas, intersecciones de avenidas principales, centros deportivos, plantas industriales, puertos, etc.

1.3.3.2. Definiciones principales

Es necesario conocer las siguientes definiciones en la elaboración de postes de concreto:

- **Aditivo:** son materiales distintos del cemento diferente del cemento, agregados o el agua usada en la mezcla, esto a fin de cambiar algunas o varias de sus características sin que esto signifique reducir su dureza o su capacidad contra los esfuerzos.
- **Agregados:** son una parte fundamental dentro del concreto, que junto con el cemento y el agua constituyen la mezcla; dichos agregados pueden ser de naturales o artificiales.
- **Aros de armado:** Son varillas lisas de diámetros cambiantes que van a lo largo del poste de concreto con un adecuado espaciamiento, los cuales otorgan amarre con las varillas longitudinales, y que juntos hacen posible que el esfuerzo cortante que se presente disminuya.
- **Base:** Es la zona inferior del poste.
- **Canasta:** Son las varillas longitudinales, cables o alambres que se unen a los aros de armado mencionados anteriormente con el objetivo de disminuir los esfuerzos de flexión, tracción, corte y tensión diagonal, causadas por la carga natural del poste.

- **Carga de diseño:** Es la carga final a la que está destinada el diseño del poste, se ubica aproximadamente a 15 centímetros de la cima.
- **Carga de rotura:** Igualmente es aplicada a 15 cm de la parte superior, es la causante del colapso de la estructura por fluencia de acero, aplastamiento o por ambas en forma simultánea.
- **Carga de trabajo:** Es la referida a la carga máxima real que se podrá dar al poste, sin que esto represente una deformación mayor que el 5% de la deflexión máxima permitida en las normas peruanas, cuando se aplica el 40% de la carga mínima de rotura especificada.
- **Centrifugado:** Una vez vaciado al molde la mezcla de concreto se procede a centrifugarlo en la máquina a fin de conseguir una compactación lo suficientemente alta para soportar la humedad y agentes externos corrosivos.



*Ilustración 10: Máquina de centrifugado de postes de concreto.
Fuente: METRIC EU S.A.*

- **Cima:** Es la parte más alta del poste de concreto.
- **Coeficiente de seguridad a la rotura:** Valor resultante de la comparación de la carga de rotura mínima con la carga de trabajo.
- **Colapso:** Se da cuando existe grandes deformaciones debido a la carga

ejercida en los postes de concreto y esto se debe a diversos aspectos entre los cuales están el aplastamiento en la parte sometida a compresión causadas por la afluencia del acero. La primera etapa del colapso se evidencia en ciertos desprendimientos del concreto, así como grandes grietas y deformaciones notorias, sin estar sujetas a grandes carga.

- **Concreto:** Es la combinación de cemento, agua, agregado fino y grueso que en este caso puede ser gravilla. Según la NTP 339.027²⁰ la resistencia mínima de compresión del concreto a los 28 días será de 35 MPa, es decir **357 kg/cm²**. La presente investigación está destinada, entre otros, a llegar a dicha resistencia por medio de un concreto ligero (usando como agregado la roca volcánica) que se encuentre dentro del rango estructural.
- **Concreto pretensionado:** Es uno de alta resistencia, ya que va a ser sometido a cableados con grandes tensiones, a grandes cargas de compresión que eliminan los esfuerzos de tensión y bajan el número de fisuras causadas por dichas cargas a aplicar.
- **Concreto reforzado:** Es el que posee un refuerzo gracias a las varillas de acero, las cuales laboran esencialmente en la tracción actuando en conjunto con el objetivo de disminuir los momentos flectores que producen las cargas de los cableados y accesorios que se colocarán en la cima del poste.
- **Curado del concreto:** Luego de realizado el vaciado se realiza el curado que es un tratamiento con la finalidad de evitar la evaporación del agua de una manera rápida, evitando que aparezcan grietas en la superficie del mencionado poste.
- **Deformación permanente:** Flecha que se presenta cuando la carga de trabajo en el poste deja de actuar.
- **Empalmes:** Ocurre cuando las varillas de refuerzo principales se unen mediante soldadura o amarres.

²⁰ Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas

- **Empalme con bastones:** Es cuando dos tramos de varillas se unen a tope mediante varillas cortas con las cuales se unen mediante soldaduras en una longitud determinada.
- **Espirales:** Son varillas o alambres que van enrollados alrededor de las barras longitudinales, las cuales tienen por objeto dar apoyo y refuerzo frente a esfuerzos de corte y tensión diagonal que se puedan presentar, así como también le otorgan una adecuada resistencia contra la torsión al poste de concreto.
- **Flecha:** Es la distancia que se desplaza la parte superior del poste respecto a su eje cuando se encuentra afectada por una carga aplicada.
- **Formaletas:** Son moldes o en todo caso envases de metal con las dimensiones y forma del poste a elaborar, aquí es donde se coloca la canasta para luego realizar el vaciado de la mezcla para moldear el poste.



Ilustración 11: Formaleta para postes de concreto.

Fuente: METRIC EU S.A.

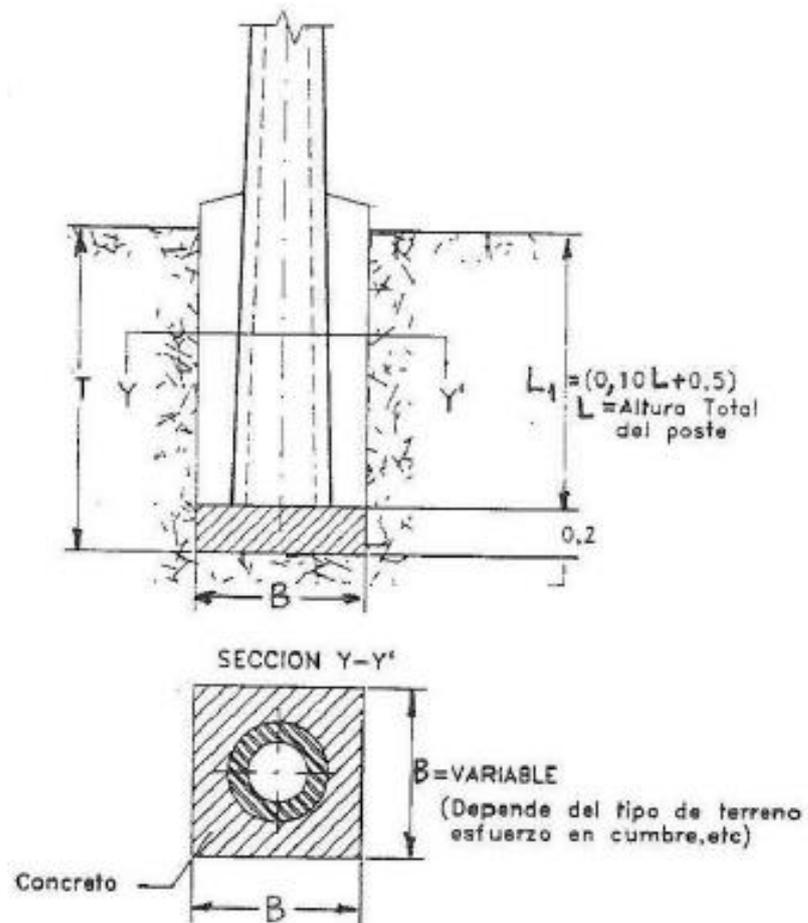
- **Longitud de empotramiento:** Es la longitud existente que hay entre la base del poste y la zona donde se empotra.
- **Longitud total:** Longitud efectiva del poste iniciando en la base y finalizando

en la cima.

- **Longitud útil:** Longitud desde la zona de empotramiento hasta la cima.
- **Plano de aplicación de esfuerzos:** Se refiere a la sección transversal del poste, aquí es donde se aplicarán las cargas horizontales.
- **Plano transversal:** Es la sección de forma perpendicular con respecto al eje a lo largo del poste.
- **Recubrimiento de la armadura:** Distancia mínima especificada, que debe existir entre el borde o superficie de cualquier elemento metálico de la armadura y la superficie interior y exterior del poste.
- **Refuerzo:** Para disminuir las fuerzas ocasionadas por la tensión, corte torsión o compresión que van a existir se colocan varillas de acero o en todo caso alambres las cuales funcionan como refuerzo de la estructura del poste.
- **Sección de empotramiento:** Es la sección transversal del poste, en la zona que se encuentra al ras del piso, aquí es donde se ubica y origina el momento flector máximo, esto debido a las cargas de trabajo que actúan.
- **Longitud de empotramiento:** Según lo establece la NTP 339.027²¹ Se calcula según la siguiente fórmula, donde H es la longitud total del poste:

$$LE = 0.1 H + 0.50 \text{ (m)}$$

²¹ Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas

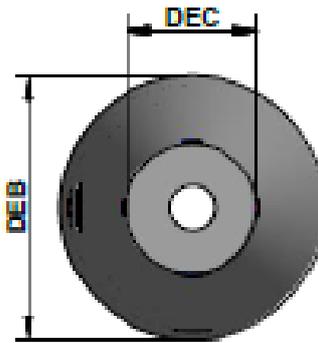


*Ilustración 12: Detalle de empotramiento del poste.
Fuente: ELENOR, Grupo ELECENOR.*

- **Conicidad:** Según la NTP 339.027, los postes poseerán una conicidad de 1,5 y 2 cm/m de longitud, el cual se calcula teniendo en cuenta la geometría de dicho poste y la siguiente formula:

$$C = \frac{DEB - DEC}{h}$$

Siendo C la conicidad requerida, h es la altura total y DEB y DEC son los diámetros en base y cima respectivamente las cuales están de acuerdo a la norma que regula los postes, mencionada anteriormente.



*Ilustración 13: Vista en planta de la conicidad de un poste de concreto.
Fuente: CODENSA S.A.*

- **Separadores:** Son pieza no metálicas, ni de origen biodegradable con respecto a su resistencia que tendrán como fin la adecuada separación de la canasta con la parte interna del molde (formaleta) durante el vaciado el cual nos permite tener efectividad requerida al recubrir la armadura.
- **Traslapo:** Mediante soldadura o en todo caso usando alambres para realizar los amarres se realizan los empalmes entre todas las barras una encima de la otra en sus extremos, siguiendo las especificaciones de la separación específica.
- **Varilla corrugada:** Son las varas de acero de sección circular, que en toda su longitud presenta ciertas líneas sobresalidas en forma de espiral (nervaduras) que tienen como finalidad potenciar la adhesión entre la mezcla, una vez endurecida, y las varillas.
- **Varilla lisa:** Son las de sección circular que no posees nervaduras.
- **Varilla torcida:** En ciertas circunstancias es necesario optimizar las características mecánicas y físicas y esto se logra usando varillas lisas o corrugadas, las cuales se tuercen o alargan mediante ciertos procesos.
- **Vibrado:** Para reducir el nivel de porosidad que posee el concreto, así como repartir equitativamente los áridos haciendo que la parte interna de los moldes, donde se centrifugarán los postes, sean cubiertas totalmente en su superficie se realiza el vibrado que es el procesa mediante el cual se

compacta el concreto usando para esto maquinaria de vibrado especial.

- **Perforaciones:** Son los huecos de forma cilíndrica a través del eje central de la longitud del poste donde se colocan y fijan los elementos para los cuales está destinado como cableados, redes eléctricas, etc.

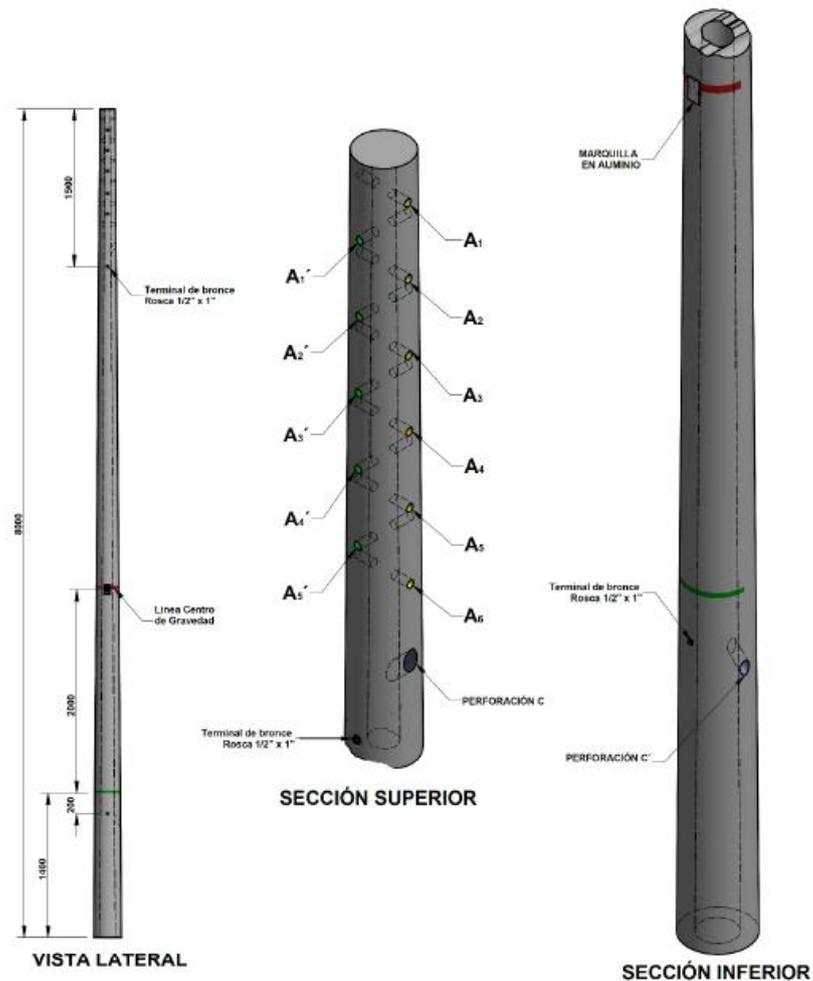


Ilustración 14: Detalle De perforaciones en un poste de 9m.

Fuente: CODENSA S.A.

- **Recubrimiento:** El recubrimiento mínimo que posea la armadura debe ser de 2.5 cm, desde la base de la armadura hasta la superficie interior y exterior del poste, incluyendo la cima y la base.

1.3.3.3. Proceso de fabricación

El proceso de fabricación de las unidades de poste de concreto se realiza en áreas especiales que cuentan con los adecuados estándares de seguridad y trabajabilidad.

El primer paso es armar la canasta, la cual será el soporte estructural en acero del poste. Aquí se unen varillas, separadores, bastones, espirales y aros de armado para dar un soporte adecuado a la armadura.



*Ilustración 15: Armadura del poste.
Fuente: FABINCO S.A.*

Luego de esto se procede a preparar la formaleta (molde) que servirá como encofrado del poste, colocando un líquido denominado desmoldante en todo el recubrimiento interno para que sea fácil su extracción cuando el concreto esté endurecido, cabe señalar que dicha formaleta posee piezas desmontables las cuales se añaden o sacan dependiendo de la dimensión del poste que se requiera, además tiene una molde en bajo relieve donde se coloca el rotulado del poste.

Posteriormente se coloca la canasta dentro de la formaleta y se procede a vaciar

el concreto, preparado con anticipación. Este vaciado se debe realizar con una adecuada dosificación progresiva de la cantidad de mezcla, para que al momento de iniciar el centrifugado, tenga un acabado y espesor uniforme, cubriendo de esta manera toda la canasta, teniendo en cuenta el recubrimiento mínimo indicado.

El siguiente paso es trasladar la formaleta a una máquina de centrifugado, donde se le somete a rotación sobre su propio eje, ejerciendo una fuerza centrífuga que impulsa la mezcla hacia la pared interior de la formaleta, produciéndose así una compactación centrífuga, donde los agregados gruesos se posicionan a la periferia y los finos al interior, siendo el agua drenada hacia la perforación central debido a su menor peso

El proceso en la máquina centrifugadora está en función de las revoluciones por minuto que produce y del tiempo que se le dé (alrededor de 10 minutos para postes de hasta de 12 metros), para buscar que se cumplan todos los requisitos mecánicos y no se presenten problemas de disgregación en los materiales ni hormigueros en la superficie. Posteriormente se desencofra el poste y se procede a su curado.



Ilustración 16: centrifugado de mezcla y acabado dentro de formaleta.

Fuente: FABINCO S.A.

1.3.3.4. Curado

Existen diversas formas de curado de un poste, a continuación se detallan las principales:

Curado usando selladores: Se cubre la superficie exterior del poste con un compuesto plástico, que no permite la rápida evaporación del agua de fraguado.

Curado en piscina: Luego de desencofrado el poste se sumerge en una piscina con agua especial para concreto según norma, permaneciendo el tiempo necesario para un adecuado fraguado sin agrietamientos.

Curado por vapor: Antes de desencofrar el poste, aún con la formaleta, se le hace ingresar por el agujero longitudinal central vapor saturado a baja presión, durante el tiempo necesario para un adecuado fraguado.

Curado por aspersión: Luego de retirada la formaleta se mantiene húmedo la superficie del poste mediante riego hasta que alcance su fraguado.

1.3.3.5. Diseño

1.3.3.5.1. Cargas mínimas de rotura

Como se mencionó anteriormente es la fuerza mínima para que no exista colapso de la estructura por afluencia de acero, aplastamiento o ambas a la vez. Se le aplica a 15 cm bajo la cima del poste, a continuación se establecen las siguientes cargas mínimas de rotura para todos los postes de concreto reforzado y pretensionado:

- 510 kgf
- 750 kgf
- 1 050 kgf
- 1 350 kgf
- 2 000 kgf
- 2 500 kgf
- 3 000 kgf
- 3 500 kgf

1.3.3.5.2. Características geométricas

Carga de Rotura min. (kgf) Cima	Longitud Total (m) Base	Diámetros (cm)	
		Cima	Base
500	10	14	29
1050	10	17	32
510	12	14	32
750	12	14	32
1050	12	19	37
1350	12	22	40
2000	12	26	44
2500	12	28	46
3000	12	30	48
3500	12	32	50
510	14	16	37
750	14	16	37
1050	14	19	40
1350	14	20	41
2000	14	26	47
2500	14	28	49
3000	14	30	51
3500	14	32	53

Tabla 3: Características geométricas de postes de concreto.

Fuente: CODENSA S.A.

1.3.3.5.3. Carga de Trabajo

Este concepto se refiere a la relación que existe entre la carga mínima de rotura y la constante de seguridad, se le aplica a 15 cm bajo la cima del poste, en las siguientes tablas se observan las cargas de trabajo de acuerdo a la longitud total y los diámetros de las cimas de los postes.

Longitud Total (m)	Carga de Trabajo (kg)
8	100 – 200 – 300
9	100 – 200 – 300 – 400
10	100 – 200 – 300 – 400
11	100 – 200 – 300 – 400
12	100 – 200 – 300 – 400
13	100 – 200 – 300 – 400
14	100 – 200 – 300 – 400
15	100 – 200 – 300 - 400

Tabla 4: Carga de trabajo en función de la longitud de postes.

Fuente: NTP 339.027²²

Cargas de Trabajo (daN)	Diámetros en la cima (mm)
100	120
200	120
300	150
400	180
500	210
600	210
800	240
1000	270
1200	270
1500	300
2000	330
2500	360

Tabla 5: Cargas de Trabajo según diámetros de cima de postes.

Fuente: NTP 339.027

²² Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas

1.3.3.6. Ensayos de rutina

Según la normativa peruana para postes de concreto armado, se realizarán los siguientes ensayos para verificar la calidad y efectividad requerida. Todos los ensayos se realizarán en el mismo lugar de la fabricación y antes de la entrega de los postes.

- **Inspección visual:** En esta etapa se debe verificar la existencia de grietas, fisuras y la inspección visual del acabado superficial uniforme.
- **Verificación de dimensiones:** Se verifica la longitud total, los diámetros de cima y base, desviaciones del eje.
- **Ensayo de flexión:** En esta etapa se fija la base del poste y se le aplica una carga perpendicular a su eje a 15 cm de la cima y se registran las flechas a medida que se incrementa el 10% de la carga nominal de rotura, se mide el ancho de las fisuras y fracturas que se presenten.

Luego se procede a calcular la deformación permanente, se continúa con la aplicación de la carga hasta llegar al 50% de la carga, reduciendo a partir de aquí gradualmente hasta llegara a cero, luego se efectúan oscilaciones manuales para vencer ciertos esfuerzos que hay en los apoyos deslizantes, una vez el poste se haya estabilizado no regresa a su punto inicial sino a uno denominado deformación permanente, aquí se mide la flecha.

Para que el poste sea aprobado no debe existir desprendimiento de concreto en la parte donde se realiza la compresión (base), tampoco debe existir grietas no cerradas donde ocurre la tracción, además la carga de trabajo no sobrepasará el 5% de la flecha máxima que alcanza con la carga de trabajo. Esta flecha no será más del 6% de la longitud total del poste.

- **Ensayo de rotura:** Se somete al poste a una carga en la dirección

perpendicular al eje del poste a 15 cm de la cima de mientras su base se encuentra fijo. Se aplica esta carga hasta que ocurra una falla donde se detiene la aplicación de carga y se mide la flecha alcanzada por flexión.



*Ilustración 17: Ensayo de rotura de poste de concreto.
Fuente: PRETOLSA S.A.*

- **Ensayo de resistencia a la compresión:** Se realiza el ensayo de compresión a las probetas cilíndricas de concreto usado en la fabricación de los postes, se debe tener en cuenta que la resistencia mínima a los 28 días debe ser de 35 MPa, es decir 356 kg/cm² según la NTP 339.034²³.

En la presente investigación se plantea llegar a dicha resistencia mínima, aligerando el concreto mediante agregados de roca volcánicas.

1.3.3.7. Rotulado

Como se mencionó anteriormente, en la formaleta se coloca un molde en bajo relieve para que al llenarlo con la mezcla, los postes tendrán el rotulado en el orden tal y como se detalla a continuación.

- Marca o nombre del fabricante
- La longitud total en metros.

²³ Norma Técnica Peruana: Ensayo resistencia y compresión.

- La carga de trabajo en daN.
- El coeficiente de seguridad.
- Los diámetros de la cima y de la base, en milímetros.



*Ilustración 18: Detalle de rotulado en formaleta y acabado final.
Fuente: FABINCO S.A.*

1.3.3.8. Transporte y almacenamiento

El almacenaje de los postes terminados será de forma segura para evitar accidentes a causa de desplome y de una manera que permita que puedan ser retirados de manera sencilla del lugar de almacenamiento. La mejor manera de hacerlo es como lo indica la siguiente ilustración, separándolos por cuñas, además se debe tener en cuenta que los postes se almacenarán de acuerdo a referencias.

Para su carga se usan vehículos puente-grúa que con ayuda de pinzas mecánicas o eslingas sujetan a los postes por su centro de gravedad (punto de equilibrio) para no originar rotura, porque en muchas ocasiones es mayor la carga que se origina por peso propio en una sección débil. Mientras se están transportándose deberán mantener tan rígidos como sea posible para evitar que debido a la oscilación, éstos se fisuren o sufran rotura.



*Ilustración 19: Almacenaje en pilas y carga de postes de concreto.
Fuente: Postes Grupo EPM.*

1.4. Formulación del problema

¿Qué efecto tiene la adición de roca volcánica como agregado grueso en las propiedades físicas, mecánicas y económicas del concreto ligero para la fabricación de postes en el Perú?

1.5. Justificación del estudio

El presente estudio se justifica teóricamente porque en el ámbito de mejoramiento de materiales, específicamente en tecnología del concreto, como bien se sabe el aligeramiento del concreto otorgan características agregadas frente a las que ofrecen cuando se usa un concreto tradicional, según el trabajo al que esté destinado, en este caso la investigación está dirigida en la elaboración de postes y accesorios derivados. El principal punto en contra que se puede presentar es que al realizar el aligeramiento se pierde cierto grado de resistencia frente a la compresión como a la abrasión, sin embargo, gracias a un adecuado diseño de mezclas y dosificación, éstos se pueden ubicar dentro de los límites permitidos por la NTP, haciendo viable la presente investigación puesto que además al aligerar el concreto con rocas volcánicas como agregado se consiguen beneficios adicionales como:

- Menor costo por unidad
- Reducción de su densidad y por ende del peso.
- Mayor aislamiento térmico
- Mejor resistencia al calor
- Durabilidad casi equivalente a la de los postes de concreto tradicionales.
- Textura y coloración elegantes, entre otros.

Así mismo de manera práctica, dichas propiedades hacen que el poste otorgue una comodidad mayor a la estructura y así se optimice el aprovechamiento durante su vida útil. Como principales características de este material, se tienen el bajo costo económico, el aislamiento térmico y la resistencia al calor, las cuales son muy útiles cuando se tratan de postes que llevan cableado, como iluminación, publicitarios, de telecomunicaciones, etc.

Esta investigación es viable puesto que encontrando un adecuado diseño de mezclas y dosificaciones para el concreto ligero obtendremos efectos positivos en la elaboración de postes cumpliendo el intervalo de límites requeridos según la NTP.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

- **H₁**: La adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero es beneficioso en la fabricación de postes en el Perú.
- **H₀**: La adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero no es beneficioso en la fabricación de postes en el Perú.

1.6.2. Hipótesis específicas

- **h₁**: La adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero reduce el peso en un 20% para su uso en la fabricación de postes

en el Perú.

Para verificar esta hipótesis se realizará un diseño de mezcla usando como agregado grueso la roca volcánica de la cantera Quilmaná más adecuada según sus análisis químicos y estudios geológicos. Luego de 28 días de curado se determinará la densidad seca del concreto tomando los residuos que se desprendieron luego del ensayo de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas, con estos datos se calculará el peso de un poste usando el concreto diseñado y se comparará con el peso de uno fabricado con el concreto tradicional, se obtendrá finalmente el porcentaje de reducción del peso por unidad.

- **h₂:** La adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero para el uso en la fabricación de postes en el Perú genera una resistencia a la compresión mayor a 357 kg/cm² a los 28 días.

Se diseñará el concreto con roca volcánica como agregado grueso teniendo en cuenta que debe ser mayor al límite establecido en la NTP 339.027²⁴, una vez calculados los aportes de los materiales se vaciará en probetas cilíndricas y se los curará por 7, 14, 21 y 28 días para realizar sus respectivos ensayos de resistencia a la compresión en el laboratorio de materiales. Para verificar esta hipótesis se analizarán los resultados hallados a los 28 días de curado, los cuales deberán ser mayores a 35 Mpa que es equivalente a 357 kg/cm² lo cual otorgará al concreto diseñado la conformidad necesaria para su uso en la fabricación de postes.

- **h₃:** La adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero para la fabricación y traslado de postes en el Perú es beneficioso económicamente frente a los de postes tradicionales.

Para verificar esta hipótesis se realizará un análisis de costos beneficios al usar roca volcánica en el concreto, en primer lugar se comparará el costo de

²⁴ Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas

producción por m³ entre el concreto diseñado y el tradicional usado por diversas empresas que fabrican postes; luego gracias a los resultados de densidad seca y por ende del peso del poste, se calculará la cantidad de postes posibles a transportar por fletes sin ocasionar daños estructurales y la cantidad de personas necesarias para trasladarlo a pie en lugares donde no hay acceso vehicular, comparándolos con datos de empresas de transporte pesado y datos del Ministerio de Energía y Finanzas, obteniendo porcentajes de ganancia o pérdida económica.

Objetivos

1.6.3. Objetivo general

Establecer los efectos que tiene la adición de roca volcánica como agregado grueso del concreto ligero en la fabricación de postes en el Perú.

1.6.4. Objetivos específicos

- Establecer que la adición de roca volcánica como agregado grueso del concreto ligero reduce el peso en un 20% para su uso en la fabricación de postes en el Perú.
- Establecer que la adición de roca volcánica como agregado grueso del concreto ligero para el uso en la fabricación de postes en el Perú genera una resistencia a la compresión mayor a 357 kg/cm² a los 28 días.
- Establecer que la adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero para la fabricación y traslado de postes en el Perú es beneficioso económicamente frente a los de postes tradicionales.

II. MÉTODO

2.1. Método de investigación

(Lara, 2013) en su investigación señala que: “El método científico se refiere al conjunto de procedimientos que, valiéndose de los instrumentos o las técnicas necesarias, examina y soluciona un problema o conjunto de problemas de investigación”.

Según lo señalado por el autor anterior, el presente proyecto de investigación se elabora mediante el método científico.

2.1.1. Tipo

La investigación básica busca el progreso científico, acrecentar los conocimientos teóricos, sin interesarse directamente en sus posibles aplicaciones o consecuencias prácticas; es más formal y persigue las generalizaciones con vistas al desarrollo de una teoría basada en principios y leyes. (Lara, 2013 pág. 51)

De acuerdo a lo explicado por el autor, el proyecto de investigación que presento se ubicará dentro del tipo básico ya que el diseño y desarrollo del mismo estará enfocado en un diseño de mezclas usando un agregado especial para aligerar el concreto, al cual se llegará basándose en ciertas normas ya establecidas en las normas técnicas peruanas.

2.1.2. Nivel

La investigación de nivel explicativo no solamente se dedica a describir situaciones, fenómenos, propiedades, relaciones causa-efecto como sí la hace la de nivel descriptivo, sino que al mismo tiempo los analiza y explica o ensaya explicar las causas de los temas que se investigan y sus relaciones. (Salinas, 2013 pág. 45).

Según lo mencionado por el autor, el tipo de nivel del presente proyecto de investigación será el explicativo, ya que se realizarán indagaciones para explicar y comparar las dos variables que son, por una parte el concreto ligero

con agregados de roca volcánica como variable independiente y la fabricación de postes en el Perú como la variable dependiente.

2.1.3. Diseño

La investigación no experimental es la que se desarrolla sin la necesidad de realizar manipulación adrede de las variables que se tienen, en otras palabras no se manipula intencionalmente la variable independiente para luego realizar comparaciones viendo las incidencias que tienen frente a las otras variables. En este diseño de investigación, de una manera práctica, se observan las variables y sus fenómenos del mismo modo como suceden en su contexto natural, para luego realizar los análisis. (Hernandez, 2014 pág. 152)

Según el autor anterior, la presente investigación es de diseño no experimental pues no se manipulará la variable independiente para ver sus efectos en la variable dependiente.

2.2. Variables, operacionalización

2.2.1. Variables

- **Variable independiente**

El concreto ligero con agregado de roca volcánica.

- **Variable dependiente**

La fabricación de postes en el Perú.

2.2.2. Operacionalización

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES
El concreto ligero con agregados de roca volcánica. (Variable independiente)	(Ibarcená, 2013 pág. 2) afirma que : “los agregados en el concreto ocupan el 75% del volumen total, por lo que el uso de roca volcánica como agregado pueden reducir hasta un 50% el peso del concreto haciéndolo muy ligero y manejable”.	Se definirá, mediante pruebas exploratorias, que roca volcánica usar como agregado para aligerar el concreto, realizando posteriormente las dosificaciones y mezclas adecuadas para su uso en la fabricación de postes, determinando, por medio de ensayos de laboratorio, las propiedades de dicho material.	• Roca volcánica	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio Geotécnico • Análisis químicos • Análisis de difracción rayos X (DRX)
			• Diseño de mezcla	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de mezclas • Dosificaciones
			• Propiedades del concreto ligero	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización física de los agregados • Ensayos de resistencia a la compresión. • Caracterización del concreto ligero
La fabricación de postes en el Perú. (Variable dependiente)	(Seminario, 2003 pág. 5) afirma que: “en un país como el nuestro, donde los problemas de durabilidad de los postes son cada vez más notorios, es importante la inclusión de los conceptos del mecanismo de corrosión y técnicas para la protección del concreto reforzado”.	Se determina las causas del problema de durabilidad en los postes actuales y se realiza una comparación entre los límites permitidos en la NTP y los resultados obtenidos del concreto ligero con roca volcánica. Se observará los pros y contras de su uso.	• Características físicas	<ul style="list-style-type: none"> • Color, textura • Densidad, peso
			• Características mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> • Norma Técnica Peruana de Postes de Concreto²⁵
			• Características económicas	<ul style="list-style-type: none"> • Costos y Presupuestos (CAPECO)

Tabla 6: Operacionalización de variables

Fuente: Elaboración propia.

²⁵ NTP 339.027

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

Una vez que se ha definido cuál será la unidad de muestreo/análisis, se procede a delimitar la población que va a ser estudiada y sobre la cual se pretende generalizar los resultados. Así, una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones. (Sampieri, 2014 pág. 174)

Para desarrollar adecuadamente el presente proyecto de investigación la población será integrada por las rocas volcánicas de las canteras del departamento de Lima.

2.3.2. Muestra

(Sampieri, 2014 pág. 173) en su investigación afirma que: “La muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población”.

En la presente investigación se tomará como muestra las rocas volcánicas de la cantera Quilmaná en la provincia de Cañete departamento de Lima, siendo el muestreo por conveniencia ya que es no probabilístico donde las unidades de muestreo (rocas volcánicas) serán seleccionadas dada la conveniente accesibilidad y proximidad.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnicas

De acuerdo con nuestro problema de estudio e hipótesis [...], la siguiente etapa consiste en recolectar los datos pertinentes sobre los

atributos, conceptos o variables de las unidades de análisis o casos, esto implica elaborar un plan detallado del procedimiento que nos conduzca a reunir datos con un propósito en específico. (Valderrama Mendoza, 2015 pág. 194)

En el presente proyecto de investigación se usarán diversas técnicas las cuales nos permitirán dirigirlo de la mejor manera hacia resultados concisos, las técnicas a usar son:

- Observación directa para obtener información confiable sobre realidad física de muestras, mezclas y resultado final.
- Análisis de documentos para obtener los antecedentes y la información teórica necesaria.
- Recolección de muestras de rocas volcánicas.
- Análisis geológicos, químicos y de difracción rayos X (DRX) de las muestras de roca volcánica.
- Ensayos físicos en laboratorio de materiales para obtener datos iniciales de la roca volcánica elegida.
- Diseño de mezclas para un concreto ligero usando la roca elegida.
- Elaboración de probetas de concreto usando el agregado de roca elegida.
- Ensayos de características mecánicas (resistencia a la compresión) para las probetas de concreto.
- Calculo de materiales y traslados de postes.
- Análisis de costos y beneficios.

2.4.2. Instrumentos de medición

Los instrumentos de recolección de datos o información en una investigación se refieren a los cuestionarios, planillas, escalas, modelos o cualquier otra forma de recabar la información necesaria para obtener los resultados que conduzcan a lograr los objetivos propuestos. (Salinas, 2013)

Teniendo en cuenta lo señalado por autor anterior, para obtener los datos que

permitan concluir adecuadamente el presente proyecto de investigación usaremos los siguientes instrumentos de medición:

- Estudio geológico de las muestras de rocas volcánicas recolectadas.
- Análisis químicos para las muestras de rocas volcánicas recolectadas.
- Análisis de difracción rayos X (DRX)
- Ensayos de características físicas de la roca volcánica elegida, realizadas en un laboratorio de materiales.
- Diseño de mezclas para un concreto ligero.
- Ensayos de características mecánicas de la roca volcánica elegida, realizadas en un laboratorio de materiales.
- Ensayos de características físicas del concreto ligero.
- Cálculo de materiales y traslado.

2.4.3. Validez

La validez se basa en la opinión de personas expertas en el tema investigativo para constatar el nivel de consistencia que tienen los instrumentos a usar en la parte operacional de dicha investigación. Dicho en otras palabras esencialmente se busca verificar si los instrumentos elegidos recogerán adecuadamente los datos que se necesitan analizar respecto al tema elegido en la investigación. (Palacios, 2012 pág. 105)

De acuerdo a lo expuesto por el autor mencionado, el presente proyecto de investigación contendrá fichas de investigación las cuales serán evaluadas por expertos especialistas en tecnología del concreto y rocas volcánicas, es decir sometido a cuestionamiento de especialistas, los cuales estarán debidamente colegiados y habilitados por el CIP²⁶.

²⁶ CIP: Colegio de Ingenieros del Perú

2.4.4. Confiabilidad

En este proyecto no se usará el método de confiabilidad.

2.5. Métodos de análisis de datos

(Hernandez, 2014) en su investigación señala que: “Para analizar los datos en los métodos mixtos, el investigador confía en los métodos estandarizados cuantitativos y cualitativos, además de análisis combinados”.

En el desarrollo del proyecto investigativo se procederá de la siguiente manera:

- Se recolectarán muestras de 3 rocas volcánicas de características diferentes de 3 zonas diferentes dentro de la cantera Quilmaná en la provincia de Cañete departamento Lima.
- Se llevarán a un laboratorio especial dichas muestras para analizar sus características geológicas y químicas; gracias a las cuales elegiremos la más conveniente para realizar el aligeramiento del concreto a usarse en la fabricación de postes.
- Una vez elegida la roca volcánica a trabajar como agregado grueso, se llevará junto al agregado fino a usarse al laboratorio de materiales donde realizaremos ensayos de granulometría, humedad, Peso específico, Absorción, Peso unitario suelto, peso unitario compactado; los cuales nos servirán como base para el diseño de mezclas a realizarse.
- En gabinete se elabora un diseño de mezclas usando los resultados del ítem anterior, realizando 3 dosificaciones diferentes, buscando llegar al objetivo de aligerar el concreto soportando las cargas de compresión establecidas por la NTP 339.027²⁷.
- En laboratorio de materiales se fabrican las probetas realizando el

²⁷ Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas

vaciado de los especímenes distribuidos en tres grupos con las distintas dosificaciones calculadas en gabinete anteriormente, por cada grupo se realizan 3 vaciados, las cuales tenemos que replicar 4 veces (para ensayos de compresión a los 7, 14, 21 y 28 días); en total se tendrán 36 probetas, las cuales son curadas para posteriormente realizar los ensayos de compresión.

- En laboratorio de materiales se hacen los ensayos de compresión logrando el objetivo planteado de verificar si dicho concreto logra una resistencia a la compresión mayor a 357 kg/cm^2 , es decir dentro de los límites establecidos por la Norma técnica peruana para concretos usados en la fabricación de postes de concreto armado.
- Se procede a calcular los pesos saturados, seco y húmedo de los residuos de las probetas cilíndricas ensayadas anteriormente para hallar en gabinete la densidad seca de dicho concreto y lograr verificar el objetivo de que usando roca volcánica de la cantera Quilmaná como agregado grueso se reduce en 20% el peso con respecto a un concreto convencional usado en la fabricación de postes.
- Se calculan los materiales y traslados requeridos en la fabricación de postes centrifugados usando agregado de roca volcánica y se compara con los resultados actuales de diversas empresas de fabricación de postes.
- Se analizan los costos y beneficios para para llegar a verificar el objetivo de que al usar roca volcánica de la cantera Quilmaná como agregado grueso es beneficioso económicamente en la fabricación y traslado de postes en el Perú frente a otros concretos usados tradicionalmente por empresas del rubro.

2.6. Aspectos éticos

La ética es un conocimiento práctico con una verdad demostrable en un contexto consciente, guiados por los sentimientos, razonamientos e

intenciones de cada uno. No se puede ser preciso debido a que cada individuo es poseedor de sus propias convicciones éticas y tomamos nuestras propias decisiones o elecciones que no están predeterminadas, las cuales son resueltas por nuestras opciones éticas. (Ansotegui, y otros, 2015 pág. 22).

Actuando de una forma profesional adecuada, los datos se tomarán respecto al lugar de análisis o estudio y no se modificarán dichos datos para efectuar los ensayos, diseño de mezclas y análisis de resultados ya que esto podría significar graves consecuencias si se llevara a cabo en la realidad la fabricación de postes con agregado de roca volcánica.

Es correcto señalar que los ingenieros civiles se encuentran al servicio de la sociedad y buscan contribuir al confort y desarrollo humano, puesto que su objeto esencial es velar por la seguridad y emplear de una forma correcta y profesional los recursos en el desarrollo de cada trabajo, investigación o estudio que sea requerida.

III. RESULTADOS

3.1. Recolección de muestras

Las muestras se tomaron en la cantera Quilmaná, ubicado en la provincia de Cañete, departamento de Lima, la zona es conocida también como Pampa del Portochuelo, lugar donde se encuentran en grandes cantidades diferentes zonas de roca volcánica, tal como se detalla en el Estudio Geológico y muestreo de rocas tobáceas Quilmaná-Cañete-Lima adjunto en Anexos.

Para la presente investigación se recolectó muestras de 3 rocas volcánicas de diferente variedad, las cuales se denominaron M-A (Muestra A), M-B (Muestra B) y M-C (Muestra C).



Ilustración 20: Vista panorámica cantera Quilmaná, provincia de Cañete.

Fuente: Material propio.



Ilustración 21: Vista comparativa muestras M-A, M-B y M-C.

Fuente: Material propio.

3.2. Estudio geotécnico, ensayos químicos y difracción rayos x (DRX)

Cada muestra se llevó a laboratorio de la Facultad de Geología de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) para realizar el estudio geológico, ensayos químico, de difracción rayos X (DRX) respectivamente con el objetivo de determinar las propiedades internas y escoger, de este modo, la roca ideal a emplear como agregado grueso en nuestro concreto ligero.

3.2.1. M-A (Muestra A)

Esta roca volcánica tiene la característica de tener una coloración rosada, dureza y porosidad media y en la naturaleza se encuentra dispersa en fragmentos grandes y medianos, se recolectó alrededor de 50 kg de dicho material.



Ilustración 22: Rocas volcánicas muestra A (M-A).

Fuente: Material propio.



*Ilustración 23: comparación de tamaño de la muestra M-A.
Fuente: Material propio.*

- **Coordenadas de ubicación:**

Este: 349538, Norte: 8584974

- **Descripción macroscópica:**

Toba rosada de grano fino contiene cuarzo, plagioclasas y biotita negra. Presenta fragmentos líticos de hasta 2 cm subangulosos de tonalidad pardusca. Masiva, dura y compacta.

- **Composición química:**

SiO₂ (66.42%), Al₂O₃ (16.69%), Fe₂O₃ (4.82%), CaO (3.18%), MgO (1.14%), K₂O (3.12%), Na₂O (3.70%) y TiO₂ (0.28 %)

- **Resultados difracción Rayos X:**

Amorfos (%)	:	7.38%
Cuarzo (%)	:	25.49%
Sanidina (%)	:	12.09%
Anortita (%)	:	4.99%
Albita (%)	:	10.94%
Muscovita (%)	:	1.48%

Labradorita (%)	:	18.64%
Ortoclasa (%)	:	17.20%
Hematita (%)	:	0.63%
Clinoliptolita (%)	:	1.18%
Densidad	:	2.60

3.2.2. M-B (Muestra B)

Esta roca volcánica se encuentra a faldas del cerro Portochuelo, con la característica de tener una coloración blanca (muy parecida al concreto seco), posee una dureza y porosidad media y en la naturaleza se encuentra en forma de arena (agregado fino) y en fragmentos de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ " (útiles para usarlas como agregado grueso) así como de otros tamaños medianos. Se recolectó alrededor de 50 Kg de material.



*Ilustración 24: Comparación de tamaño de la muestra B (M-B).
Fuente: Material propio.*



*Ilustración 25: Ligereza de una unidad de la muestra B.
Fuente: Material propio.*

- **Coordenadas de ubicación:**

Este: 349507, Norte: 8584943

- **Descripción macroscópica:**

Toba blanquesina de grano fino contiene cuarzo, plagioclasas y biotita negra. Presenta fragmentos líticos (<5%) de hasta 2 cm subangulosos de tonalidad pardusca y otras grises.

- **Composición química:**

SiO₂ (66.34%), Al₂O₃ (16.92%), Fe₂O₃ (4.73%), CaO (2.96%), MgO (1.26%), K₂O (3.24%), Na₂O (3.63%) y TiO₂ (0.31 %)

- **Resultados difracción Rayos X:**

Amorfos (%)	:	10.57%
Cuarzo (%)	:	26.33%
Sanidina (%)	:	18.91%
Anortita (%)	:	3.76%
Albita (%)	:	9.31%

Muscovita (%)	:	0.93%
Labradorita (%)	:	19.87%
Ortoclasa (%)	:	16.04%
Hematita (%)	:	0.76%
Clinoliptolita (%)	:	1.96%
Densidad	:	2.57

3.2.3. M-C (Muestra C)

Esta roca volcánica se encuentra a 2 Km del cerro en cuya falda se ubica la muestra M-B, presenta una coloración característica gris, es de dureza alta, y baja porosidad; en la naturaleza se encuentra en fragmentos de gran tamaño por lo que fue necesario fracturarlos usando una picota, siendo este trabajo complicado debido a su gran dureza. Se recolectó alrededor de 50 kg de material.



*Ilustración 26: Recolección y acarreo de muestra C (M-C).
Fuente: Material propio.*

- **Coordenadas de ubicación:**

Este: 349068, Norte: 8580993

- **Descripción macroscópica:**

Toba gris de grano fino contiene cuarzo, plagioclasas y biotita negra. Presenta fragmentos líticos. Intemperiza a tonalidades rojizas.

- **Composición química:**

SiO₂ (66.23%), Al₂O₃ (16.58%), Fe₂O₃ (5.11%), CaO (3.13%), MgO (1.12%), K₂O (3.21%), Na₂O (3.68%) y TiO₂ (0.29 %)

- **Resultados difracción Rayos X:**

Amorfos (%)	:	12.56%
Cuarzo (%)	:	26.23%
Sanidina (%)	:	19.14%
Anortita (%)	:	3.83%
Albita (%)	:	9.24%
Muscovita (%)	:	0.79%
Labradorita (%)	:	18.61%
Ortoclasa (%)	:	17.49%
Hematita (%)	:	0.70%
Clinoptolita (%)	:	1.79%
Densidad	:	2.61

Al realizar las pruebas exploratorias de cada muestra **se concluye** que la roca volcánica blanca correspondiente a la Muestra B (M-B) es la mejor elección para usarse como agregado grueso para aligerar el concreto a usarse en la fabricación de postes, esto debido a que posee la densidad más baja, porosidad

media, y los niveles de sílice adecuados (66.34%) para una reacción adecuada con el cemento a usarse dando una mejor resistencia al concreto pudiendo usarse de forma estructural.

Además es beneficioso por el hecho de que, a diferencia de las muestras M-A y M-C, la M-B se encuentra en la naturaleza como fragmentos listos para ser agregados a la mezcla del concreto y no hay necesidad de fracturarlos usando combas o chancadoras, esto disminuirá el costo por acarreo.

3.3. Caracterización de los agregados

Una vez elegida la roca volcánica a usarse se procede a recopilar los datos básicos para iniciar el diseño de mezclas, los ensayos para la caracterización de los agregados se realizaron en el laboratorio de materiales de la UCV, para lo cual se llevó una cantidad aproximada de 10 kg de arena (agregado fino) y 10 kg de la roca volcánica de la muestra M-B (agregado grueso) para sus respectivos ensayos; el desarrollo y resultados son los siguientes:

3.3.1. Granulometría

Se realizó el ensayo granulométrico de los agregados, para esto se siguió con los siguientes procedimientos establecidos por la NTP 400.012²⁸:

Agregado grueso

- En primer lugar se elige una muestra del agregado grueso y se desparrama sobre la mesa de trabajo del laboratorio para proceder con el cuarteo y elegir de esta manera una muestra más representativa del material tal y como la encontramos en la naturaleza, tomamos las muestras 1 y 2 del cuarteo (ilustración 27) y las pesamos dando como resultado 1747 gr de roca volcánica de la muestra M-B.

²⁸ Norma Técnica Peruana de Análisis Granulométrico de Agregados



*Ilustración 27 : Cuarteo de material grueso (M-B)
Fuente: Material propio.*

- Dicho material, ya cuarteado, se vertió sobre el juego de tamices para agregado grueso y posteriormente se colocó todo sobre un agitador mecánico por el lapso de 5 minutos para que zarandee el material correctamente.



*Ilustración 28: Colocación de la muestra M-B sobre los tamices y agitador mecánico.
Fuente: Material propio.*

- Se recuperó lo que retuvo cada tamiz procurando no perder nada de material y se procedió al pesaje respectivo, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tamiz	Peso (gr)
1 1/2"	0.00
1"	539.00
3/4"	569.00
1/2"	433.00
3/8"	98.00
1/4"	56.00
Nº 4	32.00
Fondo	20.00

Tabla 7: Peso de M-B retenido en cada tamiz.
Fuente: Elaboración propia.



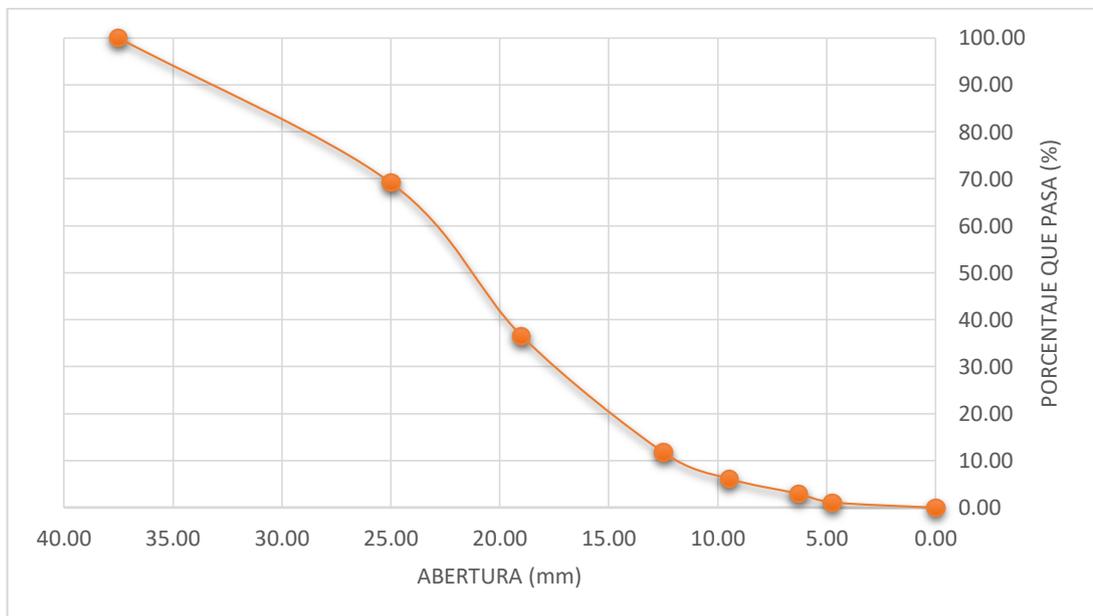
Ilustración 29: Retención por tamices de M-B para su pesaje.
Fuente: Material propio.

- En gabinete se procedió con el llenado de la tabla granulométrica, según el Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados ASTM C136²⁹.

²⁹ American Society for Testing and Materials: Determinación granulométrica de agregados

Tamiz	Abertura (mm)	Peso (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% que pasa
1 ½"	37.50	0	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	539.00	30.85	30.85	69.15
¾"	19.00	569.00	32.57	63.42	36.58
½"	12.50	433.00	24.79	88.21	11.79
⅜"	9.50	98.00	5.61	93.82	6.18
¼"	6.30	56.00	3.21	97.02	2.98
Nº 4	4.75	32.00	1.83	98.86	1.14
Fondo	0.00	20.00	1.14	100.00	0.00
		1747.00			

*Tabla 8: Tabla granulométrica del agregado grueso (M-B).
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 30: Curva granulométrica agregado grueso M-B.
Fuente: Elaboración propia*

- Finalmente se calcula el módulo de fineza para el agregado grueso, usando la siguiente fórmula:

$$MF = \sum \frac{\%Ret. Acumulado(1 \frac{1}{2}'' , \frac{3}{4}'' , \frac{3}{8}'' , N^{\circ}4) + 500}{100}$$

Ecuación 1: Módulo de fineza del agregado grueso

$$MF = \frac{0 + 63.42 + 93.82 + 98.86 + 500}{100}$$

$$MF_{AG} = 7.56$$

Agregado fino

- Se elige una muestra del agregado fino a analizar, cabe resaltar que la arena gruesa usada es de una cantera ubicada en el distrito de Carabaylo en Lima. Se cuartea el agregado fino de la misma manera como se hizo con el agregado grueso y se coloca 500 gr sobre el juego de tamices, posteriormente se procede a zarandearlo por un lapso de 5 minutos en el agitador mecánico.



*Ilustración 31: Muestra de agregado fino en tamices sobre agitador mecánico.
Fuente: Material propio.*

- Se recuperó lo que retuvo cada tamiz procurando no perder material y se pesó lo retenido obteniendo los siguientes resultados:

Tamiz	Peso (gr)
Nº 4	9.00
Nº 8	56.00
Nº 16	120.00
Nº 30	137.00
Nº 50	89.00
Nº 100	52.00
Nº 200	20.00
Fondo	17.00

*Tabla 9: Peso del agregado fino por tamiz.
Fuente: Elaboración propia.*



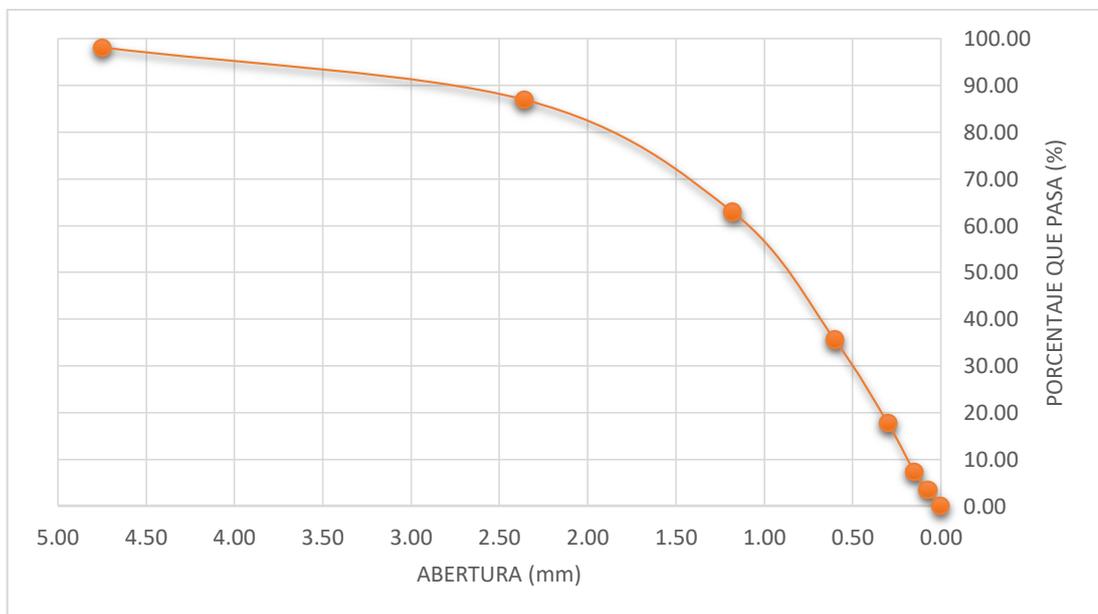
*Ilustración 32: Retención de agregado fino por tamices para su pesaje.
Fuente: Material propio.*

- En gabinete se procedió a llenar la tabla granulométrica, según el Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados ASTM C136³⁰.

³⁰ American Society for Testing and Materials: Determinación granulométrica de agregados

Tamiz	Abertura (mm)	Peso (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% que pasa
Nº 4	4.75	9.00	1.80	1.80	98.20
Nº 8	2.36	56.00	11.20	13.00	87.00
Nº 16	1.18	120.00	24.00	37.00	63.00
Nº 30	0.60	137.00	27.40	64.40	35.60
Nº 50	0.30	89.00	17.80	82.20	17.80
Nº 100	0.15	52.00	10.40	92.60	7.40
Nº 200	0.075	20.00	4.00	96.60	3.40
Fondo	0.00	17.00	3.40	100.00	0.00
		500.00			

*Tabla 10: Tabla granulométrica del agregado fino.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 33: Curva granulométrica del agregado fino.
Fuente: Elaboración propia*

- Finalmente se calcula el módulo de fineza para el agregado fino, usando la siguiente fórmula:

$$MF = \sum \frac{\%RetenidoAcumulado(N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

Ecuación 2: Modulo de fineza del agregado fino

$$MF = \frac{1.8 + 13 + 37 + 64.4 + 82.2 + 92.6}{100}$$

$$MF_{AF} = 2.91$$

3.3.2. Determinación del peso unitario

En el diseño de mezclas, algunos de los datos que intervienen son el peso unitario seco (PUS) y peso unitario compactado (PUC), tanto del agregado grueso como del fino y para conseguirlo se realizó el siguiente procedimiento, según lo establece la NTP 400.017³¹:

- Se pesó el molde vacío que tiene dimensiones: \varnothing 6" y altura interna 6", luego por geometría sacamos el volumen interno y se coloca las unidades en cm³.

Peso molde	:	2717 gr
Volumen molde	:	2800 cm ³

- Para hallar el Peso Unitario suelto (PUS), se vertió el material grueso (M-B) hasta llenar el molde, enrazando el material con una varilla para que quede al ras del tope para luego pesarlo en la balanza. Se procede de la misma manera para el agregado fino; cabe señalar que se hizo el ensayo 2 veces con cada material para obtener un mejor resultado final sacando el promedio de cada uno, obteniendo los siguientes resultados:

Agregado grueso (a) + molde:	5758 gr
Agregado grueso (b) + molde:	5750 gr
Agregado fino (a) + molde:	6943 gr
Agregado fino (b) + molde:	6969 gr

³¹ Norma Técnica Peruana: Método de ensayo para Pesos unitarios de los agregados.



*Ilustración 34: Vertido y pesaje de agregado suelto fino y grueso.
Fuente: Material propio.*

- Finalmente para calcular los pesos unitarios sueltos de los agregados se procede según la siguiente ecuación:

$$PUS = \frac{\text{Peso (muestra + molde)} - \text{Peso (molde)}}{\text{Volumen interno del molde}}$$

Ecuación 3: Peso unitario del agregado

Agregado grueso:

$$PUS(a) = \frac{5758 \text{ gr} - 2717 \text{ gr}}{2800 \text{ cm}^3} = 1.086 \text{ gr/cm}^3$$

$$PUS(b) = \frac{5750 \text{ gr} - 2717 \text{ gr}}{2800 \text{ cm}^3} = 1.083 \text{ gr/cm}^3$$

$$PUS = \frac{1.086 + 1.083}{2} = 1.085 \text{ gr/cm}^3$$

$$PUS_{AG} = 1084.643 \text{ kg/m}^3$$

Agregado fino:

$$PUS(a) = \frac{6943 \text{ gr} - 2717 \text{ gr}}{2800 \text{ cm}^3} = 1.509 \text{ gr/cm}^3$$

$$PUS(b) = \frac{6969 \text{ gr} - 2717 \text{ gr}}{2800 \text{ cm}^3} = 1.519 \text{ gr/cm}^3$$

$$PUS = \frac{1.509 + 1.519}{2} = 1.514 \text{ gr/cm}^3$$

$$\mathbf{PUS_{AF} = 1513.929 \text{ kg/m}^3}$$

- A continuación se realizó el mismo procedimiento para hallar el peso unitario compactado (PUC) para ambos agregados sólo que esta vez se dio 25 chuceadas a cada 1/3 de la altura total del molde para que se compacte adecuadamente, esto hasta rellenar el molde y enrazando con una varilla en la parte superior para que quede al tope, se obtuvieron los siguientes resultados:

Peso molde	=	2717 gr
Volumen molde	=	2800 cm ³
Agregado grueso (a) + molde	=	6087 gr
Agregado grueso (b) + molde	=	6103 gr
Agregado fino (a) + molde	=	7380 gr
Agregado fino (b) + molde	=	7424 gr



*Ilustración 35: Chuceado de material grueso y fino para su pesaje.
Fuente: Material propio.*

- Finalmente para calcular los pesos unitarios sueltos de los agregados se procede según la ecuación 3 mencionada anteriormente, dando como resultados:

Agregado grueso:

$$PUC(a) = \frac{6087 \text{ gr} - 2717 \text{ gr}}{2800 \text{ cm}^3} = 1.204 \text{ gr/cm}^3$$

$$PUC(b) = \frac{6103 \text{ gr} - 2717 \text{ gr}}{2800 \text{ cm}^3} = 1.209 \text{ gr/cm}^3$$

$$PUC = \frac{1.204 + 1.209}{2} = 1.206 \text{ gr/cm}^3$$

$$\mathbf{PUC_{AG} = 1206.429 \text{ kg/m}^3}$$

Agregado fino:

$$PUC(a) = \frac{7380 \text{ gr} - 2717 \text{ gr}}{2800 \text{ cm}^3} = 1.665 \text{ gr/cm}^3$$

$$PUC(b) = \frac{7424 \text{ gr} - 2717 \text{ gr}}{2800 \text{ cm}^3} = 1.681 \text{ gr/cm}^3$$

$$PUC = \frac{1.665 + 1.681}{2} = 1.673 \text{ gr/cm}^3$$

$$PUC_{AF} = 1673.214 \text{ kg/m}^3$$

3.3.3. Determinación del contenido de humedad

Pasamos a realizar el ensayo de humedad, para lo cual se siguió el siguiente procedimiento, según lo establece la NTP 339.185³².

- Se pesó la muestra del agregado grueso y agregado fino en estado natural en una balanza calibrada, tarando el recipiente. Cabe señalar que se hizo el pesaje de 2 muestras por agregado y se promedia sus resultados para que éstos sean más precisos:



*Ilustración 36: Muestras de agregado grueso y fino para ensayo de humedad.
Fuente: Material propio.*

³² Norma Técnica Peruana: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado

Peso húmedo agregado grueso (a) = 3435 gr
 Peso húmedo agregado grueso (b) = 3465 gr
 Peso húmedo AG (Promedio) = $(3435 + 3465) / 2 = 3450$ gr

Peso húmedo agregado fino (a) = 2981 gr
 Peso húmedo agregado fino (b) = 3019 gr
 Peso húmedo AF (Promedio) = $(2981 + 3019) / 2 = 3000$ gr

- Se colocaron al horno las muestras a $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, para que seque toda la humedad existente y posteriormente se volvieron a pesar las muestras secas:



*Ilustración 37: Colocación de muestras el horno a $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.
 Fuente: Material propio.*

Peso seco agregado grueso (a) = 3395 gr
 Peso seco agregado grueso (b) = 3425 gr
 Peso seco AG (Promedio) = $(3395 + 3425) / 2 = 3410$ gr

Peso seco agregado fino (a) = 2941 gr
 Peso seco agregado fino (b) = 2979 gr
 Peso seco AF (Promedio) = $(2941 + 2979) / 2 = 2960$ gr

- Finalmente se procedió a hallar el porcentaje de humedad presente en los agregados de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra seca}} \times 100\%$$

Ecuación 4: Contenido de humedad de los agregados

Agregado grueso:

$$\%H = \frac{3450 - 3410}{3410} \times 100\%$$

$$\%H_{AG} = 1.17\%$$

Agregado fino:

$$\%H = \frac{3000 - 2960}{2960} \times 100\%$$

$$\%H_{AF} = 1.35\%$$

3.3.4. Determinación del peso específico y absorción

Para la determinación de pesos específicos y porcentaje de absorción de los agregados a usar en el diseño de mezclas, se sigue el siguiente procedimiento establecido por las NTP 400.021³³ y NTP 400.022³⁴:

Agregado grueso:

- Se escogen dos muestras de material grueso (M-B) y se procede a lavar cada fragmento manualmente, luego de esto se sumerge el material en agua por un lapso de 24 horas.

³³ Norma Técnica Peruana: Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.

³⁴ Norma Técnica Peruana: Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.

- Pasado este tiempo se retiró la muestra, se extendió y se secó con un paño la superficie de cada roca, posteriormente se pesó en el aire en condición saturada (B), por medio de la balanza digital.

Peso en el aire de la muestra (a) saturada = 1059 gr

Peso en el aire de la muestra (b) saturada = 1069 gr

$$B = \text{Peso en el aire de muestra saturada} = (1059 + 1069) / 2 = 1064 \text{ gr}$$

- Luego se colocó en una cesta de alambre el material y se pesó dentro del agua (C) a una temperatura de 20°C usando una balanza hidráulica.



*Ilustración 38: Peso sumergido del agregado grueso.
Fuente: Material propio.*

Peso en el agua de la muestra (a) = 588.40 gr

Peso en el agua de la muestra (b) = 598.40 gr

$$C = \text{Peso en agua de la muestra} = (588.40 + 598.40) / 2 = 593.40 \text{ gr}$$

- Luego de esto se colocó en el horno a una temperatura de 100°C ± 5°C por 24 horas, pasado este tiempo se retiró el material y se dejó enfriar al ambiente procediendo a pesarlo (A).

Peso en el aire de la muestra (a) seca al horno = 978 gr

Peso en el aire de la muestra (b) seca al horno = 988 gr

A = Peso en aire de la muestra seca al horno = $(978+988) / 2 = 983$ gr

- Se calculó en gabinete las densidades y el porcentaje de absorción con las siguientes fórmulas:

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{B - C}$$

Ecuación 5: Peso específico de masa del agregado grueso.

$$\text{Peso específico de masa superficialmente seco} = \frac{B}{B - C}$$

Ecuación 6: Peso específico de masa superficialmente seca del agregado grueso.

$$\text{Peso Específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

Ecuación 7: Peso específico aparente del agregado grueso.

$$\%A = \left(\frac{B - A}{A} \right) \times 100$$

Ecuación 8: Porcentaje de absorción del agregado grueso.

De acuerdo a estas fórmulas se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{983}{1064 - 593.40} = 2.09$$

$$\text{Peso específico de masa superficialmente seco} = \frac{1064}{1064 - 593.40} = 2.26$$

$$\text{Peso Específico aparente} = \frac{983}{983 - 593.40} = 2.52$$

$$\%A = \left(\frac{1064 - 983}{983} \right) \times 100 = 8.24\%$$

- Finalmente, para efectos del diseño de mezclas a realizar en esta investigación se requieren datos de densidades, para esto se multiplican los pesos específicos por el factor del agua a 23° C (997.5 kg/m³), como se observa en las fórmulas siguientes:

$$\text{Densidad seca} = P.E. \text{ de masa} \times 997.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ecuación 9: Densidad seca.

$$\text{Densidad saturada superficialmente seca} = P.E. \text{ SS} \times 997.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ecuación 10: Densidad saturada superficialmente seca.

$$\text{Densidad aparente} = P.E. \text{ Aparente} \times 997.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ecuación 11: Densidad aparente.

De acuerdo a las fórmulas se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\text{Densidad Seca} = 2.09 \times 997.5 = 2084.78 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad saturada superf. seca} = 2.26 \times 997.5 = 2254.35 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad aparente} = 2.52 \times 997.5 = 2513.70 \text{ kg/m}^3$$

Agregado fino:

- Se escogieron dos muestras del material fino y se sumergieron al agua por un lapso de 24 horas.
- Luego se retiró el material y se expandió sobre la mesa del laboratorio para que seque al ambiente.
- Una vez seco al aire se procede a llenar en tres capas el molde en forma de tronco de cono, compactando con un pisón por medio de 25 golpes a cada 1/3 de altura total de dicho molde.
- Si al quitar el molde, la muestra se derrumba 1/3 de la parte de encima,

esto demostrará que el agregado habrá alcanzado su condición saturada superficialmente seca, lo cual ocurrió.



*Ilustración 39: Compactado y demostración que el material fino se encuentra saturado superf. seco.
Fuente: Material propio.*

- Se agregó 500 ml de agua al matraz y se pesó en balanza digital, luego se le agregó 500 gr del material fino (masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca en aire) y se le introdujo al matraz con el agua, se hizo rodar el matraz sobre una superficie plana durante un minuto para eliminar las burbujas de aire, una vez hecho esto se pesó en la balanza digital y se realizaron los siguientes cálculos:



*Ilustración 40: Pesaje: matraz / matraz + agua + agregado fino.
Fuente: Material propio.*

B = Masa de muestra saturada seca en aire = 500 gr

Matraz = 154 gr
Matraz + agua = 654 gr
Matraz + agua + B = 966 gr

C = Masa de agua que completa el volumen del matraz

$$C = 966 - 500 - 154 = 312 \text{ gr}$$

V = Volumen del matraz = 500 ml = 500 gr

- Por último se sacó el agua y se secó la muestra puesta en una tara en el horno a $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, luego se procedió a su pesaje y se obtuvieron los siguientes resultados:



*Ilustración 41: Pesaje de agregado fino + tara y colocación al horno.
Fuente: Material propio.*

Tara = 14 gr
Tara + muestra = 96 gr
Muestra (Agregado fino) = $96 - 14 = 82$ gr

Tara + muestra secada al horno = 94.90 gr
Muestra seca = $94.90 - 14 = 80.9$ gr

Hacemos una relación directamente proporcional para 500 gr de agregado fino que usamos en total y tenemos:

A = Masa de la muestra secada al horno en aire

$$A = (500 \times 80.90) / 82 = 493.29 \text{ gr}$$

- Una vez obtenido los datos se calcularon las densidades y el porcentaje de absorción de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{V - C}$$

Ecuación 12: Peso específico de masa del agregado fino.

$$\text{Peso específico de masa superficialmente seco} = \frac{B}{V - C}$$

Ecuación 13: Peso Específico de masa superficialmente Seco del agregado fino.

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(V - C) - (B - A)}$$

Ecuación 14: Peso específico aparente del agregado fino.

$$\%A = \left(\frac{B-A}{A} \right) \times 100$$

Ecuación 15: Porcentaje de absorción del agregado fino.

De acuerdo a estas fórmulas obtenemos los siguientes resultados:

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{493.29}{500-312} = 2.62$$

$$\text{Peso específico de masa superficialmente seco} = \frac{500}{500-312} = 2.66$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{493.29}{(500-312)-(500-493.29)} = 2.72$$

$$\%A = \left(\frac{500-493.29}{493.29} \right) \times 100 = 1.36$$

- Finalmente, para efectos del diseño de mezclas a realizar en esta investigación se requieren los datos de densidades, para esto se multiplican los pesos específicos por el factor del agua a 23° C (997.5 kg/m³) tal como lo señala las ecuaciones 9, 10 y 11, se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\text{Densidad seca} = 2.62 \times 997.5 = 2613.45 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad saturada superficialmente seca} = 2.66 \times 997.5 = 2653.35 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad aparente} = 2.72 \times 997.5 = 2713.20 \text{ kg/m}^3$$

Finalmente la recopilación de resultados de caracterización de los agregados obtenidos en gabinete a partir de los datos recolectados en el laboratorio de materiales de la UCV, los cuales nos servirán de base para el adecuado diseño de mezclas son los siguientes:

DESCRIPCIÓN	AGREGADO GRUESO (M-B)	AGREGADO FINO
Cantera	Quilmaná - Cañete	Carabayllo - Lima
Módulo de fineza	7.56	2.91
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1084.643	1513.929
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1206.429	1673.214
Contenido de humedad (%)	1.17	1.35
Densidad seca (kg/m ³)	2084.78	2613.45
Densidad saturada superficialmente seca (kg/m ³)	2254.35	2653.35
Densidad aparente (kg/m ³)	2513.70	2713.20
Absorción (%)	8.24	1.36

*Tabla 11: Resultados de caracterización de los agregados.
Fuente: Elaboración propia.*

3.4. Elaboración del diseño de mezcla

Una vez tenemos todos los datos de caracterización de agregados procedemos a iniciar el diseño de mezclas adecuado. A continuación se describen los pasos que se siguieron según el ACI 211³⁵, teniendo en cuenta la función para el cual estará destinado: la fabricación de postes.

3.4.1. Cálculo del asentamiento (Slump)

El asentamiento o también llamado Slump nos indica la consistencia que posee el concreto y su capacidad de adaptarse al encofrado que se use, para calcularlo se debe tener en cuenta la siguiente tabla del ACI 211, donde se aprecian los rangos cuando se use algún tipo de vibrador para consolidar la mezcla como es el caso de la fabricación de postes, pues el concreto para dichas unidades luego de ser colocadas en el molde (formaleta) son consolidadas mediante una máquina centrífuga que hace la vez de vibrador de la mezcla.

ASENTAMIENTOS PARA DIVERSOS TIPOS DE ESTRUCTURAS		
Tipo de Estructura	Asentamiento (Pulgadas)	
	Máximo	Mínimo
Zapatillas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	1"
Muros, pavimentos y losas	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Tabla 12: Asentamiento según estructuras.

Fuente: ACI 211.

³⁵ American Concrete Institute: Diseño de mezclas de concreto.

Las unidades de postes que se estudian en esta investigación son estructuras verticales que cuentan con aros de armado, canasta, espirales, empalmes, etc, las cuales lo colocan dentro del tipo columnas de la tabla 12; entonces tenemos el Slump con el cual se trabajó:

$$\text{Slump} = 4''$$

3.4.2. Calculo del tamaño máximo nominal

De acuerdo al análisis granulométrico del agregado grueso (M-B), tenemos que las unidades de roca volcánica son de perfil angular o en algunos casos semiangular, compactas y de textura rugosa, las cuales según el ACI 211³⁶, para la mezcla, deben tener como tamaño máximo nominal (TMN) las siguientes dimensiones, teniendo en cuenta las distancias mínimas del poste de menor longitud (8 metros de alto):

a) *1/5 de la menor dimensión entre caras de encofrados:*

Se debe tener en cuenta que el poste posee una conicidad establecida por la NTP 339.027³⁷, siendo la menor distancia entre encofrados realizado por la formaleta, el diámetro exterior de la cima DEC = 13.50 cm (para postes de 8 metros de longitud), entonces se calculó:

$$\frac{1}{5}(13.50) = 2.7 \text{ cm} \cong 1''$$

b) *1/3 del peralte de las losas:*

Esta operación no aplica a postes de concreto armado.

c) *3/4 del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, torones o ductos de preesfuerzo:*

³⁶ American Concrete Institute: Diseño de mezclas de concreto.

³⁷ Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas.

Según la NTP 339.027³⁸, en postes de concreto de 8 metros de longitud, la distancia mínima entre barras de la canasta de armado es 2.5 cm, entonces:

$$\frac{3}{4}(2.5) = 1.9 \text{ cm} \cong 3/4''$$

Para hallar el TMN del agregado grueso se tomó el menor valor de los resultados anteriores, entonces tenemos:

$$\text{TMN} = 3/4''$$

3.4.3. Calculo de agua

El siguiente paso para el diseño fue estimar la cantidad de agua, esto se realizó basándose en la siguiente tabla que nos permite calcular las cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes Slump y el Tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN).

Asentamiento (Slump)	Agua en Lt/m ³ para TMN de agregados y consistencia indicadas							
	3/8''	1/2''	3/4''	1''	1 1/2''	2''	3''	6''
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	187	184	174	166	154	--

Tabla 13: Cálculo de la cantidad de agua (kg/m³) para el concreto en función del TMN y del Slump del agregado grueso

Fuente: ACI 211.

³⁸ Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas.

Según cálculos anteriores (TMN = 3/4", Slump = 4"), tenemos:

$$\text{Agua} = 205 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Vol. agua} = \frac{\text{agua}}{\text{Peso específico agua}}$$

Ecuación 16: Volumen de agua.

$$\text{Vol. agua} = \frac{205 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.205 \text{ m}^3$$

3.4.4. Calculo aire atrapado

Para calcular el porcentaje de aire atrapado se analiza la siguiente tabla, teniendo en cuenta de que para el diseño de mezcla no se incorporará aire:

TNM del agregado grueso	Aire atrapado %
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

Tabla 14: Aire atrapado en función del TNM del agregado grueso para diseños sin aire incorporado.

Fuente: ACI 211.

Según la tabla se definió:

$$\text{Aire atrapado} = 2\%$$

$$\text{Volumen aire} = 0.02 \text{ m}^3$$

3.4.5. Cálculo de resistencia requerida

Procedemos al cálculo de la resistencia requerida, para esto se usa la siguiente tabla:

f'c especificado	f'cr (kg/cm²)
< 210	f'c + 70
210 - 350	f'c + 84
> 350	1.1 f'c + 50

*Tabla 15: Resistencia requerida en función de la resistencia especificada.
Fuente: ACI 211.*

Teniendo en cuenta que el concreto diseñado debe soportar una carga mínima de resistencia a la compresión de 357 kg/cm² (f'c especificado), para la fabricación de postes, según la NTP 339.027³⁹.

$$f'cr = f'c + 84$$

$$f'cr = 300 + 84 = 384 \text{ kg/cm}^2$$

3.4.6. Cálculo del cemento

Para el cálculo de cemento se calcula en primer lugar la relación agua-cemento (a/c) mediante la siguiente tabla, teniendo en cuenta que en el diseño no se incorporará aire:

³⁹ Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas.

f'c (kg/cm ²)	Relación agua cemento (a/c)	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	--
420	0.41	--
450	0.38	--

*Tabla 16: Relación a/c en función de f'c.
Fuente: ACI 211.*

Anteriormente se determinó que la resistencia requerida para el diseño fue de 384 kg/cm², entonces para calcular la relación a/c se tuvo que interpolar los datos de la tabla, resultando:

$$\frac{400 - 384}{400 - 350} = \frac{0.43 - (a/c)}{0.43 - 0.48}$$

$$a/c = 0.445$$

Se procedió al cálculo de cemento:

$$a/c = \text{agua/cemento}$$

$$\text{cemento} = \text{agua} / (a/c)$$

$$\text{cemento} = 205 / 0.445 = 460.67 \text{ kg}$$

$$Vol \text{ cem} = \frac{\text{cemento}}{\text{Peso específico cemento}}$$

Ecuación 17: Volumen de cemento.

$$\text{Vol cem} = \frac{460.67 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0.146 \text{ m}^3$$

3.4.7. Cálculo del volumen agregado grueso

Se procedió a calcular, según la siguiente tabla, la cantidad de agregado grueso (M-B) de roca volcánica, en base al módulo de fineza del agregado fino, el tamaño máximo nomina, el peso unitario compactado y el peso específico de la roca volcánica, hallados anteriormente en los cálculos de la caracterización de los agregados.

Tamaño máximo del agregado	VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO COMPACTADO			
	Módulo de fineza de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.79	0.78	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 17: Volumen del agregado grueso.

Fuente: ACI 211.

$$\text{TMN} = \frac{3}{4}''$$

$$\text{Modulo Fineza arena} = 2.91$$

$$\text{PUC}_{\text{AG}} = \text{Peso unitario compactado Agregado grueso} = 1206.429 \text{ kg/m}^3$$

Se interpoló los datos de la tabla para hallar el factor del agregado grueso a usar:

$$\frac{3 - 2.91}{3 - 2.80} = \frac{0.60 - \text{Factor } AG}{0.60 - 0.62}$$

$$\text{Factor } AG = 0.609$$

Finalmente la cantidad de roca volcánica a usar es:

$$A.G. = PUC_{AG} \times \text{factor } AG = 1206.429 \times 0.609$$

$$\mathbf{A.G. = 733.84 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Vol } AG = \frac{A.G.}{\text{Densidad seca } A.G.}$$

Ecuación 18: Volumen del agregado grueso.

$$V_{AG} = 734.72 / 2084.78$$

$$\mathbf{Vol } AG = 0.352 \text{ m}^3$$

3.4.8. Calculo del volumen del agregado fino

Se procedió a calcular el volumen de agregado fino a usarse, para esto se partió de la diferencia de volúmenes, conociendo de antemano que el total en mi diseño de mezcla fue 1 m³.

$$1 \text{ m}^3 = \text{Vol } AG + \text{Vol } \text{cemento} + \text{Vol } \text{agua} + \text{Vol } \text{aire} + \text{Vol } AF$$

$$\text{Vol } AF = 1 \text{ m}^3 - (\text{Vol } AG + \text{Vol } \text{cemento} + \text{Vol } \text{agua} + \text{Vol } \text{aire})$$

$$\text{Vol } AF = 1 \text{ m}^3 - (0.352 \text{ m}^3 + 0.146 \text{ m}^3 + 0.205 \text{ m}^3 + 0.020 \text{ m}^3)$$

$$\mathbf{Vol } AF = 0.277 \text{ m}^3$$

$$Vol\ AF = \frac{A.F}{Densidad\ seca\ AF}$$

Ecuación 19: Volumen del agregado fino.

$$A.F = Vol\ AF \times Peso\ específico\ AF$$

$$A.F = 0.277\ m^3 \times 2613.45\ kg/m^3 = 723.93\ kg$$

3.4.9. Diseño no corregido

De acuerdo a los cálculos realizados hasta este punto, se tiene lo siguiente:

ELEMENTO	VOL (m ³)	P.E. (kg/m ³)	P.SECCO POR m ³ (kg)
Cemento	0.146	3150.00	459.90
Arena (AF)	0.277	2613.45	723.93
Piedra volcánica (AG)	0.352	2084.78	733.84
Agua	0.205	1000.00	205.00
Aire	0.020	0.00	0.00
TOTAL	1.000		2122.67

Tabla 18: Diseño no corregido.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.10. Corrección, absorción y humedad

Se procedió a realizar las correcciones por absorción y humedad de los elementos que conforman la mezcla, siguiendo el siguiente procedimiento:

$$\text{Agregado húmedo} = \text{Peso Seco (agreg)} \times (1 + \% \text{Humedad})$$

Ecuación 20: Agregado corregido por humedad

$$\text{A. G húmedo} = 733.84 \text{ kg} \times \left(1 + \frac{1.17}{100}\right) = 742.43 \text{ kg}$$

$$\text{A. F húmedo} = 723.93 \text{ kg} \times \left(1 + \frac{1.35}{100}\right) = 733.70 \text{ kg}$$

Balance de agua en el agregado grueso:

$$\text{Adición de agua} = (\% \text{Humedad}(AG) - \% \text{Absorción}(AG)) \times AG \text{ (seco)}$$

Ecuación 21: Adición de agua por agregado grueso.

$$\text{Adición de agua} = (1.17\% - 8.24\%) \times 733.84 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = -51.88 \text{ kg}$$

Balance de agua en el agregado fino:

$$\text{Adición de agua} = (\% \text{Humedad}(AF) - \% \text{Absorción}(AF)) \times AF \text{ (seco)}$$

Ecuación 22: Adición de agua por agregado fino.

$$\text{Adición de agua} = (1.35\% - 1.36\%) \times 723.93 \text{ kg}$$

$$\text{Adición de agua} = -0.07 \text{ kg}$$

Agua de mezcla corregida:

$$\text{Agua corregida} = 205 \text{ kg} - (-51.88 \text{ kg} - 0.07 \text{ kg})$$

$$\text{Agua corregida} = 256.95 \text{ kg}$$

Entonces la nueva relación agua-cemento (a/c):

$$a/c = \text{agua corregida} / \text{cemento seco}$$

$$a/c = 256.95 \text{ kg} / 459.90 \text{ kg}$$

$$a/c = 0.559 = 0.6$$

3.4.11. Diseño de mezcla

Finalmente se presenta el diseño de mezcla corregido para la fabricación de un concreto ligero usando como agregado grueso roca volcánica de la cantera Quilmaná-Cañete, que cumpla con los requisitos de la NTP 339.027⁴⁰, para la fabricación de postes.

ELEMENTO	PESO POR M ³ (kg)
Cemento	≈ 460
Arena	≈ 734
Piedra	≈ 742
Agua	≈ 257
TOTAL	2193

Tabla 19: Diseño de mezcla $f'c = 300 \text{ kg/cm}$ (dosificación 1).

Fuente: ACI 211.

Para calcular el coeficiente de aporte de los elementos se realizó los siguientes cálculos, partiendo como base que el cemento (≈460kg) tendrá como coeficiente la unidad.

⁴⁰ Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas.

$$\text{Cemento} = \frac{460 \text{ kg}}{460 \text{ kg}} = 1$$

$$\text{Arena} = \frac{734 \text{ kg}}{460 \text{ kg}} = 1.6$$

$$\text{Piedra} = \frac{742 \text{ kg}}{460 \text{ kg}} = 1.6$$

$$\text{Agua} = \frac{257 \text{ kg}}{460 \text{ kg}} = 0.6$$

Entonces los aportes volumétricos de los elementos en la mezcla fueron los siguientes:

$$\text{Cemento} : \text{Arena} : \text{Piedra} : \text{Agua} = 1 : 1.6 : 1.6 : 0.6$$

Para la presente investigación se partió en base al diseño de mezcla anterior (que será nuestra primera dosificación), sin embargo para una mejor experimentación y recolección de resultados se realizaron dos dosificaciones más, variando la relación del agregado grueso - agregado fino (AG/AF), manteniendo las cantidades de cemento y agua; teniendo en cuenta que la dosificación 1 tuvo una relación **AG/AF = 1**.

Dosificación 2:

$$\text{AG/AF} = 1.3$$

$$\text{Piedra/arena} = 1.3$$

$$\text{Piedra} + \text{arena} = 1476 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 834 \text{ kg}$$

$$\text{Arena} = 642 \text{ kg}$$

Entonces se tuvo las siguientes cantidades:

ELEMENTO	PESO POR M ³ (kg)
Cemento	460
Arena	642
Piedra	834
Agua	257
TOTAL	2193

*Tabla 20: Diseño de mezcla (dosificación 2).
Fuente: Elaboración propia.*

Para calcular el coeficiente de aporte de los elementos se realizó los siguientes cálculos, partiendo como base que el cemento ($\approx 460\text{kg}$) tendrá como coeficiente la unidad.

$$\text{cemento} = \frac{460 \text{ kg}}{460 \text{ kg}} = 1$$

$$\text{Arena} = \frac{642 \text{ kg}}{460 \text{ kg}} = 1.4$$

$$\text{Piedra} = \frac{834 \text{ kg}}{460 \text{ kg}} = 1.8$$

$$\text{Agua} = \frac{257 \text{ kg}}{460 \text{ kg}} = 0.6$$

Entonces los aportes volumétricos de los elementos en la mezcla fueron los siguientes:

$$\text{Cemento : Arena : Piedra : Agua} = 1 : 1.4 : 1.8 : 0.6$$

Dosificación 3:

$$AG/AF = 0.60$$

$$\text{Piedra/arena} = 0.60$$

$$\text{Piedra} + \text{arena} = 1476 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 553.50 \text{ kg}$$

$$\text{Arena} = 922.50 \text{ kg}$$

Entonces se tuvo las siguientes cantidades

ELEMENTO	PESO POR M ³ (kg)
Cemento	460
Arena	≈923
Piedra	≈554
Agua	≈257
TOTAL	2193

Tabla 21: Diseño de mezcla (dosificación 2).

Fuente: Elaboración Propia

Para calcular el coeficiente de aporte de los elementos se realizó los siguientes cálculos, partiendo como base que el cemento (≈460kg) tendrá como coeficiente la unidad.

$$\text{cemento} = \frac{460 \text{ kg}}{460 \text{ kg}} = 1$$

$$\text{Arena} = \frac{923 \text{ kg}}{460 \text{ kg}} = 2$$

$$\text{Piedra} = \frac{554 \text{ kg}}{460 \text{ kg}} = 1.2$$

$$Agua = \frac{257 \text{ kg}}{460 \text{ kg}} = 0.6$$

Entonces los aportes volumétricos de los elementos en la mezcla fueron los siguientes:

Cemento: Arena: Piedra: Agua = 1 : 2 : 1.2 : 0.6

Todas las dosificaciones realizadas se observan sintetizadas en la siguiente tabla:

ELEMENTO	APORTE VOLUMÉTRICO		
	DOS. 1	DOS. 2	DOS. 3
Cemento	1	1	1
Arena	1.6	1.4	2
Piedra	1.6	1.8	1.2
Agua	0.6	0.6	0.6
TOTAL	4.8	4.8	4.8

Tabla 22: Dosificaciones del concreto a ensayar.

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Vaciado de mezclas

Se procedió a realizar el vaciado de mezclas en el Laboratorio de materiales de la UCV, para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

- En primer lugar se calculó el total de mezcla que se necesitará para llenar las 12 probetas donde se realizará el vaciado:

Altura interna probeta = 0.20 m

Diámetro interno probeta = 0.10 m

$$Vol (probeta) = \pi x \left(\frac{Diámetro\ interno}{2} \right) x Altura$$

Ecuación 23: Volumen de probeta para ensayo.

$$Vol (probeta) = \pi x \left(\frac{0.10}{2} \right) x 0.20 = 0.00157 m^3$$

Como se usaron 12 probetas en general, el volumen total de concreto a usar será:

$$Vol. total (concreto) = 0.00157 m^3 x 12 = 0.019 m^3$$

Para estar seguros de que la cantidad de concreto alcance en nuestra mezcla, el volumen total se aproximó a 0.030 m³, esto en kg es:

$$Vol total (concreto) = 0.030 m^3 x \left(\frac{2200kg}{1m^3} \right) = 66 kg$$



Ilustración 42: Probetas a usar para el vaciado de concreto.

Fuente: Material propio.

- Se calculó los materiales (en kg) a usar según las dosificaciones calculadas anteriormente y la cantidad total de concreto a usar, hallada anteriormente. Esto se hizo de la siguiente manera:

$$\text{Peso nec. de elemento} = \text{Aporte volumétrico} \times \frac{\text{Vol. total de concreto}}{\sum \text{Aportes volumetricos}}$$

Ecuación 24: Peso necesario de elementos para vertido de probetas

Entonces tenemos:

Dosificación 1

$$\text{Cemento} = 1 \times \frac{66}{4.8} = 13.75 \text{ kg}$$

$$\text{Arena} = 1.6 \times \frac{66}{4.8} = 22 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 1.6 \times \frac{66}{4.8} = 22 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 0.6 \times \frac{66}{4.8} = 8.25 \text{ kg}$$

Dosificación 2

$$\text{Cemento} = 1 \times \frac{66}{4.8} = 13.75 \text{ kg}$$

$$\text{Arena} = 1.4 \times \frac{66}{4.8} = 19.25 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 1.8 \times \frac{66}{4.8} = 24.75 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 0.6 \times \frac{66}{4.8} = 8.25 \text{ kg}$$

Dosificación 3

$$\text{Cemento} = 1 \times \frac{66}{4.8} = 13.75 \text{ kg}$$

$$\text{Arena} = 2 \times \frac{66}{4.8} = 27.50 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 1.2 \times \frac{66}{4.8} = 16.50 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 0.6 \times \frac{66}{4.8} = 8.25 \text{ kg}$$

Para una mejor comprensión de las dosificaciones a usar se sintetizó en la tabla siguiente:

ELEMENTO	PESO NECESARIO PARA LA MEZCLA (kg)		
	DOSIFICACION	DOSIFICACION	DOSIFICACION
	1	2	3
Cemento	13.75	13.75	13.75
Arena	22	19.25	27.50
Piedra	22	24.75	16.50
Agua	8.25	8.25	8.25

*Tabla 23: Peso necesario para mezclas según dosificación.
Fuente: Elaboración propia.*

- Se procedió a la habilitación de material según cálculos del anterior ítem, para esto se usó una balanza electrónica y tarando la bandeja que contendrá los elementos para un pesaje preciso:

Dosificación 1:



*Ilustración 43: Habilitación de los materiales para la dosificación 1.
Fuente: material propio.*

Dosificación 2:



*Ilustración 44: Habilitación de los materiales para la dosificación 2.
Fuente: material propio.*

Dosificación 3:



*Ilustración 45: Habilitación de los materiales para la dosificación 3.
Fuente: material propio.*

- Se mezclaron los materiales de cada dosificación usando un trompo mecánico, en primer lugar se mojó toda su pared interna luego se vertió una cantidad del agregado grueso (roca volcánica M-B), posteriormente se añadió el agregado fino (arena) y más cantidad de agua para que el material no se pegue en las paletas, finalmente se añadió el cemento y el agua restante. Se dejó mezclar la pasta por un lapso de 5 minutos.



*Ilustración 46: Vertido de elementos al trompo mecánico.
Fuente: material propio.*

- Se procedió a calcular el asentamiento de cada mezcla, para esto se vertió la pasta dentro del Cono de Abrams, el cual se puso en una base plana no absorbente, se mantuvo el cono de manera firme contra la base, colocando los pies sobre sus aletas. La mezcla se llenó en 3 capas, chuceando con una varilla a cada 1/3 de la altura del cono con 25 golpes, según lo establece la norma ASTM C192⁴¹, una vez llenado hasta el tope se levantó el cono verticalmente y se midió la distancia entre la altura del molde y el centro de la cara superior de la mezcla, obteniéndose los siguientes resultados:

	ASENTAMIENTO	
	cm	pulg
Dosificación 1	3.80	1.5"
Dosificación 2	3.30	1.3"
Dosificación 3	4.30	1.7"

*Tabla 24: Asentamiento por dosificación.
Fuente: Elaboración propia.*

⁴¹ American Society for Testing and Materials: Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio.



*Ilustración 47: Llenado del Cono de Abrams y medida de asentamiento.
Fuente: material propio.*

- El siguiente paso es calcular la cantidad de aire por el método de presión en el concreto fresco, para lo cual se llenó el recipiente de medida con la pasta en 3 capas, chuceando con una varilla a cada 1/3 de la altura de la probeta con 25 golpes, y con un mazo de hule se dio 12 golpes externos, según lo establece la norma ASTM C231⁴². Luego se cubrió con la tapa con la válvula de medición y se inyecta aire por un orificio a través de una pipeta hasta llegar a la marca graduada, finalmente se observa la cantidad de aire en el concreto. Se obtuvieron los siguientes resultados:



*Ilustración 48: Ingreso de aire con pipeta hasta la marca y medición del contenido de aire en el concreto.
Fuente: material propio.*

⁴² American Society for Testing and Materials: Método de Ensayo Normalizado de Contenido de Aire del Concreto Recién Mezclado Mediante el Método por Presión.

DOSIFICACIÓN Nº	CONTENIDO DE AIRE (%)
1	1.6 %
2	1.5 %
3	2 %

Tabla 25: Contenido de aire.

Fuente: Elaboración propia.

- Se procedió a lubricar interiormente las paredes de cada probeta para que el concreto no se pegue y sea más fácil su retiro, luego de esto se vertió la mezcla a cada probeta, llenándose en 3 capas, chuceando con una varilla a cada 1/3 de la altura de la probeta con 25 golpes, y con un mazo de hule se dio 12 golpes externos, según lo establece la norma ASTM C192⁴³. Una vez llenado hasta el tope se aplana con la varilla y se da el acabado superior mediante una espátula.



Ilustración 49: Vertido y compactación de mezclas en probetas.

Fuente: material propio.

⁴³ American Society for Testing and Materials: Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio.

- Finalmente se dejó secar el concreto en la probeta por un lapso de 24 horas, luego de esto se retira cuidadosamente los especímenes cilíndricos (testigos) de concreto seco, se rotuló y colocó en la posa de curado, donde se tenía agua potable incorporada con cal, para posteriormente realizar las pruebas de compresión a los 7, 14, 21 y 28 días respectivamente.



Ilustración 50: Extracción de especímenes cilíndricos de concreto seco.
Fuente: material propio.



Ilustración 51: Rotulado y curado de los especímenes cilíndricos.
Fuente: material propio.

El rotulado que se le dio a cada cilindro de concreto guarda relación a los días en que se va a hacer el ensayo por compresión, como se observa en la siguiente tabla:

DOSIFICACIÓN Nº	Rotulado de Especímenes cilíndricos de acuerdo a su ensayo de compresión a los:			
	7 días	14 días	21 días	28 días
1	1-1a 1-1b 1-1c	1-2a 1-2b 1-2c	1-3a 1-3b 1-3c	1-4a 1-4b 1-4c
2	2-1a 2-1b 2-1c	2-2a 2-2b 2-2c	2-3a 2-3b 2-3c	2-4a 2-4b 2-4c
3	3-1a 3-1b 3-1c	3-2a 3-2b 3-2c	3-3a 3-3b 3-3c	3-4a 3-4b 3-4c

*Tabla 26: Rotulado de especímenes cilíndricos.
Fuente: Elaboración propia.*

3.6. Ensayos de compresión

Para un adecuado estudio de la resistencia a la compresión y uniformidad de las probetas se siguió el siguiente procedimiento, de acuerdo a lo establecido en la NTP 339.034⁴⁴.

- Se retiraron las probetas cilíndricas de la poza de acuerdo a su tiempo de curado: 7, 14, 21 y 28 días.
- Se procedió a limpiar cada probeta con un paño seco para eliminar la humedad superficial.

⁴⁴ Norma Técnica Peruana: Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas.

- Se pesaron las probetas para posteriormente hallar la densidad húmeda.
- Se limpiaron las superficies planas superior e inferior de la máquina y también de ambas bases de cada probeta para colocar posteriormente sobre el bloque inferior de rotura. Cuidadosamente se alineó los ejes de las probetas con el centro de empuje de la prensa hidráulica. Es importante saber que en las superficies planas de la probeta se colocaron almohadillas de neopreno, tal como lo establece la NTP 339.216⁴⁵, para proporcionar superficies lo suficientemente planas de carga a los cilindros de concreto.
- Se aplicó una fuerza de compresión a un ritmo de 200 kgf/seg hasta que la probeta cilíndrica sufra rotura o colapso cuando automáticamente la máquina de ensayo de resistencia a la compresión se detuvo. Se anotan los resultados obtenidos en la el tablero de la máquina:



*Ilustración 52: Ensayo de resistencia a la compresión de probetas.
Fuente: material propio.*

⁴⁵ Norma Técnica Peruana: Práctica normalizada para la utilización de cabezales con almohadillas de neopreno en el ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido.

Ensayo a los 7 días:

Dosificación Nº	Identificación de la Probeta	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima de Rotura (kg)
1	1-1a	10	20	21024
	1-1b			20489
	1-1c			20680
2	2-1a	10	20	21146
	2-1b			21048
	2-1c			20854
3	3-1a	10	20	20140
	3-1b			20552
	3-1c			19943

*Tabla 27: Cargas máximas de rotura de probetas a los 7 días.
Fuente: Elaboración propia.*

Ensayo a los 14 días:

Dosificación Nº	Identificación de la Probeta	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima de Rotura (kg)
1	1-2a	10	20	23146
	1-2b			22940
	1-2c			23368

2	2-2a	10	20	24773
	2-2b			24580
	2-2c			24106
3	3-2a	10	20	22278
	3-2b			22146
	3-2c			23646

*Tabla 28: Cargas máximas de rotura de probetas a los 14 días.
Fuente: Elaboración propia.*

Ensayo a los 21 días:

Dosificación Nº	Identificación de la Probeta	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima de Rotura (kg)
1	1-3a	10	20	26404
	1-3b			26894
	1-3c			26492
2	2-3a	10	20	26853
	2-3b			27224
	2-3c			26842
3	3-3a	10	20	26543
	3-3b			26018
	3-3c			26214

*Tabla 29: Cargas máximas de rotura de probetas a los 21 días.
Fuente: Elaboración propia.*

Ensayo a los 28 días:

Dosificación Nº	Identificación de la Probeta	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima de Rotura (kg)
1	1-4a	10	20	28462
	1-4b			27996
	1-4c			28603
2	2-4a	10	20	28894
	2-4b			29103
	2-4c			28424
3	3-4a	10	20	27683
	3-4b			27762
	3-4c			28012

*Tabla 30: Cargas máximas de rotura de probetas a los 28 días.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 53: Detalle de fracturas en probetas de concreto.
Fuente: material propio.*

- Finalmente la resistencia a la compresión se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{\text{Carga máxima (kg)}}{\text{Área de base (cm)}} = \frac{G}{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2} = \frac{4G}{\pi D^2}$$

Ecuación 25: Resistencia a la compresión.

Donde:

f'c : Resistencia a la compresión (kg/cm²)
 G : Carga máxima de rotura (kgf)
 D : Diámetro de la probeta cilíndrica (cm)

Obteniendo los siguientes resultados:

Ensayo a los 7 días:

Dosificación Nº	Identificación de la Probeta	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Promedio Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
1	1-1a	267.69	263.95
	1-1b	260.87	
	1-1c	263.31	
2	2-1a	269.24	267.58
	2-1b	267.99	
	2-1c	265.52	
3	3-1a	256.43	257.34
	3-1b	261.68	
	3-1c	253.92	

Tabla 31: Resistencia a la compresión de probetas a los 7 días.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo a los 14 días:

Dosificación Nº	Identificación de la Probeta	Resistencia a la Compresión (kg/cm²)	Promedio Resistencia a la Compresión (kg/cm²)
1	1-2a	294.70	294.77
	1-2b	292.08	
	1-2c	297.53	
2	2-2a	315.42	311.17
	2-2b	312.96	
	2-2c	306.93	
3	3-2a	283.65	288.90
	3-2b	281.97	
	3-2c	301.07	

*Tabla 32: Resistencia a la compresión de probetas a los 14 días.
Fuente: Elaboración propia*

Ensayo a los 21 días:

Dosificación Nº	Identificación de la Probeta	Resistencia a la Compresión (kg/cm²)	Promedio Resistencia a la Compresión (kg/cm²)
1	1-3a	336.19	338.64
	1-3b	342.42	
	1-3c	337.31	
2	2-3a	341.90	343.43
	2-3b	346.63	
	2-3c	341.76	

3	3-3a	337.96	334.33
	3-3b	331.27	
	3-3c	333.77	

Tabla 33: Resistencia a la compresión de probetas a los 21 días.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo a los 28 días:

Dosificación Nº	Identificación de la Probeta	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	Promedio Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
1	1-4a	362.39	361.01
	1-4b	356.46	
	1-4c	364.18	
2	2-4a	367.89	366.78
	2-4b	370.55	
	2-4c	361.90	
3	3-4a	352.47	354.20
	3-4b	353.48	
	3-4c	356.66	

Tabla 34: Resistencia a la compresión de probetas a los 28 días.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación imágenes de la pantalla de la prensa hidráulica donde se hicieron los ensayos de resistencia a la compresión para una edad de curado de 28 días de la dosificación Nº 1:



Ilustración 54: Resultados en pantalla de prensa hidráulica, Dosif. 1, Probeta 1-4a, 28 días de curado.
Fuente: Material propio.



Ilustración 55: Resultados en pantalla de prensa hidráulica, Dosif. 1, Probeta 1-4b, 28 días de curado.
Fuente: Material propio.

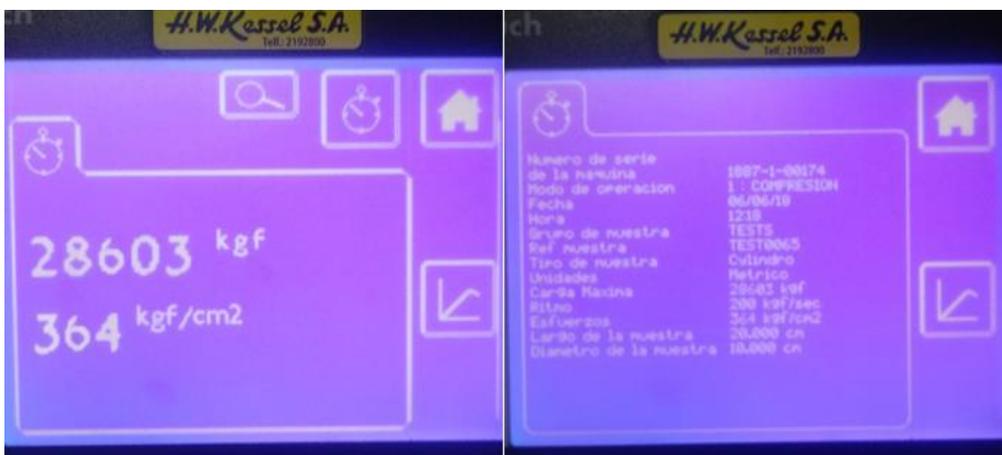


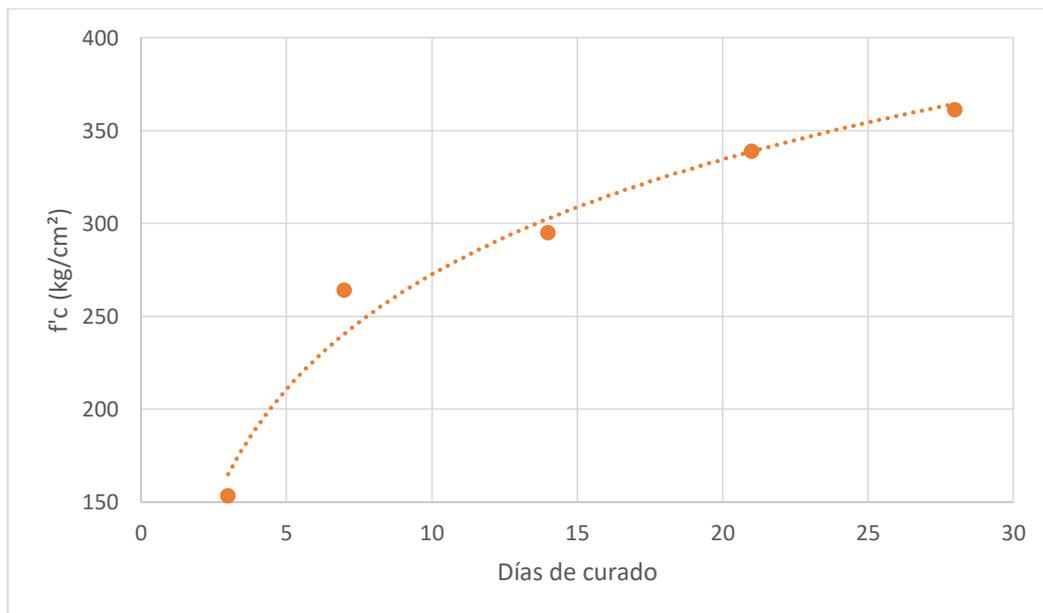
Ilustración 56: Resultados en pantalla de prensa hidráulica, Dosif. 1, Probeta 1-4c, 28 días de curado.
Fuente: Material propio.

En las siguientes tablas se detallan las resistencias a compresión por dosificación:

Dosificación 1:

Edad (Días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
7	263.95
14	294.77
21	338.64
28	361.01

*Tabla 35: Resistencia a la compresión, dosificación 1.
Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 57: Variación de la resistencia a compresión Vs días de curado. Dosificación 1.
Fuente: Elaboración propia.*

Dosificación 2:

Edad (Días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
7	267.58
14	311.77
21	343.43
28	366.78

Tabla 36: Resistencia a la compresión, Dosificación 2.
Fuente: Elaboración propia

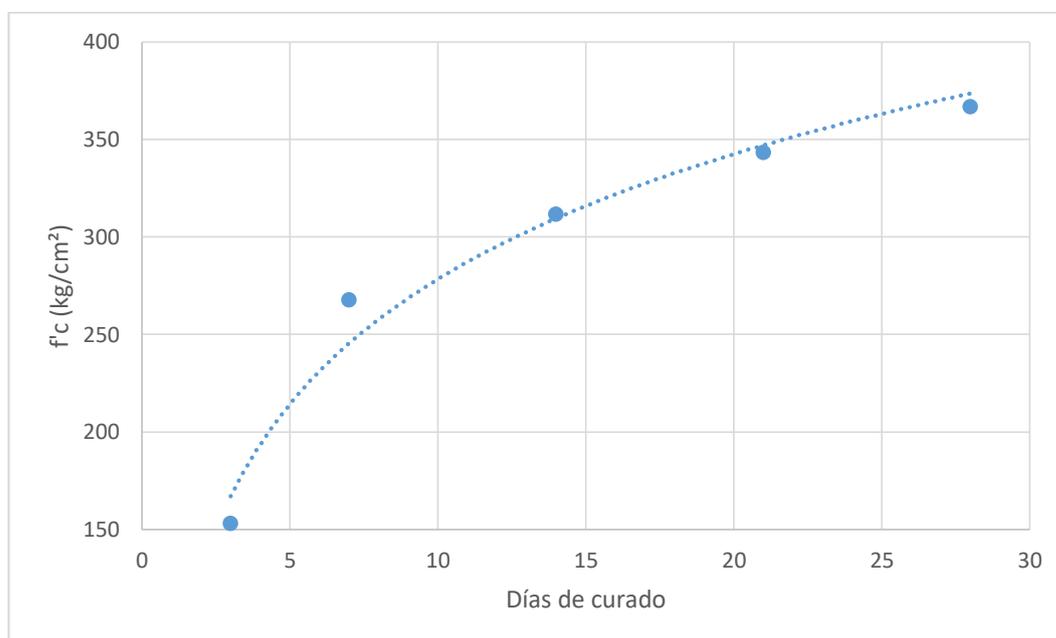


Ilustración 58: Variación de la resistencia a compresión Vs días de curado. Dosificación 2.
Fuente: Elaboración propia

Dosificación 3:

Edad (Días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
7	257.34
14	288.90
21	334.33
28	354.20

Tabla 37: Resistencia a la compresión, Dosificación 3.
Fuente: Elaboración propia.

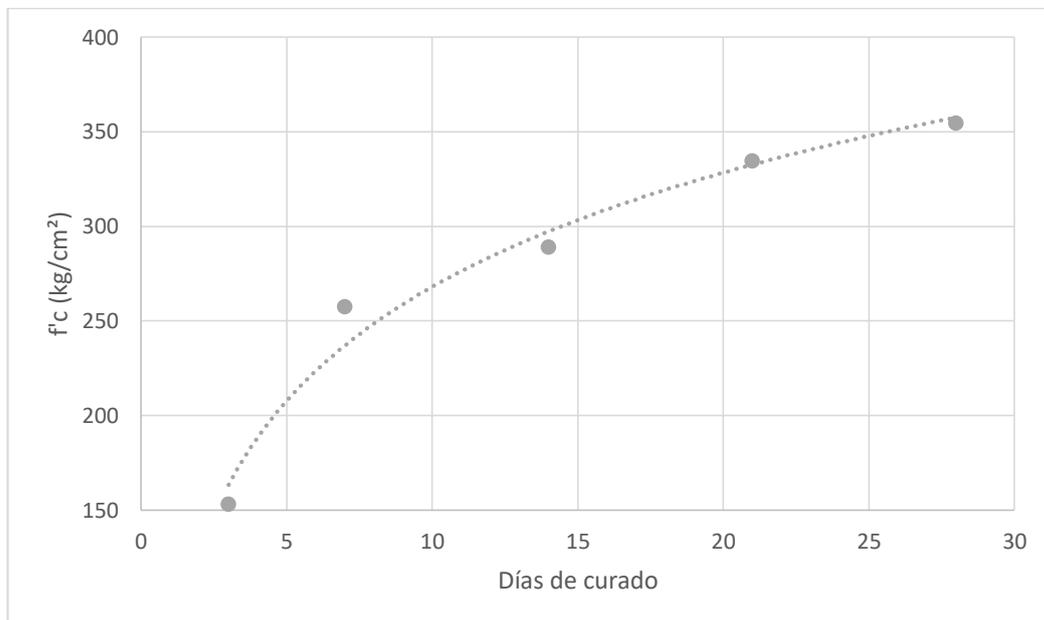


Ilustración 59: Variación de la resistencia a compresión Vs días de curado. Dosificación 3.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación se comparan las curvas de variación de la resistencia a la compresión de las 3 dosificaciones:

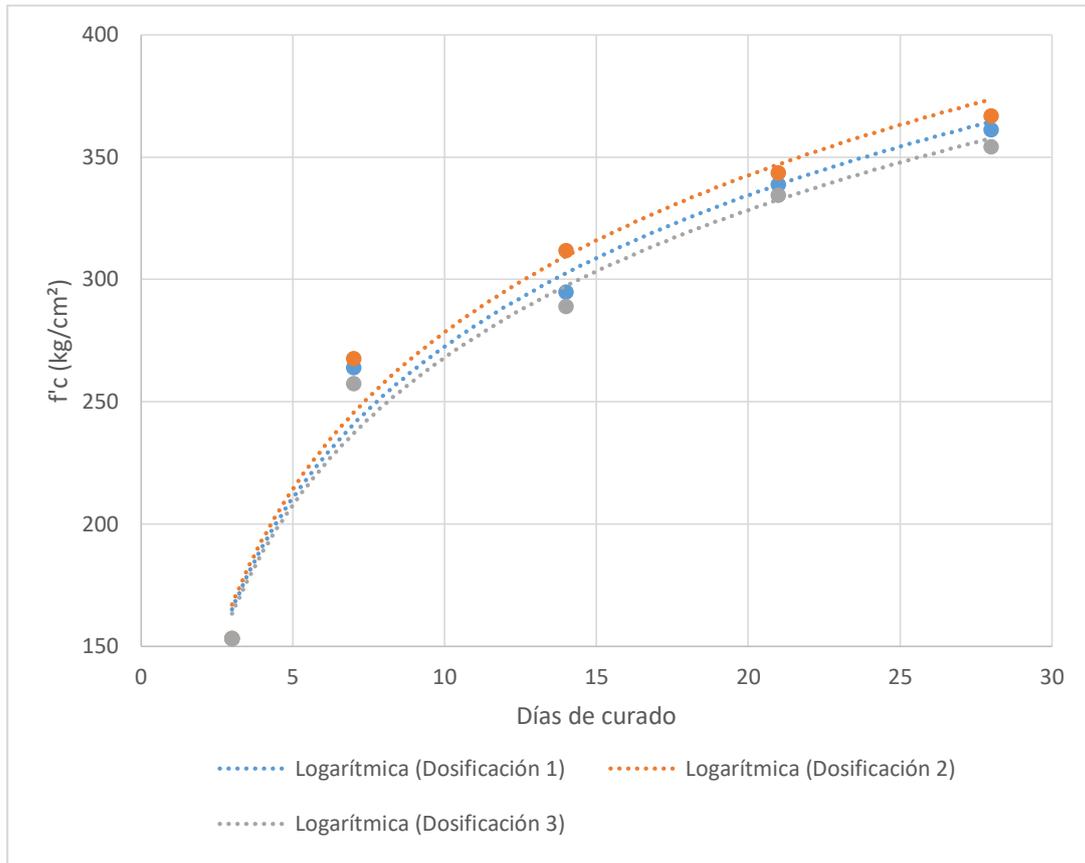


Ilustración 60: Comparación de la variación de la resistencia a compresión Vs días de curado.
Fuente: Elaboración propia.

De las tablas y el gráfico comparativo se observó que la dosificación 1 y 2 cumplen con la resistencia a la compresión mínima requerida para postes de concreto según la NTP 339.027⁴⁶, sin embargo la dosificación 1 es la que necesita menos materiales gruesos lo cual generará un ahorro económico.

3.7. Determinación de la densidad seca del concreto

Finalmente se tomó trozos del concreto (los residuos que se desprendieron luego del ensayo de compresión) de las probetas ensayadas a los 28 días, para calcular la el peso específico y la densidad seca de la dosificación 1 (elegido por ser el más conveniente de acuerdo al ítem anterior) y se procedió de la siguiente manera:

⁴⁶ Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas

- Se pesaron con una balanza digital los residuos saturados con superficie seca (B), inmediatamente después del ensayo de compresión, tarando el recipiente.
- Luego se colocaron en una cesta de alambre los residuos y se pesaron dentro del agua (C), a una temperatura de 20°C usando una balanza hidráulica.
- Luego de esto se colocaron dichos residuos en el horno a una temperatura de 100°C ± 5°C por 24 horas, pasado este tiempo se retiraron y dejaron enfriar al ambiente procediendo para pesarlos (A).
- Finalmente en gabinete se calcularon el peso específico de masa y la densidad del concreto con las siguientes fórmulas:

$$\text{Peso específico del concreto} = \frac{A}{B - C}$$

Ecuación 26: Peso específico del concreto.

$$\text{Densidad seca del concreto} = P.E \times 997.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ecuación 27: Densidad del concreto.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Dosificación N°	Identificación de la Probeta	B (gr)	C (gr)	A (gr)	P.E del Concreto	P.E. Promedio del Concreto (kg/m³)
1	1-4a	657	380	543	1.96	2.00
	1-4b	708	418	591	2.04	
	1-4c	499	304	393	2.02	

Tabla 38: Peso específico del concreto a los 28 días.

Fuente: Elaboración propia.

Dosificación N°	Identificación de la Probeta	B (gr)	C (gr)	A (gr)	Densidad Seca del Concreto (kg/m ³)	Densidad Seca Promedio del Concreto (kg/m ³)
1	1-4a	657	380	543	1955.39	1999.52
	1-4b	708	418	591	2032.84	
	1-4c	499	304	393	2010.35	

Tabla 39: Densidad seca del concreto a 28 días.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 61: Peso de concreto seco en horno y Peso en el agua.

Fuente: Material propio.

3.8. Análisis de costos

Para realizar un adecuado análisis de costo beneficio al usar concreto ligero con agregado de roca volcánica de la cantera Quilmaná en la fabricación de postes centrifugados en el Perú, se procedió a analizar el costo del concreto usado tradicionalmente en su fabricación por las diversas empresas del rubro y compararlas al costo que generará nuestro concreto ligero.

Todas las empresas en el país dedicadas a la fabricación de postes

centrifugados se rigen bajo las mismas normas de la NTP 339.027⁴⁷, el ACI⁴⁸ y ASTM⁴⁹, tanto en su diseño de mezcla, dosificaciones, diseño estructural, dimensiones, cargas, rotulado, carga y transporte; es por ello que los volúmenes y dosificaciones del concreto que se usan para postes de una misma dimensión (entre las empresas del rubro) tienen una variación mínima. Para la presente investigación se recopiló diversas Especificaciones Técnicas de Postes de Concreto Armado (ver anexos), y para efectos del estudio de análisis de costos se usó los datos de la empresa **Concreto Centrifugado Perú S.A.C. (CCPSAC)**.

3.8.1. Materiales para el concreto

Cabe señalar que no se analizará los costos de materiales como el acero ni otros que no intervengan en el concreto, ni la mano de obra durante la producción, debido a que estos costos se mantienen constantes en ambos procesos de fabricación (con materiales tradicionales y con roca volcánica); sin embargo si se tendrá en cuenta los costos de transporte vehicular (fletes) y personal para traslado a pie de los postes, debido a que en este punto si existe una diferencia importante.

3.8.1.1. Acarreo de roca volcánica

El acarreo de roca volcánica de Quilmaná tiene un incremento con respecto a los agregados tradicionales, debido a que se encuentra en una zona más alejada de canteras conocidas. El rendimiento de esta partida estuvo en función del rendimiento del cargador de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$R = \frac{V_C \cdot 60 \cdot Fe \cdot C_e}{T_C} \cdot n$$

Ecuación 28: Rendimiento de acarreo roca volcánica.

⁴⁷ Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas.

⁴⁸ American Concrete Institute.

⁴⁹ American Society of Testing Materials

Donde:

- Vc : Capacidad de cuchara del cargador (m³)
 Fe : Factor eficacia de máquina (70% a 80%)
 Ce : Coeficiente de esponjamiento roca volcánica
 Tc : Tiempo del ciclo (minutos)
 n : Coeficiente de gestión, acoplamiento y adaptación (0.8 a 0.9)

Entonces el rendimiento de acarreo de la roca volcánica de la cantera Quilmaná fue:

$$R = \frac{0.9 \times 60 \times 0.8 \times 1.5}{1} \cdot 0.9 = 58.32 \text{ m}^3/h$$

Acarreo de Roca Volcánica						
Rendimiento: 58.32 m ³ /día				Costo Unitario por m ³		
Ítem	Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
1	Operario	hh	2	0.27	20.10 ⁵⁰	5.43
						5.43
Equipos						
2	Camión volquete 10 m ³	hm	1	0.14	40.05 ⁵¹	5.61
3	Cargador sobre llantas 1.2 yd ³	hm	1	0.14	80.11 ⁵²	11.22
						16.83
					Subtotal	22.26
					IGV (18%)	4.01
					TOTAL	26.27

*Tabla 40: Costo de acarreo roca volcánica.
Fuente: Elaboración propia.*

⁵⁰ Fuente: ICG Manual de Construcción 2017

⁵¹ Fuente: Revista de Costos, Edición 276 – Marzo 2017

⁵² Fuente: Revista de Costos, Edición 276 – Marzo 2017

3.8.1.2. Costo de producción de roca volcánica

				Costo Unitario por m ³	
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio S/.	
1	Acarreo de roca volcánica	m ³	1	26.27	
2	Trituración y zarandeo roca volcánica	m ³	1	3.80 ⁵³	
3	Lavado roca volcánica	m ³	1	1.50 ⁵⁴	
				Subtotal	31.57
				IGV (18%)	5.68
				TOTAL	37.25

Tabla 41: Costo de Producción de Roca Volcánica.

Fuente: Elaboración propia.

3.8.1.3. Costo de transporte de agregados a obra (Sólo en Lima)

Costo: S/. 0.02 x kg (con IGV)			Costo Unitario por m ³	
Ítem	Descripción	Unidad	PUS	Precio (con IGV) S/.
1	Transporte de agregado grueso	kg	1084.64 ⁵⁵	21.69
2	Transporte de agregado fino	kg	1513.93 ⁵⁶	30.28

Tabla 42: Costos de transporte de agregados.

Fuente: Elaboración propia.

3.8.1.4. Costo de agregados en obra

Costo: S/. 0.02 x kg (con IGV)			Costo Unitario por m ³		
Ítem	Descripción	Unidad	Costo en cantera	Transporte	Precio (con IGV) S/.
1	Agregado grueso chancado	m ³	37.25	21.69	58.94
2	Agregado fino	m ³	10	30.28	40.28

Tabla 43: Costos de agregados en obra

Fuente: Elaboración propia.

⁵³ Costo aproximado en canteras de rocas volcánicas en Arequipa.

⁵⁴ Costo aproximado en canteras de rocas volcánicas en Arequipa.

⁵⁵ Peso Unitario Suelto del material grueso (roca volcánica).

⁵⁶ Peso Unitario Suelto del material fino.

3.8.1.5. Relación de materiales

Ítem	Materiales	Unidad	Precio (sin IGV) S/.	Precio (con IGV) S/.
1	Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	Bolsa	18.81	22.20
2	Roca volcánica chancada (3/4")	m ³	49.95	58.94
3	Arena	m ³	34.14	40.28
4	Agua	m ³	2.48	2.93

Tabla 44: Relación de materiales para concreto ligero con agregado de roca volcánica.

Fuente: Elaboración propia.

3.8.1.6. Costos de producción de concreto ligero y tradicional para la fabricación de postes

De acuerdo al diseño de mezclas realizado anteriormente, la dosificación con la que conviene realizar nuestro concreto ligero es la dosificación 1, con aportes:

- Agua : 0.6
- Cemento : 1
- Roca volcánica : 1.6
- Arena : 1.6

Lo que significa que, en 1 m³ la cantidad de materiales es la siguiente:

- Cemento Portland Tipo I : 11 bolsas
- Roca volcánica chancada 3/4" : 0.55 m³
- Arena : 0.48 m³
- Agua : 0.28 m³

Realizando el análisis de costos de producción del concreto ligero con dicha dosificación tenemos:

Mezcla concreto ligero						
					Costo Unitario por m ³	
Ítem	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
1	Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	Bolsa	11.00	18.81	206.91	
2	Roca volcánica chancada (3/4")	m ³	0.55	49.95	27.47	
3	Arena	m ³	0.48	34.14	16.39	
4	Agua	m ³	0.28	2.48	0.69	
					Subtotal	251.46
					IGV (18%)	45.26
					TOTAL	296.72

Tabla 45: Costo de producción del concreto ligero con roca volcánica.

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos de la empresa **Concreto Centrifugado Perú S.A.C. (CCPSAC)**, la proporción de materiales en 1m³ para una resistencia 35 Mpa (f'c = 357 kg/cm²) usados en la fabricación de postes centrifugados son:

- Cemento Portland Tipo I : 10 bolsas
- Piedra chancada ¾" : 0.52 m³
- Arena : 0.50 m³
- Agua : 0.18 m³
- Aditivo curador : 0.17 gal
- Aditivo reductor de agua : 0.31 gal

Mezcla tradicional concreto f'c=357 kg/cm ²						
					Costo Unitario por m ³	
Ítem	Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
1	Cemento Portland Tipo I (42.5 kg)	Bolsa	10.00	18.81	188.10	
2	Piedra chancada (3/4")	m ³	0.52	55.00	28.60	
3	Arena	m ³	0.50	34.14	17.07	
4	Agua	m ³	0.18	2.48	0.45	
5	Aditivo curador	gal	0.17	10.19	1.73	
6	Aditivo reductor de agua	gal	0.31	21.35	6.62	
					Subtotal	242.57
					IGV (18%)	43.66
					TOTAL	286.23

Tabla 46: Costo de producción del concreto tradicional para la fabricación de postes.

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2. Costos de transporte de postes

Gracias al uso de roca volcánica como agregado grueso se consigue aligerar el concreto y esto se refleja en la reducción de la densidad, y por ende del peso de las unidades de postes.

De acuerdo a la empresa de transporte de carga pesada **Joart Transporte S.A.C**, la cantidad de postes a trasladar en sus vehículos aumentaría en un 42.86%, pues se podrían apilar una mayor cantidad sin que eso significase alguna fractura en su estructura. El detalle se observa a continuación:

Longitud Postes	:	11 m
Cantidad postes (tradicionales) posibles de traslado	:	14
Cantidad postes (concreto ligero) posibles a trasladar	:	20
Cantidad adicional de postes posibles a trasladar	:	20-14 = 6

$$\% \text{ Postes adicionales} = \frac{\text{Cantidad adicional postes posibles a trasladar}}{\text{Cantidad postes posibles de traslado}} \times 100$$

Ecuación 29: Porcentaje adicional de postes a trasladar.

$$\% \text{ Postes adicionales} = \frac{6}{14} \times 100 = 42.86\%$$

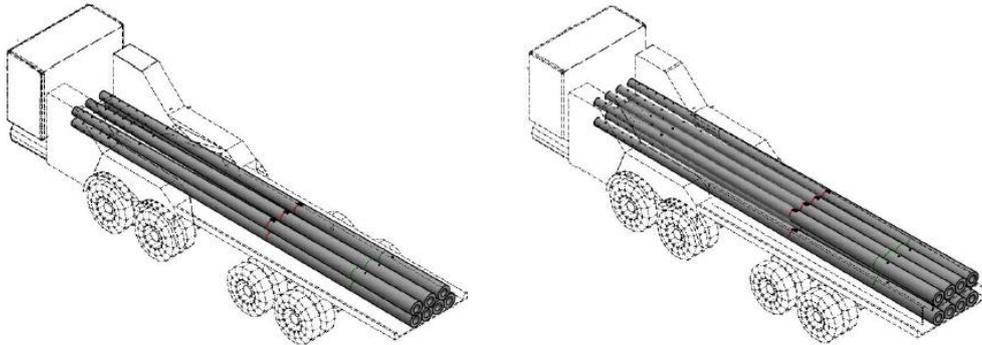
Esto ocasionaría un ahorro del 33.33% en vehículos para transporte de postes y por ende un 33.33% de ahorro del costo en traslado si es que se realizan en cantidades a partir de 40 unidades. El detalle se observa a continuación:

Cantidad de postes base a trasladar	:	40
Cantidad de vehículos (cap. 14 postes c/u)	:	40 / 14 = 2.8 = 3
Cantidad de vehículos (cap. 20 postes c/u)	:	40 / 20 = 2
Cantidad de vehículos ahorrados	:	3 - 2 = 1

$$\% \text{ Vehículos ahorrados} = \frac{\text{Cantidad vehículos ahorrados}}{\text{Cantidad vehículos (cap. 14 postes c/u)}} \times 100$$

Ecuación 30: Porcentaje vehículos ahorrados para traslado de postes.

$$\% \text{ Vehículos ahorrados} = \frac{1}{3} \times 100 = 33.33\%$$



*Ilustración 62: Transporte de postes.
Fuente: Grupo EPM S.A.*

3.8.3. Costos en personal para traslado a pie en lugares sin acceso vehicular

Como se explicó en la parte teórica, el traslado de postes de concreto centrifugado tradicionales a zonas donde el acceso a vehículos de carga es restringido por la geografía (como sucede en gran parte del interior del país) requiere mayor personal debido a su gran peso.

Para efectos del análisis de costos usaremos como referencia los datos proporcionados por el **Ministerio de Energía y Finanzas (MEF)** en un conversatorio técnico sobre inversión pública en electrificación rural el año 2010, donde comparte experiencias de uso de postes de concreto centrifugado en las zonas rurales de la sierra y la selva, y de los datos de la especificación técnica de la empresa **MAGRA S.A.C.** (ver anexos).

Postes de concreto centrifugado tradicional:

Longitud	:	13 m
Carga de trabajo	:	400 daN
Peso total	:	1700 kg
Personal para traslado a pie	:	34 personas (50 kg c/u)

Postes de concreto ligero con agregado de roca volcánica:

Longitud	:	13 m
Carga de trabajo	:	300 daN
Peso total	:	1326 kg
Personal para traslado a pie	:	27 personas (50 kg c/u)

Al usar roca volcánica de la cantera Quilmaná como agregado grueso en la fabricación de postes, se reduce el peso por unidad en un 22% y esto hace que se necesite menos personal para traslado a pie, el cual se reduce en 7 personas⁵⁷ (21% menos) en zonas sin acceso vehicular, lo cual significa un ahorro económico de 21% con respecto al traslado a pie de postes centrifugados tradicionales.

$$\% \text{ Pers. ahorrado} = 100 - \frac{\text{Pers. trasl poste concreto lig.}}{\text{Pers. trasl poste tradicional}} \times 100$$

Ecuación 31: Porcentaje de personal para traslado a pie ahorrado usando concreto ligero.

$$\% \text{ Pers. ahorrado} = 100 - \frac{27}{34} \times 100$$

$$\% \text{ Pers. ahorrado} = 100 - \frac{27}{34} \times 100 = 20.59\% = 21\%$$

⁵⁷ Cálculo proporcional al peso.

IV. DISCUSIÓN

La presente investigación tiene por objetivo establecer los efectos físicos, mecánicos y económicos que otorga el uso de roca volcánica de la cantera Quilmaná, como agregado grueso en el concreto ligero para su uso en la fabricación de postes centrifugados en el Perú y analizar si es una mejor alternativa frente al concreto tradicional usado por las empresas del rubro. Se realizaron diversos ensayos y análisis los cuales otorgan un panorama de resultados que permiten llegar a una conclusión válida.

En primer lugar la recolección de rocas volcánicas se realizó en una cantera ubicada en Quilmaná, provincia de Cañete departamento de Lima, a donde se llegó por la Carretera Panamericana Sur a la altura de Asia y entrando en dirección al centro poblado Quilmaná, en total para llegar a dichas canteras se recorrió aproximadamente 125 km desde el puente Santa Anita en la Carretera Panamericana (km 0), demorando aproximadamente 2 horas en camioneta.

Las 3 muestras de rocas volcánicas que se recogieron en la cantera Quilmaná se llevaron a laboratorio donde se las analizó geológicamente, químicamente y mediante difracción de rayos X (DRX) dando como resultado la caracterización geológica de cada uno y los elementos mineralógicos que lo componen, así como la actividad puzolánica y densidad los cuales permitieron elegir la roca más adecuada para realizar el aligeramiento del concreto. Cabe mencionar que los valores obtenidos del índice de actividad puzolánica (65-70%) se encuentran por debajo de los valores mínimos (75%) indicados por la Norma ASTM C 595⁵⁸, sin embargo pueden eventualmente servir para realizar mezclas con materiales con alta actividad puzolánica, como es el caso de la presente investigación. Se eligió como unidad de trabajo la roca volcánica de la muestra B (M-B) debido a que su nivel de Sílice (66.34%) lo hace adecuado para la reacción con el cemento que se usó en el diseño de mezclas, además que estas rocas son las más porosas, se encuentran en los puntos más accesibles (al borde de la carretera), en la naturaleza se encuentran en tamaños con los que se realizará el diseño de mezclas (TMN⁵⁹ : 3/4") y poseen la densidad más baja entre las

⁵⁸ American Society for Testing and Materials: Especificación Normalizada para Cementos Adicionados Hidráulicos.

⁵⁹ Tamaño máximo nominal.

tres alternativas. Todas estas características aportan un mejor aligeramiento del concreto a realizar.

Elegida la roca a usar como agregado grueso (M-B) se llevaron a Laboratorio de Materiales una muestra de los agregados para su caracterización física, datos esenciales en el diseño de mezclas a realizar. Cabe mencionar que todos los ensayos realizados cumplen con las desviaciones estándar propuestas por las normas bajo las que se rigen y complementada con la Norma ASTM C670⁶⁰. En las ilustraciones 30 y 33, se observa que las granulometrías de los agregados ensayados se encuentran dentro de los límites sugeridos por la ASTM C33⁶¹, con lo cual se garantiza una adecuada gradación apta para ser usada en el concreto ligero que se desea llegar.

La roca volcánica de la muestra B (M-B) usada como agregado grueso el tamaño utilizado en el diseño de mezcla fue de $\frac{3}{4}$ " (TMN⁶²) con un módulo de finura de 7.56, un peso específico de 2.09 lo cual cumple con la denominación de agregado ligero pues es menor a 2.50 según Pasquel (1993) y posee una absorción de 8.24% debido a un mayor comportamiento higroscópico de absorber y liberar agua, características que indican la ligereza que posee el material. Con respecto al agregado fino que se usó, el cual es de una cantera ubicada en el distrito de Carabayllo, su módulo de finura es 2.91 con un peso específico de 2.62. Todos estos resultados se encuentran dentro de los rangos establecidos y por lo tanto óptimos para la elaboración del concreto según la ASTM C33.

Los agregados presentan una masa unitaria de 1084.64 kg/m³ y 1513.93 kg/m³ correspondientes al agregado grueso y al fino respectivamente, cabe resaltar que esta masa unitaria para el agregado grueso liviano ensayado es menor al de los agregados tradicionales usados (entre otros a la fabricación de postes) y esto se debe que el agregado tradicional tiene una mejor distribución de

⁶⁰ American Society for Testing and Materials: Práctica Estándar para Preparación de Precisión y Declaraciones de Tendencia para Métodos de prueba para Materiales de Construcción.

⁶¹ American Society for Testing and Materials: Especificación Normalizada de Agregados para Concreto.

⁶² Tamaño máximo nominal.

partículas y esto da en consecuencia una mejor resistencia a la compresión, sin embargo aumenta su densidad y por ende su peso (característica que se busca disminuir). Con respecto a la masa compactada los resultados fueron 1206.43 kg/m³ y 1673.21 kg/m³ para el agregado grueso y fino respectivamente.

Con los datos de caracterización de los agregados se procedió a realizar un diseño de mezcla con roca volcánica como agregado grueso, que tenga como características la reducción de su peso pero manteniendo la resistencia a la compresión requerida en la NTP 339.027⁶³ para la fabricación de postes centrifugados, cabe resaltar que para realizar diseños de mezclas existen varios métodos, pero casi todos son variaciones del método ACI⁶⁴. Finalmente luego de realizar los cálculos con su respectiva corrección por absorción y humedad se obtiene la siguiente dosificación por m³: agua 257 kg/m³, cemento 460 kg/m³, agregado grueso 742 kg/m³, agregado fino 734 kg/m³, lo que viene a ser la siguiente relación por aportes:

Cemento : Arena : Piedra : Agua = 1 : 1.6 : 1.6 : 0.6

Para un mejor análisis de resultados comparativos se realizaron dos dosificaciones más, variando la relación entre agregados, se obtuvo los siguientes aportes para la dosificación 2 y dosificación 3 respectivamente:

Cemento : Arena : Piedra : Agua = 1 : 1.4 : 1.8 : 0.6

Cemento: Arena: Piedra: Agua = 1 : 2 : 1.2 : 0.6

El vaciado de estas dosificaciones se realizó en el Laboratorio de Materiales, teniendo en cuenta que se realizarían ensayos de resistencia a la compresión durante 4 semanas (a los 7, 14, 21 y 28 días de curado) por esta razón se hizo el vaciado en 12 probetas cilíndricas por dosificación, teniendo un total de 36 probetas para los ensayar posteriormente tal y como se puede apreciar en la

⁶³ Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas.

⁶⁴ American Concrete Institute.

tabla 26. Cabe señalar que los diferentes vaciados se realizaron bajo la norma ASTM C192⁶⁵, con unas dimensiones de 100 x 200 mm (4"x8"), cumpliendo con lo especificado por esta norma, siendo el diámetro del cilindro al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Se retiró los moldes alrededor de las 30 horas después de moldeados, debido que a las 24 horas las probetas no presentan la solidez adecuada, sin embargo se cumplió con lo estipulado por la norma estando dentro del rango de 24 ± 8 h.

Cabe señalar que el asentamiento, o también llamado grado de trabajabilidad (por medio del cono de Abrams) dio como resultados 1.5", 1.3" y 1.7" para las dosificaciones 1, 2 y 3 respectivamente lo cual se encuentra dentro de lo planeado pues se busca una grado de trabajabilidad media-alta para usarlo en concreto ligero estructural (postes) pues la capacidad de acomodo de la mezcla en una estructura minimiza defectos o cangrejeras al momento de realizarse el centrifugado del concreto en la formaleta.

En cuanto al ambiente de curado, los especímenes cilíndricos tuvieron agua libre sobre su superficie completa en todo momento tal y como lo indica la norma.

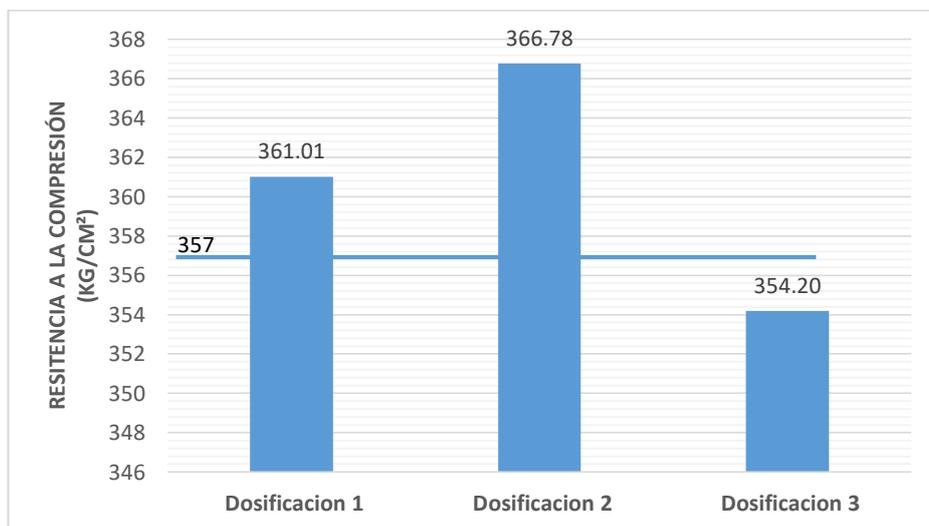
La hipótesis 2 indica que “la adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero para el uso en la fabricación de postes en el Perú genera una resistencia a la compresión mayor a 357 kg/cm² a los 28 días”.

Para verificar dicha hipótesis que hace alusión a las características mecánicas del concreto, se siguieron todos los pasos anteriormente mencionados y finalmente se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión exactamente en las fechas programadas para obtener resultados correctos según la NTP 339.034⁶⁶, se observa que para los 28 días de curado, las dosificaciones 1 y 2 son las que se encuentran por encima del mínimo requerido

⁶⁵ American Concrete Institute. Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio

⁶⁶ Norma Técnica Peruana: Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas.

en la NTP 339.027⁶⁷ para la fabricación de postes que es 35 Mpa, lo que viene a ser lo mismo a 357 kg/cm², tal y como se observa en la tablas 35 y 36 y en la ilustración 63. De estas dos alternativas, para efectos del presente estudio se escogió la dosificación 1 para realizar el análisis costo beneficio posterior, debido a que por poseer un aporte menor de agregado grueso es el más económico.



*Ilustración 63: Resistencias a la compresión a los 28 días por dosificaciones.
Fuente: Elaboración propia.*

Cabe mencionar que en la investigación hecha por (Ibarcená, 2013) el concreto ligero que diseñó con roca pómez como agregado grueso (roca volcánica muy liviana) redujo su resistencia a la compresión de acuerdo a la variedad de roca pómez que se usó, entre 75% y 87%, sin embargo para fines de su investigación dicha resistencia no afectó sustancialmente debido a que el autor enfocaba el uso de este concreto ligero en unidades de albañilería no estructural, es decir en bloques de concreto, a diferencia de la presente investigación que se busca una resistencia mayor enfocada a la fabricación de postes.

Un factor importante a tener en cuenta es que al realizar los ensayos de compresión a los 28 días se observó que las probetas cilíndricas presentaban mayormente una fractura tipo 4, tal como se observa en anexos, es decir es una fractura diagonal sin fisuras a través de los extremos, para lo cual se debió

⁶⁷ Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas.

golpear suavemente con un martillo para distinguirla del tipo 1; este tipo de fractura es una falla por cortante que se puede presentar debido a un cabeceado irregular de las probetas, o a que las caras de la aplicación de carga se encuentra en el límite de desviación (perpendicularidad) tolerada especificada de 0.5° , o debido a una compactación irregular, generalmente causada por falta de adherencia de una capa de la muestra anterior por falla con la varilla con que se apisonó la mezcla.

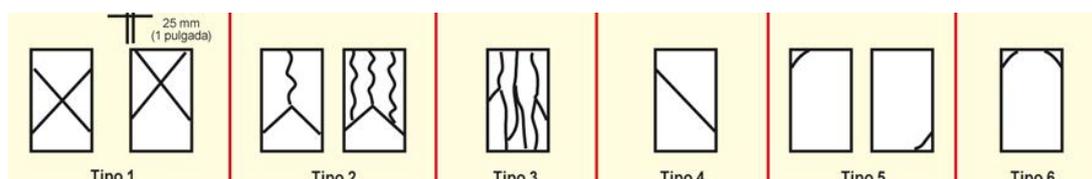


Ilustración 64: Tipos de fractura en probetas cilíndricas.

Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería.

Con estos resultados se llega a confirmar la hipótesis 2 pues las dosificaciones 1 y 2 son mayores a 357 kg/cm^2 , dando validez al uso de este concreto diseñado en la fabricación de postes en el Perú.

La hipótesis 1 sostiene que “la adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero reduce el peso en un 20% para su uso en la fabricación de postes en el Perú”.

Para la verificación de esta hipótesis que hace alusión a las características físicas, se realizó el ensayo de caracterización del concreto de la dosificación 1 (elegida anteriormente por ser la que superó el límite de 357 kg/cm^2 y por ser la más económica) a los 28 días para calcular la densidad seca que posee, resultando 1999.52 kg/m^3 como se puede observar en la tabla 39, el cual no se encuentra dentro de los límites establecido por la ACI 213R-03⁶⁸, el cual señala que un concreto liviano estructural debe poseer una densidad seca entre 1120 kg/m^3 y 1920 kg/m^3 , sin embargo la densidad alcanzada es lo suficientemente resistente para la fabricación de postes centrifugados tal como lo señala la norma NTP 339.207 y además aligera el peso del poste en un 22% si se

⁶⁸ American Concrete Institute: Guía para hormigón estructural con agregado de peso ligero.

compara a los fabricados tradicionalmente, cálculo realizado basado en datos de las especificaciones técnicas de la empresa MAGRA S.A.C. donde la densidad del concreto usado en la fabricación de sus postes de 13 m posee una densidad de 2595 kg/m^3 (1700 kg por poste) frente a la densidad del concreto con roca volcánica estudiada que es de 1999.52 kg/m^3 (1326 kg por poste), es decir 374 kilos menos por unidad.

En la investigación hecha por (Ibarcená, 2013) el concreto ligero que diseñó redujo su densidad entre 34% y 52%, esto debido a que la roca pómez que se usó como agregado grueso es de una característica muy porosa, esto derivó en la reducción de su peso entre 34% (1450 Kg/m^3) y 52% (1050 Kg/m^3) el cual es muy beneficioso cuando se usa en la fabricación de unidades no estructurales, caso contrario a la presente investigación que se busca una reducción del peso dentro de los límites estructurales permitidos; comparando los resultados se puede observar que las rocas volcánicas de Quilmaná son más densas que las rocas pómez de Arequipa (estudiadas por Ibarcená) y además cumplen con los requisitos mecánicos verificados en la hipótesis 1, las que lo hacen ideales para su uso en la fabricación de postes centrifugados.

Con estos resultados se confirma la hipótesis 1, debido a que tomando como base un poste de 13 m, existe una reducción de 374 kilos que viene a ser el 22% de reducción del peso frente a uno fabricado con el concreto tradicional usado por las diversas empresas en el rubro de postes de concreto centrifugado (mayor al 20% que establecía la hipótesis). Asimismo en postes de diferente longitud se presentará una reducción porcentual similar debido a que las cantidades de concreto a usarse serán proporcionales.

Es importante señalar que debido a las propiedades del concreto ligero diseñado, éste se puede usar también en la fabricación de accesorios de los postes, como ménsulas, plataformas, crucetas, palomillas, etc. (también fabricados tradicionalmente en concreto) los cuales aligerarían aún más las cargas por los tendidos eléctricos, debido a la reducción de su peso en un 22% frente a concreto convencionales usados para este fin.



*Ilustración 65: Ménsulas y palomillas de concreto para postes.
Fuente: Material propio.*

Finalmente la **hipótesis 3** afirma que **“la adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero para la fabricación y traslado de postes en el Perú es beneficioso económicamente frente a los de postes tradicionales.”**.

Para validar dicha hipótesis se realizaron análisis de costos beneficios al usar roca volcánica para la fabricación de postes de concreto centrifugado, no se tomó en cuenta los costos de mano de obra ni de materiales como el acero para la armadura que no intervienen en el concreto, debido a que estos costos se mantienen constantes tanto cuando se fabrican con roca volcánica y con el concreto tradicional.

Según la empresa Concreto Centrifugado Perú S.A.C (CCPSAC), el costo de producción por m³ de postes tradicionales es S/. 286.23 soles, mientras que el fabricar el poste con concreto ligero tiene un costo de S/.296.72 soles, es decir el costo de un poste de concreto ligero con roca volcánica como agregado grueso es 3.66% más costoso que uno fabricado tradicionalmente; esto se debe a que el costo de acarreo de la roca volcánica desde la cantera ubicada en Quilmaná es mayor a los agregados gruesos tradicionales y esto incrementa su costo de producción, tal como se observa en las tablas 45 y 46. Este porcentaje disminuiría si se trabajan con canteras alternativas de roca volcánica más accesibles.

Al analizar el costo de transporte de postes se observa que el número de postes posibles a trasladar por flete aumenta cuando se usa roca volcánica como

agregado grueso en el concreto ligero; de acuerdo a los datos de la empresa de transporte de carga pesada Joart Transporte S.A.C. se pueden trasladar 6 postes de 14 m adicionales sin que esto origine algún tipo de fractura en sus estructuras, esto equivale a 42.86% de postes adicionales por flete lo que significa un ahorro del 33.33% en transporte vehicular cuando se realizan traslados de cantidades mayores a 40 postes, sin embargo para traslados de cantidades menores a las especificadas, el ahorro es menor.

En cuanto al costo en personal para traslado a pie en lugares donde no existe acceso vehicular, como sucede en gran parte del interior del país, éste disminuye, debido a que gracias al aligeramiento del concreto por usar roca volcánica el peso del poste disminuye requiriendo menos personal para su traslado. Según datos proporcionados por el Ministerio de Energía y Finanzas (MEF) y la empresa MAGRA S.A.C. son necesarias 34 personas para trasladar a pie un poste tradicional (de 13 m y 1700 kg de peso), mientras que para el traslado de un poste fabricado con el concreto ligero diseñado en la presente investigación (13 m y 1326 kg de peso) se requerirán 27 personas, es decir existe un 21% de ahorro de personal lo que significa un 21% de ahorro del costo en traslado a pie.

Con estos resultados se confirma la hipótesis 3, por un lado se tiene que, al contrario de lo esperado, existe un aumento pequeño del 3.66% en su costo, lo cual no distancia demasiado la brecha con los costos tradicionales. Además existe un beneficio en el transporte de los mismos, debido a que se obtuvo un 33.33% de ahorro en transporte vehicular (mayor cantidad de postes por flete) y un 21% de ahorro en gastos de personal para traslado a pie en lugares inaccesibles para vehículos. En conclusión si existe un beneficio económico en los postes con concreto ligero frente a los fabricados tradicionalmente por las empresas del rubro y es más notorio si se van a trasladar grandes cantidades de y cuando se cuenta con una cantera de roca volcánica cerca para ahorrar en acarreo.

V. CONCLUSIONES

- El uso de roca volcánica de la cantera Quilmaná como agregado grueso del concreto en una dosificación con aportes: *Cemento : AF : AG : agua = 1: 1.6: 1.6: 0.6*; reduce, la densidad seca del mismo en un 22% frente a los concretos tradicionales. **Esto significa un 22% de reducción de su peso** frente a los usados en la fabricación de postes actuales, logrando así aligerar el concreto para mayores beneficios.
- En el ensayo de **resistencia a la compresión a los 28 días** de curado de los especímenes cilíndricos del concreto ligero diseñado, se alcanza los **361.01 kg/cm²**, lo cual supera al mínimo requerido por la NTP 339.027⁶⁹, dando viabilidad mecánica al uso de este concreto ligero en la fabricación de postes.
- Es beneficioso económicamente, pues el costo de fabricación de un poste con el concreto ligero diseñado en la presente investigación es **3.66% más costoso** que uno fabricado tradicionalmente, sin embargo este aumento económico se ve compensado por el **33% de ahorro en transporte vehicular (fletes)** cuando se trasladan más de 40 postes y en menor medida cuando se trasladan cantidades pequeñas; además produce un **21% de ahorro en pagos a personal para transportar a pie dichos postes en lugares inaccesibles para carga pesada**.
- Físicamente la adición de la roca volcánica influye en las características físicas del poste proporcionándoles un color y una textura más vistosa de la convencional, una mejor resistencia al calor y durabilidad casi equivalente a la de los postes tradicionales.
- Es conveniente económicamente fabricar postes con roca volcánica cuando se los va a trasladar largas distancias y más aún cuando están dirigidas a lugares inaccesibles para carga pesada y se necesite personal para trasladarlos a pie. Para traslados cercanos no resulta tan conveniente a menos que se trasladen cantidades a partir de 40

⁶⁹ Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas.

unidades.

- El concreto ligero diseñado es apropiado para la fabricación de una cantidad considerable de accesorios que se usan en los postes, tales como ménsulas, plataformas, crucetas, palomillas, etc, los cuales disminuirían las cargas totales en un 22% frente a los accesorios fabricados con el concreto tradicional.

VI. RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar un control de calidad de las rocas volcánicas antes de usarlo en un proyecto desde el punto de vista químico y mecánico bajo la norma ASTM C330⁷⁰, analizar el material en laboratorio más aún si el objetivo es la fabricación de un concreto ligero estructural.
- Es conveniente trabajar con rocas volcánicas si se cuenta con la cantera cerca para ahorrar en acarreo, en Lima existen pocas canteras de dicho material sin embargo en la zona sur del Perú existen grandes cantidades, especialmente en el departamento de Arequipa que cuenta con una actividad volcánica importante y donde la fabricación de postes con agregado grueso de este material sería muy rentable.
- El Perú, debido a su geografía, cuenta con diversos tipos de clima los cuales pueden afectar en el rendimiento y durabilidad de los postes con el concreto diseñado en la presente investigación, es por ello que es necesario realizar más investigaciones usando aditivos plastificantes y superplastificantes que otorguen más protección al concreto sin mermar la resistencia del mismo.
- Se debe investigar el uso del aditivo EUCO 37⁷¹ en el concreto ligero diseñado, debido a que es un reductor de agua de alto rango, súper plastificante y optimizador de mezclas de cemento que aportaría una resistencia adicional a la compresión, con lo cual las cantidades de agregados diseñados en la presente investigación pueden disminuir, generando ahorro económico y estando dentro de los límites de resistencia a la compresión establecida por la NTP 339.027⁷².
- Es de suma importancia realizar los ensayos de rutina luego del curado de 28 días: inspección visual, verificación de dimensiones y ensayo de flexión a los postes ligeros terminados (luego del centrifugado en las

⁷⁰ American Society for Testing and Materials: Especificación estándar para agregados livianos para concreto estructural

⁷¹ QSI CORP: Aditivos EUCO

⁷² Norma Técnica Peruana: Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas.

formaletas) para la aprobación y distribución de los mismos.

- Se debe investigar el uso de este tipo de concreto ligero en otras alternativas estructurales tales como muros de contención y algunas obras hidráulicas pequeñas, donde su uso podría ser beneficioso económicamente.

VII. REFERENCIAS

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

AMERICAN Concrete Institute, ACI. 2000. *ACI 116R: Terminología del cemento y del concreto.* EE.UU : s.n., 2000.

AMERICAN Concrete Institute, ACI. *ACI 211: Diseño de mezclas de concreto.* EE.UU : s.n.

AMERICAN Concrete Institute, ACI. *ACI 213R-03: Guía para concreto ligero estructural.* EE.UU : s.n.

AMERICAN Society for Testing and Materials, ASTM. *ASTM C136: Determinación granulométrica de agregados.* EE.UU : s.n.

AMERICAN Society for Testing and Materials, ASTM. *ASTM C143 : Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico.* EE.UU : s.n.

AMERICAN Society for Testing and Materials, ASTM. *ASTM C192: Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio.* EE.UU : s.n.

AMERICAN Society for Testing and Materials, ASTM. *ASTM C231: Método de Ensayo Normalizado de Contenido de Aire del Concreto Recién Mezclado Mediante el Método por Presión.* EE.UU : s.n.

AMERICAN Society for Testing and Materials, ASTM. *ASTM C567: Método Normalizado de Ensayo para la Determinación de la Densidad de Concreto Estructural Liviano.* EE.UU : s.n.

AMERICAN Society for Testing and Materials, ASTM. *ASTM C595: Especificación Normalizada para Cementos Adicionados Hidráulicos.* EE.UU : s.n.

AMERICAN Society for Testing and Materials, ASTM. *ASTM C670: Práctica Estándar para Preparación de Precisión y Declaraciones de Tendencia para Métodos de prueba para Materiales de Construcción.* EE.UU : s.n.

AMERICAN Society of Testing Materials, ASTM. *ASTM C94: Especificación Normalizada para concreto Premezclado.* EE.UU : s.n.

ANSOTEGUI, Carmen, Gómez, Fernando y Gonzalez, Raul. 2015. *Ética de las finanzas.* 2015.

CARRERA, Jorge. 1980. *Concreto Liviano Empleando vidrio volcánico como agregado.* Lima : s.n., 1980.

CENAPRED. 2018. Cenapred. [En línea] 2018. [Citado el: 28/05/2018 de Mayo de 2018.] <http://www.cenapred.unam.mx>.

CODENSA. 2017. Likinormas. [En línea] 2017. [Citado el: 28 de 09 de 2017.] <http://likinormas.micodensa.com/Home/DownloadPDF/449>.

MINISTERIO de Energía y Finanzas, MEF. 2010. *Conversatorio Técnico sobre Inversión Pública en Electrificación Rural.* Chiclayo : s.n., 2010.

- EDELNOR. 2005.** *Especificaciones Técnicas de postes de Concreto.* Lima : s.n., 2005.
- FLORES, Miguel. 2009.** *Estudio teórico experimental de postes tronco cónico de concreto armado.* Lima : s.n., 2009.
- Hernandez, Roberto. 2014.** *Metodología de la investigación 6ta Edición.* México DC : McGraw-Hill, 2014.
- IBARCENÁ, Rolando. 2013.** *Uso de concreto ligero con agregados de roca volcánica en la fabricación de unidades de albañilería no estructural.* Arequipa : s.n., 2013.
- INDECOPI. NTP 400.021:** *Norma Técnica Peruana Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.* Lima : s.n.
- INDECOPI. 2008.** *Comisión de reglamentos técnicos y comerciales. Norma Técnica Peruana.* Lima : s.n., 2008.
- INDECOPI. 2008.** *NTP 339.027 Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas.* Lima : s.n., 2008.
- INDECOPI. NTP 339.034:** *Norma Técnica Peruana Resistencia a Compresión.* Lima : s.n.
- INDECOPI. NTP 339.035:** *Norma Técnica Peruana Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland.* Lima : s.n.
- INDECOPI. NTP 339.185:** *Norma Técnica Peruana Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.* Lima : s.n.
- INDECOPI. NTP 400.022:** *Norma Técnica Peruana Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.* Lima : s.n.
- INDECOPI. NTP. 339.034:** *Norma Técnica Peruana Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas.* Lima : s.n.
- INDECOPI. NTP. 339.216:** *Norma Técnica Peruana Práctica normalizada para la utilización de cabezales con almohadillas de neopreno en el ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido.* Lima : s.n.
- KOSMATKA, Steven, y otros. 2004.** *Diseño y control de mezclas de concreto.* EE.UU : s.n., 2004.
- LARA, Erica. 2013.** *Fundamentos de investigación 2da edición.* México DC : Alfaomega, 2013.
- MANCIPE, Jeimi, Pereira, Laura y Bermúdez, Diego. 2007.** *Diseño de concretos de alta resistencia a partir de una puzolana natural.* Bogotá : s.n., 2007.
- MARTÍNEZ, Diego. 2010.** *Concreto liviano estructural con arcilla expandida térmicamente extraída de canchales localizadas en el Sur de la sabana de Bogotá.* Bogotá : s.n., 2010.
- MATERIALS American Society of Testing, ASTM.** *ASTM C150 Especificación normalizada para cemento Portland.* EE.UU : s.n.
- MINISTERIO de Economía y Competitividad. 2017.** *Ciudad ciencia.* [En línea] 2017. [Citado el:

13 de 10 de 2017.]

http://www.ciudadciencia.es/doc/files/FICHA_CLASIFICACION%20DE%20ROCAS_CC.pdf.

NEVILLE, Adam. 1998. *Tecnología del concreto*. San Diego-USA : s.n., 1998.

ORTEGA, Juan. 1990. *Concreto armado I*. Lima : s.n., 1990.

OSORIO, Diego. 2017. Blog 360 grados en concreto. [En línea] 2017. [Citado el: 25/11/2017 de Noviembre de 2017.] <http://blog.360gradosenconcreto.com/resistencia-mecanica-del-concreto-y-resistencia-a-lacompresion/>.

PAEZ, Alfredo. 1986. *Hormigón armado*. Barcelona : s.n., 1986.

PALACIOS, Samuel. 2012. *La investigación en el tratamiento educativa de la diversidad*. Madrid : s.n., 2012.

RIVERA, Gerardo. 1998. *Concreto simple*. Cauca-Colombia : s.n., 1998.

ROMERO, Andrés y Hernandez, Johan. 2014. *Diseño de mezclas de hormigón por el método ACI y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia*. Bogotá : s.n., 2014.

SALINAS, Pedro. 2013. *Metodología de la investigación*. México DC : s.n., 2013.

SAMPIERI, Roberto. 2014. *Metodología de la investigación*. México DC : s.n., 2014.

SANCHEZ, Diego. 1991. *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá : s.n., 1991.

SEGURA, Jorge. 2007. *Concreto liviano estructural con arcilla expandida térmicamente extraída de canteras localizadas en el sur de la sabana de Bogotá*. Bogotá : s.n., 2007.

SEMINARIO, Oswaldo. 2003. *Evaluación de la Corrosión en Postes de Concreto Armado de la Urbanización los Tallanes*. Piura : s.n., 2003.

TERREROS, Carlos. 2006. *materiales de construcción*. Guayaquil : s.n., 2006.

VALDERRAMA Mendoza, Santiago. 2015. *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica*. Lima : San Marcos de Anibal Jesus Paredes Galvan, 2015.

VALDÉS, Sergio. 2010. *Recomendaciones para el diseño estructural del concreto ligero*. México D.C. : s.n., 2010.

VIII. ANEXOS

8.1. Matriz de consistencia

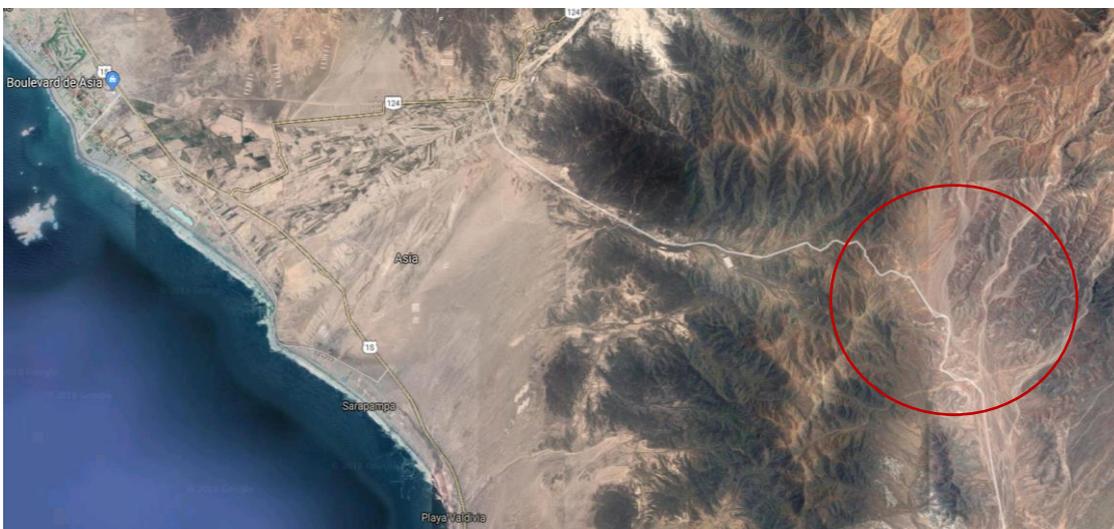
FORMUACION DEL PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES
<p>¿Qué efecto tiene la adición de roca volcánica como agregado grueso en las propiedades físicas, mecánicas y económicas del concreto ligero para la fabricación de postes en el Perú?</p>	<p><u>GENERAL</u></p> <p>H1: La adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero es beneficioso en la fabricación de postes en el Perú.</p> <p><u>ESPECÍFICOS</u></p> <p>h1: La adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero reduce el peso en un 20% para su uso en la fabricación de postes en el Perú.</p> <p>h2: La adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero para el uso en la fabricación de postes en el Perú genera una resistencia a la compresión mayor a 357 kg/cm² a los 28 días.</p> <p>h3: La adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero para la fabricación y traslado de postes en el Perú es beneficioso económicamente frente a los de postes tradicionales.</p>	<p><u>GENERAL</u></p> <p>Establecer los efectos que tiene la adición de roca volcánica como agregado grueso del concreto ligero en la fabricación de postes en el Perú.</p> <p><u>ESPECÍFICOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer que la adición de roca volcánica como agregado grueso del concreto ligero reduce el peso en un 20% para su uso en la fabricación de postes en el Perú. • Establecer que la adición de roca volcánica como agregado grueso del concreto ligero para el uso en la fabricación de postes en el Perú genera una resistencia a la compresión mayor a 357 kg/cm² a los 28 días. • Establecer que La adición de roca volcánica como agregado grueso en el concreto ligero para la fabricación y traslado de postes en el Perú es beneficioso económicamente frente a los de postes tradicionales. 	<p><u>INDEPENDIENTE</u></p> <p>El concreto ligero con agregados de roca volcánica</p> <p><u>DEPENDIENTE</u></p> <p>La fabricación de postes en el Perú</p>

Tabla 47: Matriz de consistencia.

Fuente: Elaboración propia.

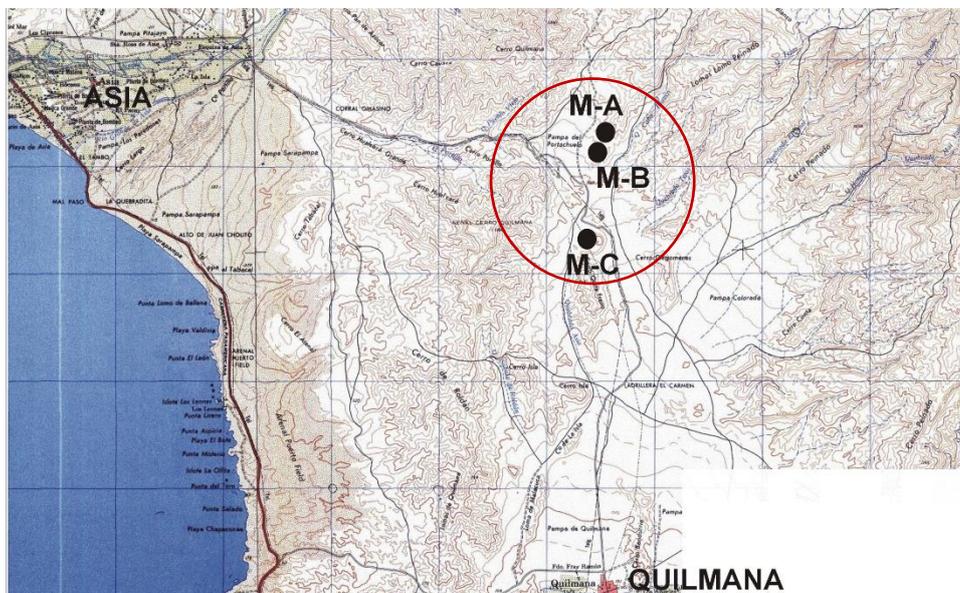
8.2. Ubicación cantera Quilmaná

SATELITAL



*Ilustración 66: Mapa Satelital cantera de roca volcánica Quilmaná (Quilmaná-Cañete).
Fuente: Google Maps.*

MAPA



*Ilustración 67: Mapa Cantera de roca volcánica Quilmaná (Quilmaná-Cañete).
Fuente: Estudio geológico y muestreo de rocas volcánicas tobáceas Quilmaná-Cañete-Lima.*

8.3. Estudio geológico y muestreo de rocas volcánicas tobáceas



ESTUDIO GEOLOGICO Y MUESTREO DE ROCAS VOLCANICAS TOBACEAS QUILMANA-CAÑETE-LIMA.



ING. ROLANDO CARRASCAL M.

LIMA, 20 MAYO 2018



ESTUDIO GEOLOGICO Y MUESTREO DE ROCAS VOLCANICAS TOBACEAS. QUILMANA-CAÑETE-LIMA

INTRODUCCION

El presente informe se refiere a la evaluación geológica y toma de muestras de rocas volcánicas tobaceas para ser utilizado como agregado en la obtención de concreto ligero y resistente, realizado a solicitud del Bachiller Heiner Salazar Márquez.

Los trabajos de campo se realizaron el día 01 de mayo del 2018.

El equipo de estudio y evaluación estuvo conformado por el Dr. Ing. Rolando Carrascal y el Bachiller Heiner Salazar.

I. GENERALIDADES

I.1. OBJETIVOS

Los objetivos principales han sido:

- Evaluar geológicamente las rocas volcánicas (tobas)
- Muestreo representativo
- Análisis químicos
- Análisis petrográfico

I.2. UBICACION Y ACCESO

Los afloramientos de rocas volcánicas tobaceas se localizan en la hoja 28k de Lunahuana a escala 1/ 100,000 del IGN, distante a 12 km en línea recta al norte del poblado de Quilmana correspondiente a la provincia de Cañete del departamento de Lima (Plano 1).

Es accesible desde Lima mediante la vía:

Lima-Asia (Panamericana sur Km. 100 asfaltada)	100 km.
Km. 100 – Capilla de Asia – Concesiones (afirmada)	25 km.
	<hr/>
	TOTAL: 125 km.

El recorrido a los afloramientos se realiza aproximadamente durante 2 horas en camioneta.



II. GEOLOGIA REGIONAL

Regionalmente de acuerdo al plano geológico a escala 1/100,000 del cuadrángulo de Lunahuana en la zona de estudio aflora el grupo Nazca de edad Miocénica.

El grupo Nazca suprayace en discordancia a la formación Quilmana del Cretácico inferior a superior y sobre intrusivos del Batolito de la Costa del Cretácico superior.

II.1. ESTRATIGRAFIA

Grupo Nazca

Aflora ampliamente en la zona de estudio y se encuentra constituida en la base por tobas soldadas con fiames, cristales de plagioclasas, cuarzo y biotita. Hacia la parte superior está conformada por tobas soldadas cristalolíticas color blanco con tonos rojizos por meteorización, con algunos pómez líticos subangulosos a subredondeados. Su edad es Miocénica superior.

II.2. TECTONICA

La zona ha sufrido la intensa actividad tectónica andina en sus diferentes estadios. Así hacia el norte y oeste del área de evaluación se presentan anticlinales y sinclinales de orientación andina NW-SE que afectan a las rocas Mesozoicas.

II.3. INTRUSIVOS

Hacia el sureste del área de estudio en las quebradas Tejas y Espinal, afloran stocks intrusivos de composición tonalita a granodiorita, las cuales están cubiertas por las tobas del grupo Nazca. Estos intrusivos corresponden a la súper unidad Incahuasi del Batolito de la Costa, de edad Cretácica superior.

III. ASPECTOS GEOLOGICOS LOCALES

Geomorfológicamente el área de estudio corresponde a la zona de la costa y presenta un relieve llano a moderado correspondiente a la zona de colinas y pampas costeras (Plano 2).

III.1. UNIDADES GEOLOGICAS LOCALES

A continuación se describe las principales unidades volcánicas tobáceas.



Afloran coronando en forma de relictos las colinas del área de estudio, se encuentran ligeramente inclinados teniendo una orientación general de noroeste a sureste con buzamientos de 10° - 15° SW estando erosionadas e interrumpidas por pequeñas fallas formando bloques definidos (Plano 2).

Estratigráficamente tiene espesores variables desde 5 a 75 m de espesor.

TOBAS ROSADAS

Afloran en dirección noreste a suroeste cubriendo en discordancia erosional a los volcánicos andesíticos y conglomerados descritos (Plano 2).

Se presentan en formas compactas y muy duras, estando conformada por paquetes de tonalidad pardusco a rosáceo conteniendo fenocristales de plagioclasas en una matriz fina de tonalidad rosada.

Estas tobas corresponderían a una toba de cristales.



Foto 1. Afloramiento de las tobas rosadas

TOBAS BLANCAS

Su distribución es similar al de las tobas grises (Plano 2). Descansa sobre las tobas grises y dichas tobas blanquecinas debido a la meteorización presentan tonalidades rojizas.



Corresponden a tobas que contienen fragmentos piroclásticos de variados tamaños de restos de tobas rosadas.

Constituye las tobas de interés en el presente estudio.

Conforman las partes altas de las colinas presentes en forma de relictos de la intensa erosión.

La orientación general de los pseudo estratos de las unidades tobaceas es noreste a sureste con buzamientos subhorizontales de 10°-15° al Suroeste.



Foto 2. Afloramiento de las tobas blancas

TOBAS GRISES

Se presentan en la transición de las tobas rosadas a las tobas blancas, su distribución es de orientación noreste a suroeste y constituye la base de las tobas blancas (Plano 2).

Corresponden a tobas con fragmentos piroclásticos de variado tamaño de tobas principalmente rosadas.

Hacia el sector oeste se presentan las tobas formando pequeñas colinas en forma relictica debido a la intensa erosión, rodeados por material aluvional (Plano 2).



Foto 3. Afloramiento de las tobas grises

III.2. ESTRUCTURAL

En el área cartografiada se presenta un sistema de fallas principales de orientación general noreste a suroeste subverticales y un sistema noroeste a sureste de menor influencia. El sistema noreste controla la formación de las quebradas principales como Cabo Blanco, Tejas y Espinal (Plano 2). El sistema noroeste a sureste corta y desplaza a las unidades tobaceas.

III.3. ASPECTOS PETROGRAFICOS

A continuación se describe las características macroscópicas de las litologías observadas.

TOBAS ROSADAS

Macroscópicamente presenta grano fino conteniendo cuarzo, plagioclasas y biotita negra. Presenta fragmentos líticos de hasta 2 cm subangulosas de tonalidad pardusca. Es masiva, dura y compacta. Su composición macroscópica corresponde a una toba traquítica.



Foto 4. Aspecto petrográfico de la toba rosada

TOBAS BLANCAS

Macroscópicamente presenta grano fino conteniendo cuarzo, plagioclasas y biotita negra. Presenta fragmentos líticos de hasta 1 cm subangulosas de tonalidad pardusca. Es masiva, dura y compacta. Su composición macroscópica corresponde a una toba dacítica a riolítica. Intemperizan a tonalidades rojizas.



Foto 5. Aspecto petrográfico de la toba blanca

TOBAS GRISES

Macroscópicamente presenta grano fino conteniendo cuarzo, plagioclasas y biotita negra. Presenta fragmentos líticos de hasta 1 cm subangulosas de tonalidad pardusca. Es masiva, dura y compacta. Su composición macroscópica corresponde a una toba dacítica a riolítica.



Foto 6. Aspecto petrográfico de la toba gris

IV. TOMA DE MUESTRAS DE LAS TOBAS

En el área de estudio de acuerdo a la litología, texturas y composición se han diferenciado los paquetes de tobas, teniéndose tobas rosadas, blancas y grises de interés en el presente estudio (Plano 2).

A continuación se describen las características de los afloramientos de las tobas muestreadas.

IV.1. MUESTREO

De acuerdo a las características de los afloramientos, se delinea la toma de muestras distribuidas en los sectores donde afloran las tobas rosadas, blancas y grises.

Se recolectaron 3 muestras representativas (Plano 2) de fragmentos de roca (rock chip) del paquete tobáceo, de 50 Kg. cada muestra para las diferentes pruebas, análisis químicos y petrográficos respectivos.



En la Tabla 1 se indica la ubicación y la descripción macroscópica de las muestras de las tobas.

MUESTRAS	COORDENADAS		DESCRIPCION MACROSCOPICA
	E	N	
M-A	349538	8584974	Toba rosada de grano fino contiene cuarzo, plagioclasas y biotita negra. Presenta fragmentos líticos de hasta 2 cm subangulosos de tonalidad pardusca. Masiva, dura y compacta.
M-B	349507	8584943	Toba blanquecina de grano fino contiene cuarzo, plagioclasas y biotita negra. Presenta fragmentos líticos (<5%) de hasta 2 cm subangulosos de tonalidad pardusca y otras grises.
M-C	349068	8580993	Toba gris de grano fino contiene cuarzo, plagioclasas y biotita negra. Presenta fragmentos líticos mm. Intemperiza a tonalidades rojizas.

Tabla 1. Ubicación y descripción de las muestras de tobas volcánicas



Foto 1. Toma de muestras de las tobas

IV.2. ANALISIS QUIMICOS DE ELEMENTOS MAYORES

Los valores obtenidos de los análisis químicos de los elementos son bastante homogéneos presentando mínimas variaciones, mostrados en la Tabla 2.

Los valores promedios obtenidos para el paquete de tobas rosadas (M-A) son: SiO₂ (66.42%), Al₂O₃ (16.69%), Fe₂O₃ (4.82%), CaO (3.18%), MgO (1.14%), K₂O (3.12%), Na₂O (3.70%) y TiO₂ (0.28 %) (Tabla 2).



Los valores promedios obtenidos para el paquete de tobas blanquecinas (M-B) son: SiO_2 (88.34%), Al_2O_3 (16.92%), Fe_2O_3 (4.73%), CaO (2.96%), MgO (1.26%), K_2O (3.24%), Na_2O (3.63%) y TiO_2 (0.31 %) (Tabla 2).

Los valores promedios obtenidos para el paquete de tobas grises (M-C) son: SiO_2 (88.23%), Al_2O_3 (16.58%), Fe_2O_3 (5.11%), CaO (3.13%), MgO (1.12%), K_2O (3.21%), Na_2O (3.68%) y TiO_2 (0.29 %) (Tabla 2).

Elementos	M-A (Toba)	M-B (Toba)	M-C (Toba)
% SiO_2	66.42	66.34	66.23
% Al_2O_3	16.69	16.92	16.58
% Fe_2O_3	4.82	4.73	5.11
% CaO	3.18	2.96	3.13
% MgO	1.14	1.26	1.12
% Na_2O	3.70	3.63	3.68
% K_2O	3.12	3.24	3.21
% TiO_2	0.28	0.31	0.29
% H_2O	0.52	0.49	0.51
Mn(ppm)	1100	1000	1200
Cu(ppm)	132	121	129
Pb(ppm)	94	86	89
Zn(ppm)	17	15	16

Tabla 2. Resultados de los análisis químicos

IV.3. ESTIMACION DE RECURSOS

De acuerdo al plano geológico (Plano 2) se estima que el tonelaje de material tobaceo son millones de toneladas, los espesores de los paquetes tobaceos son variables desde 5 a 100 m.

En el sector sur los afloramientos de las tobas grises y blancas son los más accesibles situados prácticamente al borde de carretera.

V. ANALISIS MINERALOGICO MEDIANTE DRX

Se han realizado los análisis respectivos para determinar la composición mineralógica mediante DRX, asimismo se han estimado los contenidos en amorfos.



En las Tablas 3 se dan los resultados de los análisis mineralógicos mediante DRX.

TOBAS	Rosadas (M-A)	Grises (M-C)	Blancas (M-B)
Nº muestras	1	1	1
Amorfos (%)	7.38	12.56	10.57
Cuarzo (%)	25.49	28.23	26.33
Sanidina (%)	12.09	19.14	18.91
Anortita (%)	4.99	3.83	3.76
Albita (%)	10.94	9.24	9.31
Muscovita (%)	1.48	0.79	0.93
Labradorita (%)	18.64	18.61	19.87
Ortoclasa (%)	17.20	17.49	16.04
Hematita (%)	0.63	0.70	0.76
Clinoptolita (%)	1.18	1.79	1.96

Tabla 3. Valores promedios de la mineralogía y amorfos de las tobas.

Se observa que las tobas grises y blancas tienen contenidos ligeramente más altos en amorfos.

Las tobas están constituidas fundamentalmente por cuarzo, plagioclasas, feldespatos y micas alcanzando el 95 % de las muestras (Tabla 4). De acuerdo a esta composición las tobas serían de *composición riolítica*.

TOBAS	Rosadas (M-A)	Grises (M-C)	Blancas (M-B)
Cuarzo (%)	25.49	28.23	26.33
Plagioclasas (%)	34.57	31.68	32.94
Feldespatos (%)	29.29	36.63	34.95
Micas (%)	1.48	0.79	0.93
Total (%)	90.83	95.33	95.15

Tabla 4. Resumen de la mineralogía promedio de las tobas.

VI. ANALISIS DE LA ACTIVIDAD PUZOLANICA Y DENSIDAD

Se han realizado los análisis de la actividad puzolanica a 7 y 28 días respectivamente y las densidades de las muestras (Tabla 5).



TOBAS	Rosadas (M-A)	Grises (M-C)	Blancas (M-B)
N° muestras	1	1	1
Act. Puzolanica (7 días)	89.40	65.88	65.12
Act. Puzolanica (28 días)	89.90	67.00	65.85
Densidad	2.60	2.61	2.57

Tabla 5. Actividad puzolanica y densidad promedio de las tobas.

Los valores promedios de actividad puzolanica a 7 días muestran que las tobas blancas y grises tienen los mismos valores (65) mientras que las tobas rosadas tienen valores ligeramente superiores (69).

A los 28 días los valores de actividad puzolanica muestran valores ligeramente más altos para las tobas rosadas (89.90), seguido de las grises (67.00) y las blancas (65.85).

Hay que señalar que los valores obtenidos del índice de actividad puzolanica se encuentran por debajo de los valores mínimos (75%) indicados por la Norma ASTM C 595.

Con relación a las densidades las tobas prácticamente presentan los mismos valores de 2.60.

CONCLUSIONES

* Las tobas estudiadas corresponden a rocas volcánicas tobáceas localizadas en la hoja 26k de Lunahuana, distante a 12 km en línea recta al norte del poblado de Quilmana de la provincia de Cañete del departamento de Lima.

* Los afloramientos está conformada principalmente por tobas grises, blancas y rosadas. Esta secuencia corresponde a la formación Nazca de edad Miocénica.

* Las tobas afloran coronando en forma de relictos las colinas del área de estudio, se encuentran ligeramente inclinados teniendo una orientación general de noroeste a sureste con buzamientos de 10°-15°SW estando erosionadas e interrumpidas por pequeñas fallas formando bloques definidos.



* Las tobas grises y blancas macroscópicamente presenta grano fino conteniendo cuarzo, plagioclasas y biotita negra. Presenta fragmentos líticos de hasta 1 cm subangulosas de tonalidad pardusca. Es masiva, dura y compacta. Su composición corresponde a una toba dacítica a riolítica.

* Se observa que las tobas grises y blancas tienen contenidos ligeramente más altos en amorfos. Las tobas están constituidas fundamentalmente por cuarzo, plagioclasas, feldespatos y micas alcanzando el 95 % de las muestras. De acuerdo a esta composición las tobas serian de **composición riolítica**.

* Hay que señalar que los valores obtenidos del índice de actividad puzolanica (65-70%) se encuentran por debajo de los valores mínimos (75%) indicados por la Norma ASTM C 595. Sin embargo pueden eventualmente servir para realizar mezclas con materiales con alta actividad puzolanica.

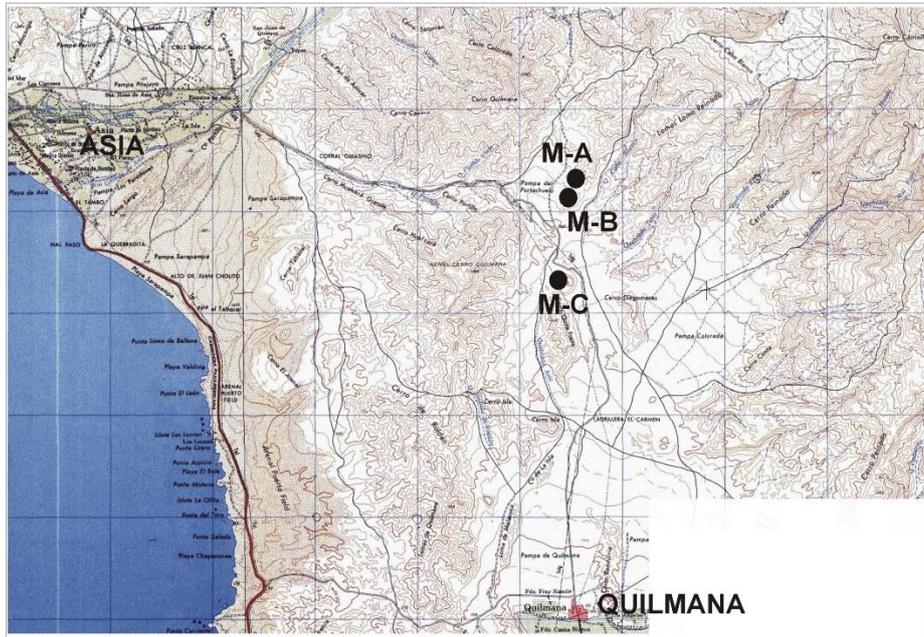
* Los valores promedios obtenidos para el paquete de tobas rosadas (M-A) son: SiO₂ (66.42%), Al₂O₃ (16.69%), Fe₂O₃ (4.82%), CaO (3.18%), MgO (1.14%), K₂O (3.12%), Na₂O (3.70%) y TiO₂ (0.28 %). Para las tobas blanquecinas (M-B): SiO₂ (66.34%), Al₂O₃ (16.92%), Fe₂O₃ (4.73%), CaO (2.96%), MgO (1.26%), K₂O (3.24%), Na₂O (3.63%) y TiO₂ (0.31 %) y para las tobas grises (M-C): SiO₂ (66.23%), Al₂O₃ (16.58%), Fe₂O₃ (5.11%), CaO (3.13%), MgO (1.12%), K₂O (3.21%), Na₂O (3.68%) y TiO₂ (0.29 %).

* Con relación a las densidades las tobas prácticamente presentan los mismos valores de 2.60.

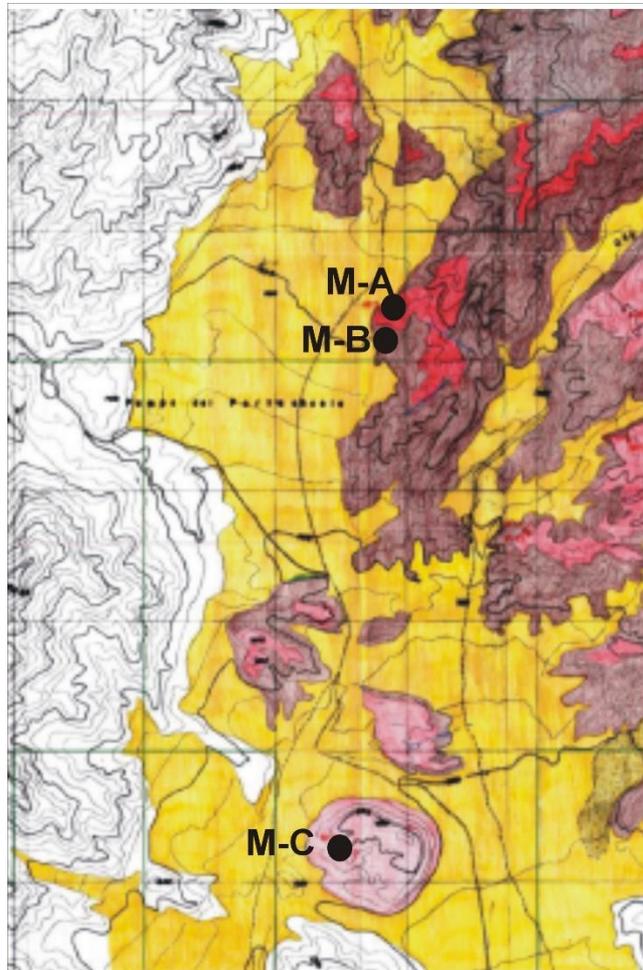
* Las tobas grises y blancas son los más accesibles situados prácticamente al borde de carretera. Para las **tobas grises y blanquecinas** los recursos estimados alcanzan varios millones de toneladas.

Lima, 20 de Mayo del 2018.

Dr. Ing. Rolando Carrascal Miranda
GEO BLUE STAR SAC
Gerente



Plano 1. Ubicación de los afloramientos de las tobas



Plano 2. Plano geológico de las tobas y muestras tomadas.

8.4. Análisis geoquímicos de muestras de roca volcánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA
LABORATORIO DE ESPECTROMETRÍA

ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE TRES MUESTRAS DE ROCAS

SOLICITADO : HEINER SALAZAR MARQUEZ
Procedencia de muestras : Quilmaná –Cañete - Lima
Recepción de muestras : Lima, 21 de Mayo del 2018

RESULTADO DEL ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE ROCAS

Elementos	M-A (Toba)	M-B (Toba)	M-C (Toba)
% SiO ₂	66.42	66.34	66.23
% Al ₂ O ₃	16.69	16.92	16.58
% Fe ₂ O ₃	4.82	4.73	5.11
% CaO	3.18	2.96	3.13
% MgO	1.14	1.26	1.12
% Na ₂ O	3.70	3.63	3.68
% K ₂ O	3.12	3.24	3.21
% TiO ₂	0.28	0.31	0.29
% H ₂ O	0.52	0.49	0.51
Mn(ppm)	1100	1000	1200
Cu(ppm)	132	121	129
Pb(ppm)	94	86	89
Zn(ppm)	17	15	16

Lima, 5 de Junio del 2018


MSc. Atilio Marrozzán
Jefe Lab. Espectrometría



Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

8.5. Ensayos de caracterización de los agregados



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Solicitante: Bach. Heiner Iván Salazar Márquez				Muestra: Cantera Quilmaná - Cañete						
Proyecto: Efectos del concreto ligero con agregado de roca volcánica en la fabricación de postes en el Perú				Responsable: J.E.D.G.						
				Fecha: 19/05/2018						
PLANILLA DE DATOS : AGREGADO GRUESO										
1. CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO ASTM C-70				2. GRANULOMETRIA - MODULO DE FINEZA ASTM C-136						
Peso Humedo (g)	Peso Seco (g)	Contenido de Humedad (%)	Promedio Humedad (%)	Tamices		%				
				Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido	Acumulado Retenido	Que Pasa		
3435	3395	1.18	1.17	1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
3465	3425	1.17		1"	25.00	539.00	30.85	30.85	69.15	
3. PESO UNITARIO SUELTO DE AGREGADO GRUESO ASTM C-29				3/4"	19.00	569.00	32.57	63.42	36.58	
Peso Muestra + Molde (g)	Peso Molde (g)	Peso Muestra Suelto (g)	Volumen de Molde (cm ³)	Peso Unitario Suelto (g/cm ³)	1/2"	12.50	433.00	24.79	88.21	11.79
5758	2717	3041	2800	1.09	3/8"	9.50	98.00	5.61	93.82	6.18
5750	2717	3033	2800	1.08	1/4"	6.30	56.00	3.21	97.02	2.98
Promedio de Peso Unitario Suelto				1.085	N°4	4.75	32.00	1.83	98.86	1.14
4. PESO UNITARIO COMPACTO DE AGREG. GRUESO ASTM C-29				Fondo		20.00	1.14	100.00	0.00	
Peso Muestra + Molde (g)	Peso Molde (g)	Peso Muestra Compacto (g)	Volumen de Molde (cm ³)	Peso Unitario Compacto (g/cm ³)	Σ	1747.00				
6087	2717	3370	2800	1.20	Peso Inicial	1747.00				
6103	2717	3386	2800	1.21	% Error	0.00				
Promedio de Peso Unitario Compacto				1.206	Modulo de Fineza	7.56				
5. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO ASTM C-127										
Peso en aire de muestra saturada (B)	Peso en el agua de la muestra (C)	Peso en el aire de la muestra seca al horno (A)	P.E. de la masa (A/(B-C))	P.E. SSS (B/(B-C))	P.E. Aparente (A/(A-C))	Absorcion (%) ((B-A)/A)*100				
1059.00	588.40	978.00	2.08	2.25	2.51	8.28				
1069.00	598.40	988.00	2.10	2.27	2.54	8.20				
Promedio de Peso Especifico a Absorcion			2.09	2.26	2.52	8.24				

Julio E. Diaz Gutierrez



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Solicitante: Bach. Heiner Iván Salazar Márquez					Muestra: Cantera Carabayillo					
Proyecto: Efectos del concreto ligero con agregado de roca volcánica en la fabricación de postes en el Perú					Responsable: J.E.D.G.					
					Fecha: 19/05/2018					
PLANILLA DE DATOS : AGREGADO FINO										
1. CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO ASTM C-70				2. GRANULOMETRIA - MODULO DE FINEZA ASTM C-136						
Peso Humedo (g)	Peso Seco (g)	Contenido de Humedad (%)	Promedio Humedad (%)	Tamices	Peso Retenido (g)	% Retenido Acumulado Que Pasa				
2981	2941	1.36	1.35	N°4	9.00	1.80 1.80 98.20				
3019	2979	1.34		N°8	2.36	56.00 11.20 13.00 87.00				
3. PESO UNITARIO SUELTO DE AGREGADO FINO ASTM C-29				N°16	1.18	120.00 24.00 37.00 63.00				
Peso Muestra + Molde (g)	Peso Molde (g)	Peso Muestra Suelto (g)	Volumen de Molde (cm ³)	Peso Unitario Suelto (g/cm ³)	N°30	0.60 137.00 27.40 64.40 35.60				
6943	2717	4226	2800	1.51	N°50	0.30 89.00 17.80 82.20 17.80				
6969	2717	4252	2800	1.52	N°100	0.15 52.00 10.40 92.60 7.40				
Promedio de Peso Unitario Suelto				1.514	N°200	0.075 20.00 4.00 96.60 3.40				
4. PESO UNITARIO COMPACTO DE AGREGADO FINO ASTM C-29				Fondo		17.00 3.40 100.00 0.00				
Peso Muestra + Molde (g)	Peso Molde (g)	Peso Muestra Compacto (g)	Volumen de Molde (cm ³)	Peso Unitario Compac. (g/cm ³)	Σ	500.00				
7380	2717	4663	2800	1.67	Peso Inicial	500.00				
7424	2717	4707	2800	1.68	% Error	0.00				
Promedio de Peso Unitario Compacto				1.673	Modulo de Fineza	2.91				
5. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO ASTM C-127										
Peso frasco 1	Peso Suelo SSS (2)	Peso frasco + Peso suelo SSS 3	Peso frasco + agua + SSS (4)	Volumen Agua (4-3) (5)	Peso Suelo Seco 6	Vol. de muestra (2-5) (7)	P.E. de la masa (6)/(2-5)	P.E. SSS (2)/(2-5)	P.E. Aparente (6)/((2-5)-(2-6))	Absorcion (%) ((2-6)/6)*100
154.00	500.00	654.00	966.00	312.00	493.29	305.29	2.62	2.66	2.72	1.36
154.00	500.00	654.00	966.00	312.00	493.29	305.29	2.62	2.66	2.72	1.36
Promedio de Peso Especifico a Absorcion							2.62	2.66	2.72	1.36

Heiner
JULIO E. DÍAZ GUTIERREZ



 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LIM *Margarita Boza Olaeche*
 INGENIERA CIVIL
 CIP 80500

8.6. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto ligero



LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES

Solicitante:		Bach. Heiner Iván Salazar Márquez				Muestra:		Probetas de concreto con roca volcánica					
Proyecto:		Efectos del concreto ligero con agregado de roca volcánica en la fabricación de postes en el Perú				Responsable:		J.E.D.G.					
						Fecha:		12/06/2018					
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NTP 339.034													
Tipo de fractura													
Edad (Días)	Dosif. N°	Identificación de la muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga Máxima de rotura (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Promedio Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Tipo de fractura					
7	1	1-1a	10	20	21024	267.69	263.95	5					
		1-1b	10	20	20489	260.87		5					
		1-1c	10	20	20680	263.31		4					
	2	2-1a	10	20	21146	269.24	267.58	4					
		2-1b	10	20	21048	267.99		5					
		2-1c	10	20	20854	265.52		5					
	3	3-1a	10	20	20140	256.43	257.34	2					
		3-1b	10	20	20552	261.68		2					
		3-1c	10	20	19943	253.92		4					
14	1	1-2a	10	20	23146	294.70	294.77	4					
		1-2b	10	20	22940	292.08		5					
		1-2c	10	20	23368	297.53		5					
	2	2-2a	10	20	24773	315.42	311.77	1					
		2-2b	10	20	24580	312.96		4					
		2-2c	10	20	24106	306.93		3					
	3	3-2a	10	20	22278	283.65	288.90	2					
		3-2b	10	20	22146	281.97		1					
		3-2c	10	20	23646	301.07		2					
21	1	1-3a	10	20	26404	336.19	338.64	6					
		1-3b	10	20	26894	342.42		4					
		1-3c	10	20	26492	337.31		3					
	2	2-3a	10	20	26853	341.90	343.43	5					
		2-3b	10	20	27224	346.63		3					
		2-3c	10	20	26842	341.76		5					
	3	3-3a	10	20	26543	337.96	334.33	3					
		3-3b	10	20	26018	331.27		1					
		3-3c	10	20	26214	333.77		2					
28	1	1-4a	10	20	28462	362.39	361.01	3					
		1-4b	10	20	27996	356.46		4					
		1-4c	10	20	28603	364.18		3					
	2	2-4a	10	20	28894	367.89	366.78	5					
		2-4b	10	20	29103	370.55		3					
		2-4c	10	20	28424	361.90		4					
	3	3-4a	10	20	27683	352.47	354.20	4					
		3-4b	10	20	27762	353.48		4					
		3-4c	10	20	28012	356.66		2					

JULIO E. DIAZ GUINACA



8.7. Ensayo de caracterización del concreto



LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES

Solicitante:		Bach. Heiner Iván Salazar Márquez			Muestra:		Concreto con rocas volcánica. Dosif. 1	
Proyecto:		Efectos del concreto ligero con agregado de roca volcánica en la fabricación de postes en el Perú			Responsable:		J.E.D.G.	
					Fecha:		12/06/2018	
PESO ESPECÍFICO, DENSIDAD ASTM C-127								
Edad (días)	Identificación de la Probeta	B (gr)	C (gr)	A (gr)	Peso Específico del concreto (a) (A/(B-C))	Peso Específico Promedio del concreto	Densidad Seca del Concreto (kg/m³) (a x 997.5)	Densidad Seca Promedio del Concreto (kg/m³)
28	1-4a	657	380	543	1.96	2.00	1955.39	1999.52
	1-4b	708	418	591	2.04		2032.84	
	1-4c	499	304	393	2.02		2010.35	

Donde:

- A: Peso en el aire de la muestra seca al horno
- B: Peso en el aire de muestra saturada
- C: Peso en el agua de la muestra


Julio E. Diaz G.




Margarita Boza Olaechea
INGENIERA CIVIL
CIP. 80500

	ESPECIFICACION TECNICA	Código:	ET-001
	POSTES DE CONCRETO ARMADO	Versión:	01/25-03-17
		Página:	1 de 2

**TABLA DE DATOS TÉCNICOS PARA POSTES DE CONCRETO ARMADO 9/200/CS/120/255
ITEM SAP: 240059**

ITEM	CARACTERÍSTICAS	UNID.	VALOR REQUERIDO	VALOR GARANTIZADO
POSTES DE CONCRETO ARMADO				
1	Pais de Procedencia			Peru
2	Fabricante			Concreto Centrifugado Peru S.A.C
3	Proceso de fabricación		NTP 339.027	NTP 339.027
4	Longitud del poste	m	9	9
5	Resistencia mínima a la compresión del concreto a los 28 días.	MPa	28	35
6	Carga de trabajo	daN	200	200
7	Coefficiente de seguridad (CS)		2 ó 3 (Ver Nota 1)	2
8	Resistencia en la punta	kg	(Indicar)	400
9	Diámetro en la punta	mm	120	120
10	Diámetro en la base	mm	255	255
11	Volumen de concreto por poste	m3	(Indicar)	0.36
12	Peso total de cada poste	Kg	(Indicar)	550
13	Tipo de Cemento		Portland Tipo I	Portland Tipo I
14	Unión de varillas longitudinales y transversales		Mediante ataduras de alambre	Mediante ataduras de alambre
			Soldadas (maximo 2 puntos p/u)	Soldadas (maximo 2 puntos p/u)
15	Aditivo inhibidor de corrosión			
	Se usará aditivo inhibidor de corrosión		Si ó No (Ver Nota 2)	Si ó No (Ver Nota 2)
	Tipo de Aditivo Inhibidor de corrosión		Compuesto químico de base orgánica que se adiciona durante el mezclado del concreto para proteger al acero de refuerzo de la corrosión	Compuesto químico de base orgánica que se adiciona durante el mezclado del concreto para proteger al acero de refuerzo de la corrosión
	Presentar las Especificaciones Técnicas del aditivo inhibidor a utilizar, emitidos por su fabricante, y toda la información requerida en el punto 4.3.		SI	SI
	Marca de aditivo inhibidor propuesto		(Indicar)	Chema
	Dosis de aditivo garantizada, según indicaciones del fabricante para ambiente agresivo	litros/m3	(Indicar)	9 lt/m3
16	Recubrimiento protector exterior hasta un metro por encima de la línea de empotramiento.		Una capa de silano – siloxano (hidrófugo) y una capa de pintura acrílica metacrilato de metilo.	Una capa de silano – siloxano (hidrófugo) y una capa de pintura acrílica metacrilato de metilo.
17	Con perilla de concreto.		Si ó No (Ver Nota 5)	Si ó No (Ver Nota 5)
18	Detalle de huecos		Ver planos adjunto y Nota 3	Ver planos adjunto y Nota 3
19	Rotulado		Bajo relieve, según planos adjuntos	Bajo relieve, según planos adjuntos
20	Presentar plano a escala con el detalle de la armadura de los postes.		SI, obligatoriamente (Ver Nota 4)	SI, obligatoriamente (Ver Nota 4)
21	Acabado		superficie limpia, fina libre de resanes y fisuras (Según el numeral 5.1 de la Norma NTP 339.027)	superficie limpia, fina libre de resanes y fisuras (Según el numeral 5.1 de la Norma NTP 339.027)
22	Recubrimiento mínimo sobre la armadura	mm	15	15
23	Certificado de garantía de calidad técnica	Años	2	2
24	Certificado de garantía de vida útil	Años	20	20

NOTAS:

- Por defecto el CS=2; el usuario podrá seleccionar un CS=3 en función a sus necesidades.
- Por defecto los postes deberán ser fabricados con aditivo inhibidor de corrosión, sin embargo, el usuario puede retirar este requerimiento en las Tablas de Datos Técnicos, en función a las características de la zona donde se instalarán los postes. Cuando se requiera aditivo inhibidor la dosis garantizada deberá ser la formulada para ambientes agresivos en las Especificaciones Técnicas del fabricante del Aditivo Inhibidor.
- Los planos mostrados, solo son referenciales, debiendo el usuario definir los detalles de agujeros en función al uso del poste y a las distancias mínimas de seguridad.
- El plano a presentar deberá indicar claramente la cantidad de varillas de acero longitudinales y transversales, sus diámetros nominales y sus longitudes, para todos los tramos de refuerzo considerados.
- Por defecto los postes no llevarán perilla de concreto, sin embargo, el usuario puede incluir como requerimiento en las Tablas de Datos Técnicos, la colocación de una perilla de concreto de las dimensiones adecuadas, para prevenir el acumulamiento de agua y/o substancias extrañas que pueden dañar el extremo superior del poste.
- Los postores deberán consignar obligatoriamente todos los valores garantizados.

CONCRETO CENTRIFUGADO PERU S.A.C.
 Calle Comercio 1200 - Lima 1, Perú
 Teléfono: 011 476 1111 - 476 1112
 E-mail: info@concreto-peru.com

FIRMA Y SELLO DEL FABRICANTE

	ESPECIFICACION TECNICA	Código:	ET-001
	POSTES DE CONCRETO ARMADO	Versión:	01/25-03-17
		Página:	1 de 2

TABLA DE DATOS TÉCNICOS PARA POSTES DE CONCRETO ARMADO 11/300/CS/150/315
ITEM SAP: 240044

ITEM	CARACTERÍSTICAS	UNID.	VALOR REQUERIDO	VALOR GARANTIZADO
POSTES DE CONCRETO ARMADO				
1	País de Procedencia			Peru
2	Fabricante			Concreto Centrifugado Peru S.A.C.
3	Proceso de fabricación		NTP 339.027	NTP 339.027
4	Longitud del poste	m	11	11
6	Resistencia mínima a la compresión del concreto a los 28 días.	MPa	28	28
8	Carga de trabajo	daN	300	300
7	Coefficiente de seguridad (CS)		2 ó 3 (Ver Nota 1)	2
8	Resistencia en la punta	Kg	(Indicar)	600
9	Diámetro en la punta	mm	150	150
10	Diámetro en la base	mm	285	285
11	Volumen de concreto por poste	m ³	(Indicar)	0.61
12	Peso total de cada poste	Kg	(Indicar)	1050
13	Tipo de Cemento		Portland Tipo I	Portland Tipo I
14	Unión de varillas longitudinales y transversales		Mediante ataduras de alambre	Mediante ataduras de alambre
			Soldadas (maximo 2 puntos plu)	Soldadas (maximo 2 puntos plu)
16	Aditivo inhibidor de corrosión			
	Se usará aditivo inhibidor de corrosión		Si ó No (Ver Nota 2)	Si ó No (Ver Nota 2)
	Tipo de Aditivo Inhibidor de corrosión		Compuesto químico de base orgánica que se adiciona durante el meclado del concreto para proteger al acero de refuerzo de la corrosión	Compuesto químico de base orgánica que se adiciona durante el meclado del concreto para proteger al acero de refuerzo de la corrosión
	Presentar las Especificaciones Técnicas del aditivo inhibidor a utilizar, emitidos por su fabricante, y toda la información requerida en el punto 4.3.		SI	SI
	Marca de aditivo inhibidor propuesto		(Indicar)	Chema
	Dosis de aditivo garantizada, según indicaciones del fabricante para ambiente agresivo	litros/m ³	(Indicar)	9 lts/m ³
16	Recubrimiento protector exterior hasta un metro por encima de la línea de empotramiento.		Una capa de silano - siloxano (hidrófugo) y una capa de pintura acrílica metacrilato de malla.	Una capa de silano - siloxano (hidrófugo) y una capa de pintura acrílica metacrilato de malla.
17	Con perfil de concreto.		Si ó No (Ver Nota 5)	Si ó No (Ver Nota 5)
18	Detalle de huecos		Ver planos adjunto y Nota 3	Ver planos adjunto y Nota 3
19	Rotulado		Bajo relieve, según planos adjuntos	Bajo relieve, según planos adjuntos
20	Presentar plano a escala con el detalle de la armadura de los postes.		SI (Ver Nota 4)	SI (Ver Nota 4)
21	Acabado		superficie limpia, fina libre de resanes y fisuras (Según el numeral 5.1 de la Norma NTP 339.027)	superficie limpia, fina libre de resanes y fisuras (Según el numeral 5.1 de la Norma NTP 339.027)
22	Recubrimiento mínimo sobre la armadura	mm	15	15
23	Certificado de garantía de calidad técnica	Años	2	2
24	Certificado de garantía de vida útil	Años	20	20

NOTAS:

- Por defecto el CS=2; el usuario podrá seleccionar un CS=3 en función a sus necesidades.
- Por defecto los postes deberán ser fabricados con aditivo inhibidor de corrosión, sin embargo, el usuario puede retirar este requerimiento en las Tablas de Datos Técnicos, en función a las características de la zona donde se instalarán los postes. Cuando se requiera aditivo inhibidor la dosis garantizada deberá ser la formulada para ambientes agresivos en las Especificaciones Técnicas del fabricante del Aditivo Inhibidor.
- Los planos mostrados, solo son referenciales, debiendo el usuario definir los detalles de agujeros en función al uso del poste y a las distancias mínimas de seguridad.
- El plano a presentar deberá indicar claramente la cantidad de varillas de acero longitudinales y transversales, sus diámetros nominales y sus longitudes, para todos los tramos de refuerzo considerados.
- Por defecto los postes no llevarán perfil de concreto, sin embargo, el usuario puede incluir como requerimiento en las Tablas de Datos Técnicos, la colocación de una perilla de concreto de las dimensiones adecuadas, para prevenir el acumulación de agua y/o sustancias extrañas que puedan dañar el extremo superior del poste.
- Los postores deberán consignar obligatoriamente todos los valores garantizados.

CONCRETO CENTRIFUGADO PERU S.A. S.
 Calle 10 de Agosto 2200, Lima 18100
 Teléfono: 476 2200, 476 2201, 476 2202
 Fax: 476 2203

FIRMA Y SELLO DEL FABRICANTE



**COMPAÑÍA
MAGRA S.A.C.**

COMPROMETIDOS
CON SU CRECIMIENTO

**TABLA DE DATOS TÉCNICAS DE POSTES DE C.A.C.
DE 11.00/400/2/150/345 C/PERILLA**

ITEM	CARACTERÍSTICAS	UNID.	VALOR GARANTIZADO
	POSTES DE CONCRETO ARMADO		
1	País de Procedencia		PERU
2	Fabricante		MAGRA
3	Proceso de fabricación		NTP 339.027
4	Longitud del poste	m	11
5	Resistencia mínima a la compresión del concreto a los 28 días	MPa	28
6	Carga de trabajo	daN	400
7	Coefficiente de seguridad (C5)		2
8	Diámetro en la punta	mm	150
9	Diámetro en la base	mm	315
10	Volumen de concreto por poste	m ³	0.48
11	Peso total de cada poste	Kg	1150
12	Tipo de Cemento		Pórtland Tipo I
13	Unión de varillas longitudinales y transversales		Mediante ataduras de alambre
			Soldadas (maximo 2 puntos plu)
14	Aditivo inhibidor de corrosión		
	Se usará aditivo inhibidor de corrosión		Si
	Tipo de Aditivo Inhibidor de corrosión		Compuesto químico de base orgánica que se adiciona durante el mezclado del concreto para proteger al acero de refuerzo de la corrosión CHEMANHIBIDOR
	Presentar las Especificaciones Técnicas del aditivo inhibidor a utilizar, emitidos por su fabricante, y toda la información requerida en el punto 4.3.		Si.
	Aplicación de pintura color rojo EPOXICA		Si (dos franjas)
	Dosis de aditivo garantizada, según indicaciones del fabricante para ambiente agresivo	litros/ m ³	9 lts/m ³
15	Recubrimiento protector exterior hasta un metro por encima de la línea de empotramiento.		Una capa de silano - siloxano (hidrófugo) y una capa de pintura acrílica metacrilato de metila CHEMA BETUMEN.
16	Con perilla de concreto.		Si
17	Detalle de huecos		Según plano cliente
18	Rotulado		GTD
19	Presentar plano a escala con el detalle de la armadura de los postes.		Si, obligatoriamente
20	Acabado		superficie limpia, una libre de resacas y fisuras (Segun el numeral 5.1 de la Norma NTP
21	Recubrimiento mínimo sobre la armadura	mm	15
22	Certificado de garantía de calidad técnica	Años	2
23	Certificado de garantía de vida útil	Años	20

COMPANÍA MAGRA S.A.C.
Yuly Gombardi Suarez
GERENTE GENERAL

Mza. K Lote. 138 Urb. Leoncio Prado Oeste
(Km. 34 Panam. Norte Paradero Fundición)
Lima - Lima - Puente Piedra

Tel: +511 527 4267 RPM: #950821190
RPC: 991236688 / 958053000
Nextel: +511 956379962 Bitel: 931869843

yulyg@magrasac.com
ventas@magrasac.com
magrasac

www.magrasac.com



**COMPAÑÍA
MAGRA S.A.C.**
COMPROMETIDOS
CON SU CRECIMIENTO

**TABLA DE DATOS TÉCNICAS DE POSTES DE C.A.C.
DE 13.00/400/2/165/360 C/PERILLA**

ITEM	CARACTERÍSTICAS	UNID.	VALOR GARANTIZADO
	POSTES DE CONCRETO ARMADO		
1	País de Procedencia		PERU
2	Fabricante		MAGRA
3	Proceso de fabricación		NTP 339.027
4	Longitud del poste	m	13
5	Resistencia mínima a la compresión del concreto a los 28 días	MPa	28
6	Carga de trabajo	daN	400
7	Coefficiente de seguridad (CS)		2
8	Diámetro en la punta	mm	165
9	Diámetro en la base	mm	360
10	Volumen de concreto por poste	m ³	0.71
11	Peso total de cada poste	Kg	1700
12	Tipo de Cemento		Portland Tipo I
13	Unión de varillas longitudinales y transversales		Mediante atadores de alambre
			Soldadas (máximo 2 puntos por)
14	Aditivo inhibidor de corrosión		
	Se usará aditivo inhibidor de corrosión		Si
	Tipo de Aditivo Inhibidor de corrosión		Compuesto químico de base orgánica que se adiciona durante el mezclado del concreto para proteger el acero de refuerzo de la corrosión CHEM-INHIBIDOR
	Presentar las Especificaciones Técnicas del aditivo inhibidor a utilizar, emitidas por su fabricante, y toda la información requerida en el punto 4.3.		Si.
	Aplicación de pintura color rojo EPOXICA		Si (dos franjas)
	Dosis de aditivo garantizada, según indicaciones del fabricante para ambiente agresivo	litro/ m ³	9 litro/m ³
15	Recubrimiento protector exterior hasta un metro por encima de la línea de empotramiento.		Una capa de silano - siloxano (hidrófugo) y una capa de pintura acrílica metacrilato de metilo CHEMA BETUMEN.
16	Con perilla de concreto.		Si
17	Detalle de huecos		Según plano cliente
18	Rotuleado		GTD
19	Presentar plano a escala con el detalle de la armadura de los postes.		Si, obligatoriamente
20	Acabado		superficie lisa, sin libre de resacas y fisuras (Según el numeral 5.1 de la Norma NTP)
21	Recubrimiento mínimo sobre la armadura	mm	15
22	Certificado de garantía de calidad técnica	Años	2
23	Certificado de garantía de vida útil	Años	20



Av. K. Lino, 138 Lto. Lince Prado Oeste
(Av. 34 Paralela, Morle Paralela Fundación)
Lima - Lince - Puente Piedra

Tel: +511 527 4267 RPM: #950821190
RFC: 961236688 / 958853000
Web: +511 953378962 / Hot: 933869643

magra@magrasac.com
ventas@magrasac.com
magrasac

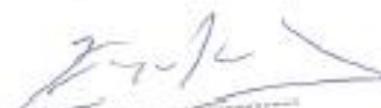
www.magrasac.com



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS – POSTES DE CONCRETO

P/C.A.C/J9/250/2/140/275

Nº	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR REQUERIDO	VALOR GARANTIZADO
1.0	Fabricante			VARIOS
2.0	Tipo		Centrifugado	Centrifugado
3.0	Normas de fabricación		INDECOPI NTP 339-027	INDECOPI NTP 339-027
4.0	Longitud del poste	m	9	9
5.0	Diámetro en la cima	mm	120	140
6.0	Diámetro en la base	mm	255	275
7.0	Carga de trabajo a 0,15 m de la cima	daN	200	250
8.0	Coefficiente de seguridad		2	2
9.0	Masa por unidad	kg	-	615
10.0	Identificación en bajo relieve		A 3,0 m de la base	A 3,0 m de la base

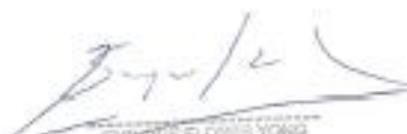

 ENID FLORES YUNG
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CP N° 15044



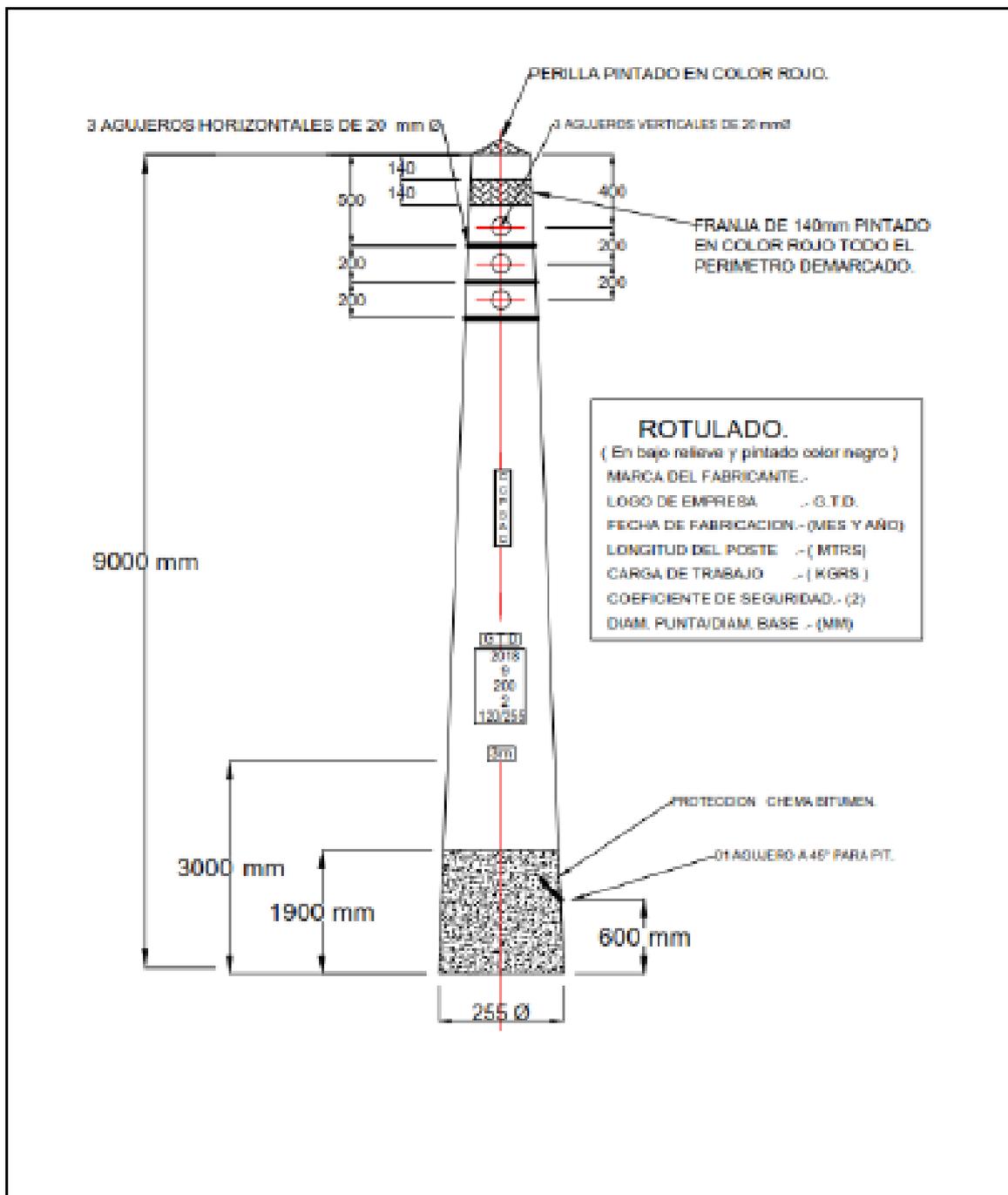
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS – POSTES DE CONCRETO

P/C.A.C./11/350/2/165/330

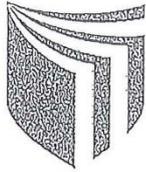
Nº	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR REQUERIDO	VALOR GARANTIZADO
1.0	Fabricante			VARIOS
2.0	Tipo		Centrifugado	Centrifugado
3.0	Normas de fabricación		INDECOPI NTP 339-027	INDECOPI NTP 339-027
4.0	Longitud del poste	m	11	11
5.0	Diámetro en la cima	mm	165	165
6.0	Diámetro en la base	mm	330	330
7.0	Carga de trabajo a 0,15 m de la cima	daN	300	350
8.0	Coefficiente de seguridad		2	2
9.0	Masa por unidad	kg	-	1315
10.0	Identificación en bajo relieve		A 3,0 m de la base	A 3,0 m de la base


 EVARISTO FLORES YANGA
 INGENIERO CIVIL,
 Reg. CP N° 125940

FICHA TÉCNICA			
ÍTEM	CARACTERÍSTICAS	UNID.	VALOR GARANTEADO
POSTES DE CONCRETO ARMADO			
1	País de Procedencia		Perú
2	Fabricante		
3	Proceso de fabricación		NTP 398.027
4	Longitud del poste	m	6
5	Resistencia mínima a la compresión del concreto a los 28 días.	MPa	20
6	Carga de trabajo	daN	100
7	Coefficiente de seguridad (CS)		1.4
8	Diámetro en la punta	mm	100
9	Diámetro en la base	mm	105
10	Volumen de concreto por poste	m ³	0.16
11	Peso total de cada poste	kg	100
12	Tipo de Cemento		Portland Tipo I
13	Unión de varillas longitudinales y transversales		Mediante ataduras de alambre
			Soldados (máximo 2 puntos p/v)
14	Aditivo inhibidor de corrosión		
	Se usará aditivo inhibidor de corrosión		SI
	Tipo de Aditivo inhibidor de corrosión		Compuesto químico de base orgánica que se adiciona durante el mezclado del concreto para proteger al acero de refuerzo de la corrosión
	Presentar las Especificaciones Técnicas del aditivo inhibidor a utilizar, emitidos por su fabricante, y toda la información requerida en el punto 4.3.		SI.
	Aplicación de pintura color rojo EPOXICA		SI (dos franjas)
	Dosis de aditivo garantada, según indicaciones del fabricante para ambiente agrícola	litros/m ³	9 (kg/m ³)
15	Acabado mínimo protector exterior hasta un metro por encima de la línea de empotramiento.		Una capa de sílice - síliceo (Máxíloq) y una capa de pintura acrílica matecolorado de resina.
16	Compartilla de concreto.		SI
17	Detalle de huecos		Ver planos adjunto
18	Rotulado		SI
19	Presentar plano a escala con el detalle de la armadura de los postes.		SI, obligatoriamente
20	Acabado		superficie lisa, fino fibra de resaca y fibra (Según el numeral 5.1 de la Norma NTP 398.027)
21	Acabado mínimo sobre la armadura	mm	25
22	Certificado de garantía de calidad técnica	Años	1
23	Certificado de garantía de vida útil	Años	20
Fecha	Versión	Preparado por	Aprobado por
08/02/2018	1.1	Área Planta Externa	Lista de Distribución



Fecha	Versión	Preparado por	Aprobado por
08/02/2018	1.1	Área Planta Externa	Lista de Distribución



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE
La Escuela de Ingeniería Civil

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

DAZDA MARQUEZ, HEIMER IVAN

INFORME TÍTULADO:

*EFFECTOS DEL CONCRETO ZICERO CON AEROSOLADO DE
ROCA VOLCÁNICA EN LA FABRICACIÓN DE BOTES EN EL PERÚ*

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

Ingeniero Civil

SUSTENTADO EN FECHA:

12/07/2018

NOTA O MENCIÓN :

18 (DIEZ Y OCHO)



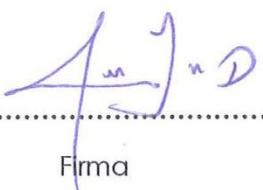
[Signature]
Firma del Coordinador de Investigación de
Ingeniería Civil

Yo, ORLANDO HUGO RÍOS DÍAZ..... docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo – Lima Norte, revisor de la tesis titulada.

"EFECTOS DEL CONCRETO LIGERO CON AGREGADOS DE ROCA VOLCÁNICA EN LA FABRICACIÓN DE POSTES EN EL PERÚ" del estudiante Heiner Iván Salazar Márquez constato que la investigación tiene un índice de similitud de ..20% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Lima. 12 de Julio de 2018



 Firma

MG. ING. RÍOS DÍAZ, ORLANDO
 DNI: ..09748009..

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Responsable de SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	--------------------	--------	---------------------------------

20%



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EFFECTOS DEL CONCRETO LIGERO CON AGREGADOS DE ROCA
VOLCÁNICA EN LA FABRICACIÓN DE POSTES EN EL PERÚ

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

AUTOR:
SALAZAR MÁRQUEZ, HEINER IVÁN

ASESOR:
RÍOS DÍAZ, ORLANDO HUGO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
ADMINISTRACIÓN Y SEGURIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

LIMA - PERÚ
2018



ING. ORLANDO HUGO RÍOS DÍAZ

Se están viendo fuentes estándar

Ver fuentes en inglés (Beta)

Coincidencias

1	tesis.uscm.edu.pe	Fuente de Internet	3%
2	repositorio.uov.edu.pe	Fuente de Internet	2%
3	repositorio.uvsc.edu.pe	Fuente de Internet	2%
4	ilkommaa.micociencias...	Fuente de Internet	1%
5	escribid.com	Fuente de Internet	1%
6	Entregado a Universidad...	Fuente de Internet	1%
7	wawa.acredit.com	Fuente de Internet	1%
8	repositorio.ug.edu.ec	Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.upt.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
10	edpssc.untrf.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
11	pt.acordid.com*	Fuente de Internet	<1%