



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR
PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO EN LAS PROPIEDADES
DEL CONCRETO $F'_{C}=210$ KG/CM² EN LA CIUDAD DE PUNO, 2023**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. HAROLD JOAQUÍN SANDOVAL MAYTA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



HAROLD JOAQUÍN SANDOVAL MAYTA

INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO EN LAS PROPIEDA...

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::8254:417414238

Fecha de entrega
18 dic 2024, 11:21 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
18 dic 2024, 11:24 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
TESIS_SANDOVAL MAYTA HAROLD JOAQUÍN.pdf

Tamaño de archivo
5.5 MB

308 Páginas

59,870 Palabras

292,723 Caracteres

vopo



Ing. Jaime Morales Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 810545
SUBDIRECTOR INV. EPIC



Ing. Emilio Casillo Aroni
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 820514





15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

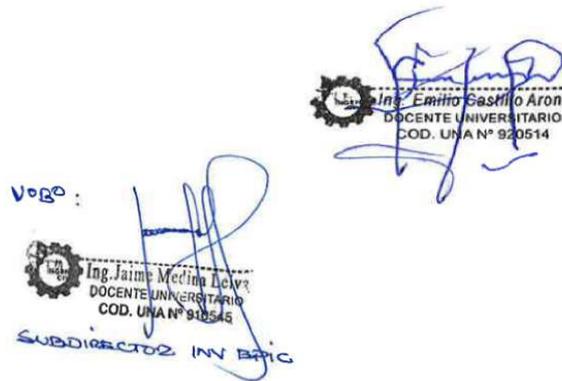
Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.





DEDICATORIA

A DIOS por derramar sus bendiciones sobre mí y dejarme llegar hasta este momento tan relevante en mi vida profesional.

A mis queridos padres JUANA Y FRANCISCO, quienes constantemente me dieron su amor, confianza, soporte y por acompañarme en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y profesional.

A mi hermano SAÚL, que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo, muchas veces poniéndose en el papel de padre.

A aquellos que me enseñaron a creer en la amistad que, gracias a su apoyo, y conocimientos hicieron de esta experiencia una de las más especiales.

Y, por último, a las personas que no creyeron en mí, con su actitud lograron que tomará más impulso.

Harold Joaquín Sandoval Mayta



AGRADECIMIENTOS

Mi eterno agradecimiento a Dios por haberme acompañado y guiado durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mí familia que me dieron su apoyo absoluto y que con su ayuda, cariño y comprensión han sido parte fundamental para cumplir todos mis objetivos.

A mi alma Mater Universidad Nacional del Altiplano y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, mi infinito agradecimiento por brindarme los conocimientos y habilidades que fueron muy importantes en mi crecimiento académico y profesional.

A los miembros del jurado, por su compromiso y valiosa orientación que fueron fundamentales para el éxito de esta investigación.

Al ilustrísimo Mtr. Emilio Castillo Aroni, por su orientación, dirección y colaboración brindada, durante la elaboración de esta investigación.

Harold Joaquín Sandoval Mayta



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRONIMOS	
RESUMEN	33
ABSTRACT	34
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	36
1.1.1 Problema General.....	39
1.1.2 Problemas Específicos	39
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	40
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	41
1.3.1 Objetivo General	41
1.3.2 Objetivos Específicos.....	41
1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	42
1.4.1 Hipótesis General	42
1.4.2 Hipótesis Específicas	42



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	43
2.1.1	Antecedentes a Nivel Internacional.....	43
2.1.2	Antecedentes a Nivel Nacional	48
2.1.3	Antecedentes a Nivel Local	51
2.2	EL CONCRETO	52
2.2.1	Definición del Concreto	52
2.2.2	Componentes del Concreto	53
2.2.3	Cemento Portland.....	54
2.2.4	Agregados Para el Concreto.....	57
2.2.5	Propiedades del Concreto.....	62
2.2.6	Diseño de Mezclas de Concreto.....	67
2.3	PUZOLANA	68
2.3.1	Consideraciones Generales	68
2.3.2	Definición de Puzolana	69
2.3.3	Clasificación de las Puzolanas Según Normativa	69
2.3.4	Clasificación de las Puzolanas Según su Origen.....	70
2.3.5	Propiedades de las Puzolanas.....	72
2.3.6	Reacción o Actividad Puzolánica.....	74

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN	75
------------	---	-----------



3.2	TIEMPO DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	77
3.3	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	77
3.3.1	Enfoque de la Investigación	77
3.3.2	Alcance o Nivel de Investigación	77
3.3.3	Diseño de Investigación	77
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	78
3.4.1	Población o Universo	78
3.4.2	Muestra.....	78
3.5	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	81
3.6	PRUEBA DE NORMALIDAD, ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	81
3.6.1	Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk	82
3.6.2	Análisis Estadístico	84
3.6.3	Prueba de Hipótesis.....	97
3.7	MATERIALES EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	99
3.7.1	Materiales Cementantes	100
3.7.2	Agregados	101
3.7.3	Puzolana de Origen Volcánico (ceniza volcánica).....	103
3.7.4	Agua	108
3.8	ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS Y EN LA PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO.....	108
3.8.1	Contenido de Humedad de los Agregados y de la POV	109
3.8.2	Peso Específico y Absorción de los Agregados y POV	113



3.8.3	Peso Unitario de los Agregados y POV	127
3.8.4	Análisis Granulométrico de los Agregados y POV	138
3.8.5	Módulo de Fineza de los Agregados y POV	145
3.9	DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO.....	148
3.9.1	Diseño de Mezcla de Concreto Mediante el Método ACI 211	148
3.10	ELABORACIÓN DE CONCRETO F´C=210 KG/CM2 SIN Y CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO	150
3.10.1	Elaboración de los Especímenes Cilíndricos de Concreto	150
3.10.2	Elaboración de Especímenes Prismáticos de Concreto.....	154
3.10.3	Curado de Especímenes Cilíndricos y Prismáticos	157
3.11	ENSAYOS REALIZADOS EN CONCRETO ENDURECIDO SIN Y CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO.....	159
3.11.1	Prueba de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos	159
3.11.2	Prueba de Resistencia a la Flexión de Especímenes Prismáticos	162
3.11.3	Prueba de Resistencia a la Tracción de Especímenes Cilíndricos	167
3.12	ENSAYOS REALIZADOS EN CONCRETO FRESCO SIN Y CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO	170
3.12.1	Normativas Técnicas	171
3.12.2	Aparatos y Materiales Utilizados	171
3.12.3	Descripción del Procedimiento	171

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4.1	RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO	174
4.1.1	Resultados de las Pruebas de Resistencia a la Compresión	174
4.1.2	Resultados de las Pruebas de Resistencia a la Flexión	179
4.1.3	Resultados de las Pruebas de Resistencia a la Tracción	184
4.2	RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO	189
4.3	ANÁLISIS DE COSTOS	191
4.4	COMPROBACIÓN DE NORMALIDAD, EVALUACIÓN ESTADÍSTICA Y PRUEBA DE HIPÓTESIS DEL CONCRETO ENDURECIDO	195
4.4.1	Test de Normalidad de Shapiro-Wilk Para los Resultados de Resistencia a la Compresión, Flexión y Tracción	195
4.4.2	Análisis Estadístico Para los Resultados de Resistencia a la Compresión, Flexión y Tracción	201
4.4.3	Prueba de Hipótesis Para los Resultados de Resistencia a la Compresión, Flexión y Tracción	261
4.4.4	Prueba de Hipótesis Para los Resultados de Resistencia a la Flexión	266
4.4.5	Prueba de Hipótesis Para los Resultados de Resistencia a la Tracción	271
4.5	COMPROBACIÓN DE NORMALIDAD, EVALUACIÓN ESTADÍSTICA Y PRUEBA DE HIPÓTESIS DEL CONCRETO FRESCO	277
4.5.1	Test de Normalidad de Shapiro-Wilk Para los Resultados de Trabajabilidad	277
4.5.2	Análisis Estadístico Para los Resultados de Trabajabilidad	279
4.5.3	Prueba de Hipótesis Para los Resultados del Slump	286



4.6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	289
4.6.1	Para la Resistencia a la Compresión	289
4.6.2	Para la Resistencia a la Flexión.....	290
4.6.3	Para la Resistencia a la Tracción.....	291
4.6.4	Para el Slump del Concreto.....	292
4.6.5	Para el Costo del Concreto.....	293
V.	CONCLUSIONES.....	294
VI.	RECOMENDACIONES.....	296
VII.	REFERENCIAS.....	298
ANEXOS	306

ÁREA: Construcciones.

TEMA: Materiales naturales, ecológicos y la construcción limpia.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Construcciones y gerencia.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26 de diciembre del 2024



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Proporciones típicas en volumen de los componentes del concreto.....	54
Figura 2 Clasificación de las puzolanas según su normativa.....	69
Figura 3 Clasificación de las puzolanas según su origen.....	70
Figura 4 Representación gráfica de la reacción o actividad puzolánica típica	74
Figura 5 Localización geográfica de la ciudad de Puno	75
Figura 6 Ubicación del laboratorio de la empresa Corporación ACS Consultores S.A.C.	76
Figura 7 Clasificación de las medidas estadísticas	85
Figura 8 Distribución simétrica	95
Figura 9 Asimetría negativa y asimétrica positiva.....	95
Figura 10 Cemento Portland tipo I “Wari”	100
Figura 11 Ubicación de la cantera de Cutimbo.....	102
Figura 12 Laderas y cráter del volcán Ubinas	103
Figura 13 Ubicación del volcán Ubinas.....	104
Figura 14 Extracción de muestras de la puzolana de origen volcánico	105
Figura 15 Puzolana de origen volcánico empleada en la investigación.....	109
Figura 16 Muestras para los ensayos de w (%) de los agregados	111
Figura 17 Ensayo de w (%) de la POV	111
Figura 18 Gráfica comparativa de los resultados de w (%) obtenidos en la investigación	113
Figura 19 Investigador registrando el peso del picnómetro.....	118
Figura 20 Prueba de humedad superficial de la muestra de A°F°	118
Figura 21 Desmoronamiento leve de la muestra de A°F° en condición S.S.S.	119
Figura 22 Desmoronamiento leve de la muestra de POV en condición S.S.S.....	119
Figura 23 Picnómetros con muestras de A°F° y POV en condición S.S.S en baño de maría	120
Figura 24 Muestra de A°G° en condición S.S.S.....	124



Figura 25	Registro del peso sumergido en agua de la muestra de A°G° S.S.S.	124
Figura 26	Gráfica comparativa de los resultados de peso específico obtenidos en la investigación.....	126
Figura 27	Grafica comparativa de los resultados de absorción obtenidos en la investigación	126
Figura 28	Llenado y enrasado del recipiente con la muestra de A°F°.....	129
Figura 29	Llenado y enrasado del recipiente con la muestra de POV	129
Figura 30	Ensayo de peso unitario compactado con muestra de A°F°.....	130
Figura 31	Procedimiento del ensayo de peso unitario compactado con muestra de POV....	131
Figura 32	Procedimiento del ensayo de peso unitario suelto del A°G°.....	134
Figura 33	Procedimiento del ensayo de peso unitario compactado del A°G°.....	135
Figura 34	Gráfica comparativa de los resultados de peso unitario suelto obtenidos en la investigación.....	137
Figura 35	Gráfica comparativa de resultados de peso unitario compactado	138
Figura 36	Investigador ejecutando el análisis granulométrico del A°F°	140
Figura 37	Investigador ejecutando el análisis granulométrico de la POV.....	140
Figura 38	Curva granulométrica del A°F°.....	141
Figura 39	Curva granulométrica de la POV	142
Figura 40	Investigador ejecutando el análisis granulométrico del A°G°.....	144
Figura 41	Curva granulométrica del A°G°	145
Figura 42	Gráfica comparativa de los resultados de módulo de fineza obtenidos en la investigación.....	148
Figura 43	Dosificación de materiales (agregados, cemento, agua y POV)	153
Figura 44	Elaboración de especímenes cilíndricos sin y con sustitución de cemento por POV	153
Figura 45	Especímenes cilíndricos sin y con sustitución de cemento por POV	154
Figura 46	Elaboración de especímenes prismáticos sin y con sustitución de cemento por POV	156
Figura 47	Especímenes prismáticos sin y con sustitución de cemento por POV	157



Figura 48	Curado en laboratorio de los especímenes cilíndricos y prismáticos	158
Figura 49	Prueba de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos	161
Figura 50	Prueba de resistencia a la flexión de los especímenes prismáticos	165
Figura 51	Prueba de resistencia a la tracción de los especímenes cilíndricos	169
Figura 52	Procedimiento de la prueba para la medición del asentamiento "Slump"	173
Figura 53	Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la compresión a los 7 días	175
Figura 54	Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la compresión a los 14 días.....	176
Figura 55	Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días.....	177
Figura 56	Variación de los resultados de resistencia a la compresión del concreto sin y con sustitución del cemento por POV a los 7, 14 y 28 días	178
Figura 57	Curva de variación de los resultados de resistencia a la compresión del concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días	178
Figura 58	Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la flexión a los 7 días	180
Figura 59	Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la flexión a los 14 días ...	181
Figura 60	Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la flexión a los 28 días ...	182
Figura 61	Variación de los resultados de resistencia a la flexión del concreto sin y con sustitución del cemento por POV a los 7, 14 y 28 días	183
Figura 62	Curva de variación de los resultados de resistencia a la flexión del concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días.....	183
Figura 63	Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la tracción a los 7 días....	185
Figura 64	Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la tracción a los 14 días..	186



Figura 65	Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la tracción a los 28 días..	187
Figura 66	Variación de los resultados de resistencia a la tracción del concreto sin y con sustitución del cemento por POV a los 7, 14 y 28 días	188
Figura 67	Curva de variación de los resultados de resistencia a la tracción del concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días.....	188
Figura 68	Gráfica comparativa de los resultados de asentamiento “Slump”	190
Figura 69	Comparación de costos de cada tipo de concreto	194
Figura 70	Histograma de frecuencias del CP a los 7 días.....	202
Figura 71	Distribución normal del CP a los 7 días	203
Figura 72	Histograma de frecuencias del CP a los 14 días.....	204
Figura 73	Distribución normal del CP a los 14 días	204
Figura 74	Histograma de frecuencias del CP a los 28 días.....	206
Figura 75	Distribución normal del CP a los 28 días	206
Figura 76	Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 7 días.....	207
Figura 77	Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 7 días.....	208
Figura 78	Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 14 días.....	209
Figura 79	Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 14 días.....	209
Figura 80	Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 28 días.....	211
Figura 81	Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 28 días.....	211
Figura 82	Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 7 días.....	212
Figura 83	Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 7 días.....	213
Figura 84	Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 14 días.....	214
Figura 85	Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 14 días.....	214
Figura 86	Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 28 días.....	216
Figura 87	Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 28 días.....	216
Figura 88	Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 7 días.....	217
Figura 89	Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 7 días.....	218
Figura 90	Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 14 días.....	219
Figura 91	Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 14 días.....	219



Figura 92	Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 28 días.....	221
Figura 93	Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 28 días	221
Figura 94	Histograma de frecuencias del CP a los 7 días	222
Figura 95	Distribución normal del CP a los 7 días	223
Figura 96	Histograma de frecuencias del CP a los 14 días	224
Figura 97	Distribución normal del CP a los 14 días	224
Figura 98	Histograma de frecuencias del CP a los 28 días	226
Figura 99	Distribución normal del CP a los 28 días	226
Figura 100	Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 7 días.....	227
Figura 101	Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 7 días	228
Figura 102	Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 14 días.....	229
Figura 103	Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 14 días	229
Figura 104	Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 28 días.....	231
Figura 105	Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 28 días	231
Figura 106	Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 7 días.....	232
Figura 107	Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 7 días	233
Figura 108	Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 14 días.....	234
Figura 109	Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 14 días	234
Figura 110	Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 28 días.....	236
Figura 111	Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 28 días	236
Figura 112	Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 7 días.....	237
Figura 113	Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 7 días	238
Figura 114	Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 14 días.....	239
Figura 115	Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 14 días	239
Figura 116	Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 28 días.....	241
Figura 117	Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 28 días	241
Figura 118	Histograma de frecuencias del CP a los 7 días	242
Figura 119	Distribución normal del CP a los 7 días	243
Figura 120	Histograma de frecuencias del CP a los 14 días	244
Figura 121	Distribución normal del CP a los 14 días	244



Figura 122	Histograma de frecuencias del CP a los 28 días.....	246
Figura 123	Distribución normal del CP a los 28 días	246
Figura 124	Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 7 días.....	247
Figura 125	Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 7 días	248
Figura 126	Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 14 días.....	249
Figura 127	Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 14 días	249
Figura 128	Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 28 días.....	251
Figura 129	Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 28 días	251
Figura 130	Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 7 días.....	252
Figura 131	Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 7 días	253
Figura 132	Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 14 días.....	254
Figura 133	Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 14 días	254
Figura 134	Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 28 días.....	256
Figura 135	Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 28 días	256
Figura 136	Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 7 días.....	257
Figura 137	Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 7 días	258
Figura 138	Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 14 días.....	259
Figura 139	Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 14 días	259
Figura 140	Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 28 días.....	261
Figura 141	Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 28 días	261
Figura 142	Gráfico general de la distribución “t de student” para datos de resistencia a la compresión ($\alpha=0.05$ y 4 grados de libertad).....	264
Figura 143	Gráfico general de la distribución “t de student” para datos de resistencia a la flexión ($\alpha=0.05$ y 4 grados de libertad)	269
Figura 144	Gráfico general de la distribución “t de student” para datos de resistencia a la tracción ($\alpha=0.05$ y 4 grados de libertad).....	275
Figura 145	Histograma de frecuencias Slump del CP	280
Figura 146	Distribución normal Slump del CP.....	280
Figura 147	Histograma de frecuencias Slump del CP con 5% de sustitución	282
Figura 148	Distribución normal Slump del CP con 5% de sustitución	282



Figura 149	Histograma de frecuencias Slump del CP con 10% de sustitución	283
Figura 150	Distribución normal Slump del CP con 10% de sustitución	284
Figura 151	Histograma de frecuencias Slump del CP con 15% de sustitución	285
Figura 152	Distribución normal Slump del CP con 15% de sustitución	286
Figura 153	Gráfico general de la distribución “t de student” para datos de trabajabilidad ($\alpha=0.05$ y 4 grados de libertad)	288



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Componentes químicos del cemento Portland.....55
Tabla 2	Criterios para la clasificación de agregados por su tamaño59
Tabla 3	Asentamientos recomendados para cada clase de mezcla de concreto66
Tabla 4	Requisitos químicos de las puzolanas.....70
Tabla 5	Propiedades físicas típicas de las puzolanas72
Tabla 6	Composición química de las POV (cenizas volcánicas) según diferentes investigaciones73
Tabla 7	Coordenadas UTM del laboratorio de la Corporación ACS Consultores S.A.C.76
Tabla 8	Cantidad de muestras (especímenes cilíndricos) de concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV para pruebas de compresión79
Tabla 9	Cantidad de muestras (especímenes cilíndricos) de concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV para pruebas de tracción79
Tabla 10	Cantidad de muestras (especímenes prismáticos) de concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV para pruebas de flexión80
Tabla 11	Cantidad de muestras para las pruebas de medición del asentamiento en concreto fresco sin y con sustitución parcial de cemento por POV80
Tabla 12	Operacionalización de variables de la investigación81
Tabla 13	Interpretación del coeficiente de variación94
Tabla 14	Criterios para la interpretación del coeficiente de asimetría de Pearson96
Tabla 15	Características físicas del cemento Portland tipo I marca “Wari” 101
Tabla 16	Características químicas del cemento Portland tipo I marca “Wari” 101
Tabla 17	Coordenadas UTM de la cantera Cutimbo..... 102
Tabla 18	Coordenadas UTM del volcán Ubinas 104
Tabla 19	Distribución de puntos de muestreo de la POV del volcán Ubinas 105
Tabla 20	Composición química de la POV del volcán Ubinas..... 107
Tabla 21	Propiedades mecánicas de la POV extraída del volcán Ubinas 107



Tabla 22	Ensayos realizados en los agregados y en la POV	108
Tabla 23	Datos y resultados obtenidos del ensayo de w (%) del A°F°	112
Tabla 24	Datos y resultados obtenidos del ensayo de w (%) del A°G°.....	112
Tabla 25	Datos y resultados obtenidos del ensayo w (%) de la POV	112
Tabla 26	Resumen de los resultados de w (%) obtenidos en la investigación.....	113
Tabla 27	Datos obtenidos del ensayo de peso específico y absorción del A°F°	120
Tabla 28	Resultados del ensayo de peso específico y absorción del A°F°	121
Tabla 29	Datos obtenidos del ensayo de peso específico y absorción de la POV	121
Tabla 30	Resultados del ensayo de peso específico y absorción de la POV	121
Tabla 31	Datos obtenidos del ensayo de peso específico y absorción del A°G°	125
Tabla 32	Resultados del ensayo de peso específico y absorción del A°G°	125
Tabla 33	Resumen de los resultados de peso específico y absorción obtenidos en la investigación	125
Tabla 34	Datos y resultados del ensayo de P.U.S del A°F°	131
Tabla 35	Datos y resultados del ensayo de P.U.C. del A°F°	132
Tabla 36	Datos y resultados del ensayo de P.U.S. de la POV	132
Tabla 37	Datos y resultados del ensayo de P.U.C. de la POV.....	132
Tabla 38	Datos y resultados del ensayo de P.U.S. del A°G°	136
Tabla 39	Datos y resultados del ensayo de P.U.C. del A°G°.....	136
Tabla 40	Resumen de los resultados de peso unitario suelto obtenidos en la investigación	137
Tabla 41	Resumen de los resultados de peso unitario compactado obtenidos en la investigación	137
Tabla 42	Análisis granulométrico del A°F°.....	141
Tabla 43	Análisis granulométrico de la POV	142
Tabla 44	Análisis granulométrico del A°G°	144
Tabla 45	Resumen de los resultados de módulo de fineza obtenidos en la investigación....	148
Tabla 46	Presentación de los diseños de mezcla finales sin y con sustitución de cemento por POV mediante el método ACI 211	149



Tabla 47	Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 7 días	174
Tabla 48	Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 14 días	175
Tabla 49	Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días	176
Tabla 50	Resumen de los resultados de resistencia a la compresión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días.....	177
Tabla 51	Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión a los 7 días	179
Tabla 52	Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión a los 14 días	180
Tabla 53	Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión a los 28 días	181
Tabla 54	Resumen de los resultados de resistencia a la flexión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días.....	182
Tabla 55	Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción a los 7 días.....	184
Tabla 56	Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción a los 14 días.....	185
Tabla 57	Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción a los 28 días.....	186
Tabla 58	Resumen de los resultados de resistencia a la tracción del concreto sin y con sustitución de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días.....	187
Tabla 59	Resultados obtenidos en los ensayos de asentamiento del concreto fresco “Slump”.....	189
Tabla 60	Extracción y apilamiento de material	192
Tabla 61	Costo para 1 m3 de concreto patrón	193
Tabla 62	Costo para 1 m3 de concreto patrón con 5% de sustitución de cemento por POV	193
Tabla 63	Costo para 1 m3 de concreto patrón con 10% de sustitución de cemento por POV	193
Tabla 64	Costo para 1 m3 de concreto patrón con 15% de sustitución de cemento por POV	194
Tabla 65	Resumen de costos de cada tipo de concreto	194
Tabla 66	Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la compresión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 7 días	196
Tabla 67	Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la compresión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 14 días	197



Tabla 68	Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la compresión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 28 días	197
Tabla 69	Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la flexión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 7 días	198
Tabla 70	Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la flexión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 14 días	198
Tabla 71	Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la flexión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 28 días	199
Tabla 72	Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la tracción del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 7 días	199
Tabla 73	Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la tracción del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 14 días	200
Tabla 74	Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la tracción del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 28 días	200
Tabla 75	Datos de resistencia a la compresión del CP a los 7 días.....	201
Tabla 76	Tabla de distribución frecuencias del CP a los 7 días.....	202
Tabla 77	Medidas de centralización y dispersión del CP a los 7 días	202
Tabla 78	Datos de resistencia a la compresión del CP a los 14 días.....	203
Tabla 79	Tabla de distribución frecuencias del CP a los 14 días.....	203
Tabla 80	Medidas de centralización y dispersión del CP a los 14 días	204
Tabla 81	Datos de resistencia a la compresión del CP a los 28 días.....	205
Tabla 82	Tabla de distribución frecuencias del CP a los 28 días.....	205
Tabla 83	Medidas de centralización y dispersión del CP a los 28 días	205
Tabla 84	Datos de resistencia a la compresión del CP con 5% de sustitución a los 7 días	206
Tabla 85	Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 7 días	207
Tabla 86	Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 7 días	207



Tabla 87	Datos de resistencia a la compresión del CP con 5% de sustitución a los 14 días	208
Tabla 88	Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 14 días	208
Tabla 89	Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 14 días	209
Tabla 90	Datos de resistencia a la compresión del CP con 5% de sustitución a los 28 días	210
Tabla 91	Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 28 días	210
Tabla 92	Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 28 días	210
Tabla 93	Datos de resistencia a la compresión del CP con 10% de sustitución a los 7 días	211
Tabla 94	Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 7 días	212
Tabla 95	Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 7 días	212
Tabla 96	Datos de resistencia a la compresión del CP con 10% de sustitución a los 14 días	213
Tabla 97	Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 14 días	213
Tabla 98	Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 14 días	214
Tabla 99	Datos de resistencia a la compresión del CP con 10% de sustitución a los 28 días	215
Tabla 100	Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 28 días	215
Tabla 101	Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 28 días	215



Tabla 102 Datos de resistencia a la compresión del CP con 15% de sustitución a los 7 días	216
Tabla 103 C Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 7 días ..	217
Tabla 104 Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 7 días	217
Tabla 105 Datos de resistencia a la compresión del CP con 15% de sustitución a los 14 días	218
Tabla 106 Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 14 días ...	218
Tabla 107 Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 14 días	219
Tabla 108 Datos de resistencia a la compresión del CP con 15% de sustitución a los 28 días	220
Tabla 109 Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 28 días ...	220
Tabla 110 Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 28 días	220
Tabla 111 Datos de resistencia a la flexión del CP a los 7 días	221
Tabla 112 Tabla de distribución frecuencias del CP a los 7 días	222
Tabla 113 Medidas de centralización y dispersión del CP a los 7 días	222
Tabla 114 Datos de resistencia a la flexión del CP a los 14 días	223
Tabla 115 Tabla de distribución frecuencias del CP a los 14 días	223
Tabla 116 Medidas de centralización y dispersión del CP a los 14 días	224
Tabla 117 Datos de resistencia a la flexión del CP a los 28 días	225
Tabla 118 Tabla de distribución frecuencias del CP a los 28 días	225
Tabla 119 Medidas de centralización y dispersión del CP a los 28 días	225
Tabla 120 Datos de resistencia a la flexión del CP con 5% de sustitución a los 7 día	226
Tabla 121 Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 7 días	227



Tabla 122 Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 7 días	227
Tabla 123 Datos de resistencia a la flexión del CP con 5% de sustitución a los 14 días	228
Tabla 124 Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 14 días	228
Tabla 125 Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 14 días	229
Tabla 126 Datos de resistencia a la flexión del CP con 5% de sustitución a los 28 días	230
Tabla 127 Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 28 días	230
Tabla 128 Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 28 días	230
Tabla 129 Datos de resistencia a la flexión del CP con 10% de sustitución a los 7 días	231
Tabla 130 Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 7 días	232
Tabla 131 Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 7 días	232
Tabla 132 Datos de resistencia a la flexión del CP con 10% de sustitución a los 14 días	233
Tabla 133 Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 14 días	233
Tabla 134 Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 14 días	234
Tabla 135 Datos de resistencia a la flexión del CP con 10% de sustitución a los 28 días	235
Tabla 136 Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 28 días	235



Tabla 137 Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 28 días	235
Tabla 138 Datos de resistencia a la flexión del CP con 15% de sustitución a los 7 días.....	236
Tabla 139 Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 7 días	237
Tabla 140 Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 7 días	237
Tabla 141 Datos de resistencia a la flexión del CP con 15% de sustitución a los 14 días.....	238
Tabla 142 Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 14 días ...	238
Tabla 143 Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 14 días	239
Tabla 144 Datos de resistencia a la flexión del CP con 15% de sustitución a los 28 días.....	240
Tabla 145 Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 28 días ...	240
Tabla 146 Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 28 días	240
Tabla 147 Datos de resistencia a la tracción del CP a los 7 días	241
Tabla 148 Tabla de distribución frecuencias del CP a los 7 días.....	242
Tabla 149 Medidas de centralización y dispersión del CP a los 7 días	242
Tabla 150 Datos de resistencia a la tracción del CP a los 14 días	243
Tabla 151 Tabla de distribución frecuencias del CP a los 14 días.....	243
Tabla 152 Medidas de centralización y dispersión del CP a los 14 días	244
Tabla 153 Datos de resistencia a la tracción del CP a los 28 días	245
Tabla 154 Tabla de distribución frecuencias del CP a los 28 días.....	245
Tabla 155 Medidas de centralización y dispersión del CP a los 28 días	245



Tabla 156 Datos de resistencia a la tracción del CP con 5% de sustitución a los 7 días	246
Tabla 157 Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 7 días	247
Tabla 158 Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 7 días	247
Tabla 159 Datos de resistencia a la tracción del CP con 5% de sustitución a los 14 días	248
Tabla 160 Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 14 días	248
Tabla 161 Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 14 días	249
Tabla 162 Datos de resistencia a la tracción del CP con 5% de sustitución a los 28 días	250
Tabla 163 Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 28 días	250
Tabla 164 Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 28 días	250
Tabla 165 Datos de resistencia a la tracción del CP con 10% de sustitución a los 7 días	251
Tabla 166 Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 7 días	252
Tabla 167 Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 7 días	252
Tabla 168 Datos de resistencia a la tracción del CP con 10% de sustitución a los 14 días	253
Tabla 169 Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 14 días	253
Tabla 170 Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 14 días	254



Tabla 171 Datos de resistencia a la tracción del CP con 10% de sustitución a los 28 días	255
Tabla 172 Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 28 días ...	255
Tabla 173 Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 28 días	255
Tabla 174 Datos de resistencia a la tracción del CP con 15% de sustitución a los 7 días	256
Tabla 175 Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 7 días	257
Tabla 176 Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 7 días	257
Tabla 177 Datos de resistencia a la tracción del CP con 15% de sustitución a los 14 días	258
Tabla 178 Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 14 días ...	258
Tabla 179 Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 14 días	259
Tabla 180 Datos de resistencia a la tracción del CP con 15% de sustitución a los 28 días	260
Tabla 181 Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 28 días ...	260
Tabla 182 Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 28 días	260
Tabla 183 Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la compresión del concreto a los 7 días	262
Tabla 184 Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la compresión del concreto a los 14 días	263
Tabla 185 Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días	263



Tabla 186	Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la compresión a los 7 días	264
Tabla 187	Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la compresión a los 14 días	265
Tabla 188	Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la compresión a los 28 días	265
Tabla 189	Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la flexión del concreto a los 7 días	267
Tabla 190	Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la flexión del concreto a los 14 días	268
Tabla 191	Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la flexión del concreto a los 28 días	268
Tabla 192	Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la flexión del concreto a los 7 días	270
Tabla 193	Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la flexión del concreto a los 14 días	270
Tabla 194	Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la flexión del concreto a los 28 días	271
Tabla 195	Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la tracción del concreto a los 7 días	273
Tabla 196	Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la tracción del concreto a los 14 días	273
Tabla 197	Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la tracción del concreto a los 28 días	274
Tabla 198	Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la tracción del concreto a los 7 días	275
Tabla 199	Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la tracción del concreto a los 14 días	276
Tabla 200	Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la tracción del concreto a los 28 días	276



Tabla 201	Comprobación de normalidad de los datos trabajabilidad del concreto sin y con sustitución de cemento por POV.....	278
Tabla 202	Datos Slump del CP	279
Tabla 203	Tabla de distribución frecuencias Slump del CP	279
Tabla 204	Medidas de centralización y dispersión Slump del CP.....	280
Tabla 205	Datos Slump del CP con 5% de sustitución.....	281
Tabla 206	Tabla de distribución frecuencias Slump del CP con 5% de sustitución	281
Tabla 207	Medidas de centralización y dispersión Slump del CP con 5% de sustitución.....	281
Tabla 208	Datos Slump del CP con 10% de sustitución.....	282
Tabla 209	Tabla de distribución frecuencias Slump del CP con 10% de sustitución	283
Tabla 210	Medidas de centralización y dispersión Slump del CP con 10% de sustitución....	283
Tabla 211	Datos Slump del CP con 15% de sustitución.....	284
Tabla 212	Tabla de distribución frecuencias Slump del CP con 15% de sustitución	284
Tabla 213	Medidas de centralización y dispersión Slump del CP con 15% de sustitución....	285
Tabla 214	Cálculos de estadísticos de prueba “t de student” para datos de trabajabilidad del concreto sin y con sustitución de cemento por POV	287
Tabla 215	Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de trabajabilidad del concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV.....	289



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

A_p : Coeficiente de asimetría de Pearson

a/c: Relación agua/cemento

A°F°: Agregado fino

A°G°: Agregado grueso

AASHTO: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes

ACI: American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto)

ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales

c: Amplitud del intervalo

CP: Concreto patrón

CV: Coeficiente de variación

f_i : Frecuencia absoluta simple

F_i : Frecuencia relativa acumulada

$f'c$: Resistencia a la compresión del concreto

H_a : Hipótesis alterna

H_0 : Hipótesis nula

K: Número de intervalos

M: Media

M_e : Mediana

M_o : Moda

Mf: Modulo de fineza

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones



NTP: Norma técnica peruana

PCA: Asociación de Cemento Portland

POV: Puzolana de origen volcánico

P.U.C.: Peso unitario compactado

P.U.S.: Peso unitario suelto

R: Rango

RNE E 60: Reglamento Nacional de Edificaciones – Estructuras

S.S.S: Saturado superficialmente seco

TM: Tamaño máximo

TMN: Tamaño máximo nominal

UTM: Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator

S^2 : Varianza

S: Desviación estándar

w: Contenido de humedad

α : Nivel de significancia



RESUMEN

A nivel mundial la producción de cemento representa alrededor del 8% del total de las emisiones de CO₂, lo que genera un efecto negativo en el medio ambiente, es por ello que surge la necesidad de elaborar concretos que sean ecológicos y que a la vez tengan mejores propiedades, bajo ese contexto la presente investigación trata acerca del estudio de la sustitución parcial de cemento por POV en las propiedades del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ como la resistencia a compresión, flexión, tracción, trabajabilidad y los costos por m³. El enfoque de investigación es cuantitativo, nivel de investigación correlacional, diseño de investigación experimental y muestreo no probabilístico; se ensayaron 36 especímenes cilíndricos a compresión, 36 especímenes prismáticos a flexión, 36 especímenes cilíndricos a tracción y 12 muestras para trabajabilidad con distintos porcentajes de sustitución de cemento por POV, a los 28 días los resultados indican que las resistencias a compresión aumentan en 2.47%, 5.96% y 0.69% al sustituir POV en 5%, 10% y 15% con respecto al CP; las resistencias a flexión aumentan en 3.80% y 8.40% al sustituir POV en 5%, 10% con respecto al CP, con 15% de sustitución disminuye en 6.53% con respecto al CP; las resistencias a tracción aumentan en 1.40% y 18.03% al sustituir POV en 5%, 10% con respecto al CP, por el contrario con 15% de sustitución disminuye en 2.39% con respecto al CP. En cuanto a la trabajabilidad y costos por m³ la sustitución de POV reduce sus valores en un rango de entre 3.30% a 16.48% y 3.60% a 10.79% con respecto al CP respectivamente.

Palabras clave: Concreto, Puzolana de origen volcánico, Resistencia del concreto, Trabajabilidad y Costo de producción.



ABSTRACT

Globally, cement production represents around 8% of total CO₂ emissions, which generates a negative effect on the environment, which is why the need arises to develop concretes that are environmentally friendly and at the same time have better properties, under this context the present research deals with the study of the partial replacement of cement by pozzolan of volcanic origin (POV) in the properties of concrete $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ as compressive strength, bending, tensile, workability and costs per m³. The research approach is quantitative, correlational research level, experimental research design and non-probabilistic sampling; 36 cylindrical specimens were tested in compression, 36 prismatic specimens in flexure, 36 cylindrical specimens in tension and 12 samples for workability with different percentages of cement substitution by POV, at 28 days the results indicate that the compressive strengths increase by 2.47%, 5.96% and 0.69% when POV is substituted by 5%, 10% and 15% with respect to CP; flexural strengths increase by 3.80% and 8.40% when POV is substituted by 5%, 10% with respect to CP, with 15% substitution it decreases by 6.53% with respect to CP; tensile strengths increase by 1.40% and 18.03% when POV is substituted by 5%, 10% with respect to CP, on the contrary with 15% substitution it decreases by 2.39% with respect to CP.

Keywords: Concrete, Pozzolana of volcanic origin, Concrete strength, Workability and Production cost.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En concordancia a la investigación científica y lógica, la presente investigación se estructura en 7 capítulos:

Capítulo I (Introducción): presenta la formulación del problema, la justificación, los objetivos y las hipótesis de esta investigación.

Capítulo II (Revisión de la literatura): presenta antecedentes (a nivel internacional, nacional y local) e información teórica relacionada a los temas abordados en esta investigación.

Capítulo III (Materiales y métodos): presenta el ámbito, tiempo de ejecución, metodología (enfoque, alcance y diseño), población, muestra, operacionalización de variables, prueba de normalidad, análisis estadístico, prueba de hipótesis, materiales empleados, ensayos en los agregados, diseño de mezclas, elaboración de concreto, ensayos (en concreto endurecido y fresco) de esta investigación.

Capítulo IV (Resultados y discusión): presenta los resultados de todos los ensayos ejecutados en el concreto (endurecido y fresco), los análisis de costos de producción, comprobación de normalidad, evaluación estadística, prueba de hipótesis y discusión de resultados de esta investigación; para facilitar el entendimiento de este capítulo la presentación se realizó mediante tablas y figuras.



Capítulo V (Conclusiones): presenta las conclusiones de esta investigación en concordancia a los objetivos planteados.

Capítulo VI (Recomendaciones): presenta las recomendaciones en concordancia a las conclusiones de esta investigación.

Capítulo VII (Referencias): presenta las fuentes de información empleadas en esta investigación.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Citando a Caiza (2022), el crecimiento mundial de la urbanización ha incrementado desmesuradamente la demanda de cemento Portland, esto afecta de manera negativa al medio ambiente, ya que al producir 1 Tn de cemento se emite al medio ambiente alrededor de 0.55 Tn de dióxido de carbono (CO₂) y 0.39 Tn de CO₂ adicionales que se emiten del combustible en los procedimientos de horneado y pulverizado. Además, el Centro de Estudios Británico valora que en un año se producen aproximadamente 4 mil millones de Tn de cemento, lo cual representa el 8% de las emisiones de CO₂ en todo el mundo. Al respecto, recientes estudios pronostican que la demanda mundial del cemento Portland se incrementará en alrededor del 200 % en el año 2050. (p. 8).

Asimismo, el Perú no es ajeno a esta situación ya que es considerada una nación con economía en crecimiento y con elevada demanda de construcciones, por lo que una de las principales actividades en el sector de la construcción es la producción de cemento, en tal sentido Sobrevilla (2016), manifiesta que en el Perú y en el mundo la producción de cemento es considerada una de las principales fuentes de emisiones de CO₂; ya que en nuestro país



las emisiones de CO₂ se han elevado en un 21% durante el periodo 1994 al 2000 (p. 10). Por lo expuesto, en las últimas décadas se han estudiado diferentes estrategias con el propósito de intentar reducir las emisiones de contaminantes en la producción del cemento.

Por otro lado, en el mundo existe una gran preocupación por la fuerza natural que pueden llegar a tener los volcanes, ya que cuando estos entran en actividades eruptivas expulsan principalmente puzolanas de origen volcánico (cenizas volcánicas); dichas puzolanas son consideradas contaminantes tóxicos ya que según Sánchez et al. (2017), provoca consecuencias negativas en la salud de humanos y animales, en el suministro de agua, en el aire, en los cultivos y en los suelos (p. 11).

En ese mismo contexto, Corominas & Martí (2015), afirman que en el mundo existen alrededor de 10000 volcanes, de los cuales aproximadamente 1500 son volcanes activos desde el inicio de la civilización humana (p. 34). En esa misma línea Apaza et al. (2021), sostienen que en la zona sur del Perú existen un total de 8 volcanes activos, destacando entre ellos los volcanes Ubinas y Sabancaya debido a que presentaron actividades volcánicas recientes durante los últimos cinco años (p. 408). En tal sentido, las actividades eruptivas de los volcanes, tienen como producto principal a la puzolana de origen volcánico (ceniza volcánica) en cuantiosas cantidades, la cual no se puede evitar, no obstante, tiene un potencial que no está siendo aprovechado debido a que no tiene algún tipo de aplicación o uso.

Actualmente en nuestro país es necesario ampliar las investigaciones sobre el uso de puzolanas naturales en el ámbito de la construcción ya que por lo general solo se utilizan las puzolanas artificiales, en tal sentido Villegas (2012), argumenta que hoy en día en el ámbito



de la construcción del Perú los cementos puzolánicos son elaborados empleando raramente puzolanas de origen volcánico (puzolana natural) (p. 1).

Basado en lo antes mencionado y para dar solución a estas problemáticas, distintas investigaciones han llegado a la conclusión de que la puzolana de origen volcánico (ceniza volcánica) tiene propiedades cementantes por lo que puede ser empleada en el ámbito de la construcción como sustituto parcial del cemento en la producción de concreto, lo cual adicionalmente implica reducir significativamente las emisiones de CO₂ generadas en el proceso de producción del cemento, tal como concluye en su investigación Apaza et al. (2021), la obtención de un material cementante amigable con el medio ambiente a partir de puzolana de origen volcánico es posible, de este modo se aprovechará la puzolana dándole un valor agregado y mitigando los efectos negativos que provocan (p. 411). Aunado a esto en su investigación Caiza (2022), concluyó que adicionalmente de los problemas relacionados a la contaminación el cemento experimenta otros problemas, en ese sentido, si se emplean puzolanas de origen volcánico en el cemento no solo se reducirá las emisiones de CO₂, sino que también mejorará sus propiedades (p. 9). Agregando a lo anterior, en su investigación Castro (2020), concluyó que sustituir porcentualmente POV por cemento en el concreto es factible, siempre que el factor tiempo para usar el concreto no sea decisivo, ya que según los ensayos las resistencias no varían considerablemente (p. 105).

Debido a lo anteriormente expuesto, existen argumentos aceptables para investigar la influencia de la sustitución parcial de cemento por POV en las propiedades del concreto. En ese marco, el propósito de esta investigación es contribuir con información relevante al sustituir parcialmente el cemento por POV (ceniza volcánica extraída del volcán Ubinas) en



la elaboración de concreto, en virtud de la carencia de investigaciones respecto a este tema específicamente, ya que se determinará si la sustitución parcial de cemento por POV influye en ciertas propiedades mecánicas del concreto, como son la resistencia a la compresión, flexión, tracción, trabajabilidad y costos. En ese contexto, si la influencia es positiva y/o beneficiosa se conseguirá un concreto sustentable con el medio ambiente, con mejores propiedades y más económico; adicionalmente se le estará dando una aplicación relevante a la POV en el ámbito de la construcción.

1.1.1 Problema General

- ¿Cómo influye la sustitución parcial de cemento por POV en las propiedades del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$?

1.1.2 Problemas Específicos

- ¿Cómo influye la sustitución parcial de cemento por POV en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$?
- ¿Cómo influye la sustitución parcial de cemento por POV en la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$?
- ¿Cómo influye la sustitución parcial de cemento por POV en la resistencia a la tracción del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$?
- ¿Cómo influye la sustitución parcial de cemento por POV en la trabajabilidad del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$?
- ¿Cuál es la variación del costo de producción del concreto patrón y del concreto con sustitución parcial de cemento por POV?



1.2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En los últimos años la conservación y preservación del medio ambiente son temas de interés común que todos los países a nivel mundial buscan alcanzar, dado que tienen influencia directamente en la calidad de vida del ser humano. Dentro de este marco, Howland et al. (2017), afirman que el concreto ha logrado convertirse en el principal material empleado en el sector de la construcción, sin embargo, su producción representa un factor agresivo contra el medio ambiente (p. 1). Al respecto, el concreto está conformado por diferentes materiales de los que destaca el cemento ya que según Frago & Visbal (2021), su producción es una fuente de contaminación del medio ambiente, ya que durante las distintas etapas de su producción las plantas cementeras emiten grandes cantidades de gases perjudiciales como el CO₂, además de consumirse excesivamente energía eléctrica y térmica (p. 9). Por lo tanto, se hace muy importante el estudio de nuevos materiales cementantes con características similares a las del cemento y que a su vez representen una alternativa ecológica.

Ahora bien, existen materiales cementantes naturales que son capaces de sustituir parcialmente el cemento Portland en la elaboración del concreto, en esta investigación se eligió la POV, dicha puzolana es un material ecológico producido durante las actividades volcánicas, la cuál que es considerada como un contaminante pero que al ser empleado la elaboración del concreto puede llegar a brindar propiedades similares o superiores al cemento Portland, no obstante, debido a la variabilidad que puede llegar a tener en su comportamiento es indispensable realizar pruebas de laboratorio. Además, es importante resaltar que actualmente en el Perú la POV (ceniza volcánica) está presente en la naturaleza en grandes cantidades y no tiene ningún tipo de uso o aplicación.



Esta investigación busca determinar la influencia de la sustitución parcial de cemento por POV en las propiedades del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en porcentajes de 5%, 10% y 15%; las razones para usar dichos porcentajes es debido a los antecedentes, ya que la mayoría de investigaciones relacionados a este tema coincidieron en que los mejores resultados se alcanzaron cuando se sustituyeron entre 5% y 15% de cemento por POV, tal que como concluye en su investigación Castro (2020), cuando se sustituyen porcentajes de 5% al 15% de cemento por POV en el concreto las resistencias obtienen los mejores resultados, resaltando que el valor idóneo de sustitución es de 10%. Agregando a lo anterior, Mendoza (2017), concluye que por conveniencia no es recomendable utilizar porcentajes de sustitución mayores al 15% ya que la resistencia a compresión y flexión disminuyen (p. 72).

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo General

- Determinar la influencia de la sustitución parcial de cemento por POV en las propiedades del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con la sustitución parcial de cemento por POV.
- Determinar la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con la sustitución parcial de cemento por POV.
- Determinar la resistencia a la tracción del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con la sustitución parcial de cemento por POV.



- Determinar la trabajabilidad del concreto $f'c=210$ kg/cm² con la sustitución parcial de cemento por POV.
- Comparar la variación del costo de producción del concreto patrón y del concreto con sustitución parcial de cemento por POV.

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Hipótesis General

- La sustitución parcial de cemento por POV mejora significativamente en las propiedades del concreto $f'c=210$ kg/cm².

1.4.2 Hipótesis Específicas

- La sustitución parcial de cemento por POV, influye en el incremento de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm².
- La sustitución parcial de cemento por POV, influye en el incremento de la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210$ kg/cm².
- La sustitución parcial de cemento por POV, influye en el incremento de la resistencia a la tracción del concreto $f'c=210$ kg/cm².
- La sustitución parcial de cemento por POV, mejora la trabajabilidad del concreto $f'c=210$ kg/cm².
- Existe una variación ínfima en el costo de producción del concreto patrón y del concreto con sustitución parcial de cemento por POV.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Se revisó meticulosamente trabajos de investigación, artículos científicos, libros, entre otros; relacionados a las variables de estudio de la investigación; además es importante resaltar que dichas fuentes de información fueron publicadas a lo largo de los últimos años y tienen orígenes tanto nacionales como internacionales.

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes a Nivel Internacional

Abdulazeez et al. (2020), en su investigación “Comportamiento resistente del concreto producido con POV como reemplazo parcial del cemento”; sustituyó cemento por POV en porcentajes de 0%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, 15% y 20%; los cuales fueron ensayados a los 7, 14, 21 y 28 días. Concluyendo, en base a los resultados que el porcentaje de sustitución óptimo es del 10%, no obstante, es posible sustituir porcentajes de hasta 15%. Dado que en las pruebas de resistencia a la compresión a los 28 días, el CP obtuvo el valor de 283.48 kg/cm^2 , los mayores valores alcanzados fueron de 283.48 kg/cm^2 , 288.56 kg/cm^2 y 297.75 kg/cm^2 para porcentajes de sustitución de 5%, 7.5% y 10% respectivamente; en los ensayos de tracción a los 28 días, el CP alcanzó el valor de 34.87 kg/cm^2 , los mayores valores alcanzados fueron de 35.18 kg/cm^2 , 35.47 kg/cm^2 y 34.87 kg/cm^2 para porcentajes de sustitución de 7.5%, 10% y 15% respectivamente; en los ensayos de flexión a los



28 días, el CP obtuvo el valor de 47.93 kg/cm^2 , los mayores valores alcanzados fueron de 48.44 kg/cm^2 , 48.44 kg/cm^2 , 50.07 kg/cm^2 y 49.25 kg/cm^2 para porcentajes de sustitución de 5%, 7.5%, 10% y 15% respectivamente. En suma, se sugirió que la POV debe ser empleado en ambientes agresivos.

Dahiru et al. (2019), en su investigación “Evaluación del efecto de la POV sobre las propiedades del concreto”; consideraron como objetivo evaluar el efecto de la POV de Miango en las propiedades del concreto; en tal sentido, con el propósito de evaluar las propiedades físicas se ensayaron a compresión y tracción muestras de concreto utilizando 0%, 5%, 10% y 15% de reemplazos de cemento por POV ensayadas a 7, 14, 21, 28, 56 y 90 días. Concluyendo, en base a los resultados que los mayores valores de resistencia a compresión y tracción en el concreto, se alcanzaron cuando se sustituyó el 10%, ya que estos valores incrementaron aproximadamente en un 7.99% y 6.14% en comparación con el concreto patrón.

Susanti et al. (2018), en su investigación “Estudios en concreto con sustitución parcial de cemento por POV”; consideraron como objetivo el estudio de la POV del volcán Sinabung como sustituto parcial del cemento del concreto $f'c=204 \text{ kg/cm}^2$; para lo cual se elaboró especímenes cilíndricos con porcentajes de sustitución de cemento por POV de 2%, 4%, 6% y 8% evaluadas a los 7, 14 y 28 días. Concluyendo que, la sustitución de cemento por POV aumenta la resistencia a la compresión del concreto; ya que según los resultados a los 28 días los valores de resistencia a la compresión con porcentajes de sustitución del 2%, 4%, 6% y 8% fueron de 240.65 kg/cm^2 , 222.30 kg/cm^2 , 209.76 kg/cm^2 y 205.98 kg/cm^2 correspondientemente;



los cuales son similares a los valores alcanzados en el concreto patrón el cual no tuvo ningún tipo de sustitución.

Castro (2020), en su investigación “Estudio de la sustitución parcial de cemento de alta resistencia inicial por POV en el diseño de concreto”; consideró como objetivo analizar el comportamiento del concreto con sustituciones del cemento por POV en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20%; las propiedades físicas fueron evaluadas a compresión para resistencias $f'c = 14$ y 24 MPa y a los 3, 7, 14 y 28 días. Llegando a la conclusión de que, al sustituir POV por cemento en el concreto es posible, siempre que el factor tiempo para usar el concreto no sea decisivo, ya que según los ensayos a los 28 días la mayoría de las probetas ensayadas alcanzaron el 100% de la resistencia de diseño. Por último, enfatizó que al sustituir del 5% al 15% de cemento por POV las resistencias no varían considerablemente y sugiere que el valor idóneo de sustitución es 10%.

Sánchez (2022) en su investigación “Análisis de la resistencia a compresión del concreto al sustituir parcialmente el cemento hidráulico por POV”; consideró como objetivo primordial determinar la influencia en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=240$ kg/cm² sustituyendo en diferentes porcentajes cemento por POV Tungurahua. Se utilizó el método de densidad óptima para diseñar concreto $f'c=240$ kg/cm², se ensayaron a compresión probetas cilíndricas a los 28 días para el CP y para los porcentajes de sustitución de 10%, 20% y 30% de POV por cemento. Llegando a la conclusión, de que sí se aumenta el porcentaje de sustitución en el concreto este reduce su resistencia a compresión, dado que en los ensayos el CP



obtuvo un valor de 272.60 kg/cm^2 a los 28 días, de manera similar para los concretos con sustituciones en 10%, 20% y 30% se alcanzó valores de 257.65 kg/cm^2 , 204.28 kg/cm^2 y 158.74 kg/cm^2 correspondientemente.

Galeas & Guzmán (2019), en su tesis “Propuesta de dosificación de concreto reemplazando el cemento en diferentes porcentajes de peso, con POV del Tungurahua”; propusieron determinar y plantear una dosificación sustituyendo el cemento por POV proveniente del volcán Tungurahua en porcentajes de 2.5%, 5%, 10% y 20% para concreto estructural (21 MPa y 14 MPa); las propiedades físicas fueron evaluadas a compresión por medio de 4 probetas por cada porcentaje de sustitución ensayadas a los 7, 14, y 28 días. Concluyendo, que todas las probetas lograron alcanzar las resistencias de diseño; además al examinar la POV del Tungurahua se determinó que los constituyentes más importantes son silicatos y aluminatos, los cuales crean enlaces que aumentan la resistencia al tener contacto con el óxido de calcio, en tal sentido, se enfatiza que la POV por sí sola no genera pasta cementante en reacción hidráulica, por esta razón es necesario que tenga contacto con el hidróxido de calcio, este último se origina cuando el cemento y el agua reaccionan.

Hossain (2005), en su investigación “Rendimiento de concretos de cemento prefabricados a base de POV y mezclados in situ en entornos marinos”; analizaron el comportamiento del concreto con sustituciones de cemento por POV; para tal fin se elaboraron probetas de concreto en los cuales se sustituyó cemento por POV en distintos hasta un máximo de 30%, dichas probetas fueron expuestas a un entorno



marino durante un año. Concluyendo, que la resistencia con porcentajes de sustitución entre 10% y 20% de POV, han mostrado los mejores comportamientos.

Olawuyi & Olusola (2010), en su investigación “resistencia a la compresión de la POV/cemento Portland ordinario laterizado”; evaluaron el efecto de la sustitución de cemento por POV, en tal sentido, para determinar la resistencia a la compresión se ensayaron muestras de concreto con diferentes sustituciones que oscilaban entre 0% al 30% a las edades de 7, 14, 21 y 28 días. En base a los resultados se llegó a la conclusión de que a los 28 días el valor de la resistencia a la compresión decrece con el incremento de POV.

Molina (2021), en su investigación “Análisis comparativo de las POV provenientes de los volcanes Cotopaxi, Pululahua, Chalupas, Guagua Pichincha y Tungurahua; para su uso en la fabricación de concreto”; consideró como objetivo realizar un análisis comparativo de nueve tipos de POV de cinco volcanes del Ecuador; las propiedades físicas se evaluaron a compresión en un concreto en el cual se sustituyó 20% de cemento por POV. Obteniendo que, a la edad de 28 días las probetas con sustituciones de POV no alcanzaron la resistencia mínima comparada con la muestra de control, no obstante, a los 90 días de curado algunas muestras de POV alcanzaron los valores mínimos requeridos; por lo que se concluyó que la efectividad de la sustitución de cemento por POV en la elaboración del concreto depende en gran medida de su composición y de un periodo prolongado de curado.



2.1.2 Antecedentes a Nivel Nacional

Apaza et al. (2021), en la investigación “La POV en la obtención de geopolímeros como alternativa en la industria de la construcción”; enfatizaron en que en el Perú existen 8 volcanes activos los cuales tienen como producto principal la POV, a la cual hoy en día no se le da ningún tipo de uso, por ello, en su investigación consideraron como principal propósito encontrar una aplicación a la POV del volcán Ubinas en el área de la construcción a través de la elaboración de materiales cementantes; en tal sentido, se elaboró una pasta a base de partículas finas de POV evaluada a compresión a los 7, 14 y 28 días. Los resultados evidencian que, a los 28 días las propiedades del material cementante obtenido superan a los valores normales del cemento Portland, dado que dicho material alcanzó valores máximos de resistencia a la compresión de hasta 611.83 kg/cm^2 . Por lo tanto, se concluyó que el material cementante a base de POV es una opción factible para emplearlo en la construcción y adicionalmente se estará disminuyendo los daños negativos causa en la salud.

Corimanya (2023), en su investigación “Influencia de la POV en el concreto $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$, de la cantera la Poderosa, Arequipa, 2022”; consideró como objetivo determinar la influencia de la POV en el Concreto $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$, para tal fin se elaboró concreto con sustituciones de entre 0% y 15% de cemento por POV; los cuales fueron ensayados a compresión y tracción. En general, a los 28 días las resistencias a compresión del concreto con sustituciones de entre 0% y 15% superaron al CP, no obstante, solo las resistencias a la tracción con sustituciones del 5% y 10%



se incrementaron superando al CP. Concluyendo, que los mayores valores de resistencia a la compresión y tracción se alcanzaron sustituyendo 5% y 10% de cemento por POV; dado que cuando se sustituyó 5% se obtuvo 252.25 kg/cm^2 con relación a la resistencia a compresión y 24 kg/cm^2 con relación a la resistencia a tracción y cuando se sustituyó 10% se obtuvo 261.27 kg/cm^2 y 26.33 kg/cm^2 de resistencia a compresión y tracción respectivamente.

Briones (2023), en su investigación “Influencia del reemplazo de cemento por POV en la resistencia a compresión del concreto compactado $f'c \ 280 \text{ kg/cm}^2$ en la ciudad de Cajamarca”; consideró como objetivo primordial analizar la influencia de la sustitución parcial de 8%, 12% y 16% de cemento por POV con el propósito de producir un concreto $f'c \ 280 \text{ kg/cm}^2$, las propiedades físicas se evaluaron a compresión a los 7, 14 y 28 días. Concluyendo que, a los 28 días las resistencias a la compresión con sustitución porcentual del 8%, 12% y 16% fueron 301.41 kg/cm^2 , 289.86 kg/cm^2 y 282.50 kg/cm^2 respectivamente, además se recomendó como porcentaje más conveniente el de 8%.

Carrera & Lino (2021) en su tesis “Efectos de la POV en la resistencia a la compresión y en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable $f'c \ 210 \text{ kg/cm}^2$, Lima 2021”; consideraron como propósito primordial determinar las variaciones en las propiedades del concreto permeable con sustituciones porcentuales del 2.5%, 5%, 7.5%, 10% y 12.5% de cemento Portland Tipo I por POV de la cantera Yura (volcán Chachani); los cuales se sometieron a pruebas para determinar sus resistencias a la compresión. Los resultados evidenciaron que el valor de la resistencia



a la compresión para el CP fue de 212.92 kg/cm², para una sustitución del 2.5% fue de 217 kg/cm², para una sustitución del 5% fue de 214.96 kg/cm², para una sustitución del 7.5% fue de 204.96 kg/cm², para una sustitución del 10% fue de 188.95 kg/cm² y para una sustitución del 12.5% fue de 188.04 kg/cm². Concluyendo, que los valores más altos se alcanzan con porcentajes de 2.5% y 5%.

Mendoza (2017), en su investigación “Determinación de las propiedades físico-mecánicas de un concreto $f'_c=210$ kg/cm² con adición de POV en Cajamarca”; consideró como propósito estudiar un CP en contraste con concretos con sustituciones en porcentajes de 10%, 15% y 20% del cemento por POV, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión y flexión según las normativas peruanas a las edades de curado de 7 y 60 días. A los 60 días los ensayos evidenciaron que la resistencia a compresión para concreto con 10% de sustitución de cemento por POV se incrementó en 13%, sin embargo, para los porcentajes de sustitución del 15% y 20% estos valores se redujeron en 10% y 19% correspondientemente; los resultados para la resistencia a flexión para una sustitución del 10% se incrementó en 16.41% y para sustituciones del 15% y 20% estos valores se redujeron en 4.54% y 16.49% correspondientemente; por ende, se llegó a la conclusión de que 10% es la sustitución idónea.

Collantes (2017), en su investigación “Estudio de las propiedades del concreto con adición de POV en Cajamarca”; consideró como objetivo analizar la variabilidad de la resistencia mecánica del concreto $f'_c=250$ kg/cm² elaborado sustituyendo en 10%, 15% y 20% el cemento por POV, para tal fin se realizaron pruebas de resistencia a la compresión y flexión a los 7, 14, 28 y 60 días. A los 60 días todos los valores



resistencia a compresión y flexión de concretos con sustituciones del 10%, 15% y 20% incrementaron. Concluyendo, que el porcentaje idóneo de sustitución es 10% dado que los mayores valores de resistencia se alcanzaron con dicho porcentaje.

Muñoz (2017) en su investigación “Estudio comparativo de concreto elaborado con POV y concreto con cementos puzolánicos atlas en la ciudad de Huancayo”; consideró como objetivo primordial analizar y comparar las propiedades del concreto elaborado con cemento puzolánico y el concreto elaborado con POV, los materiales que se emplearon para elaborar el concreto con sustituciones del 10%, 20% y 30% de cemento por POV son piedra chancada, arena gruesa, puzolana natural, cemento tipo I y agua; para determinar las propiedades mecánicas se realizaron pruebas de resistencia a la compresión y tracción a los 3, 7, 14, 28 y 60 días. Llegando a la conclusión, de que los máximos valores de resistencia y trabajabilidad del concreto, se alcanzaron con porcentajes de 10% y 20% de cemento por POV.

2.1.3 Antecedentes a Nivel Local

Callohuanca (2023), en su investigación “Optimización de las propiedades del concreto usando POV en pavimentos rígidos, Puno, 2023”; consideró como propósito primordial optimizar las propiedades del concreto 175 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 en pavimentos rígidos mediante la adición de POV. Para la resistencia de diseño $f'c$ 175 kg/cm^2 a los 28 días, los concretos con adiciones de 3%, 6% y 10% alcanzaron resistencias a la compresión de 188.53, 194.17 y 200.67 kg/cm^2 respectivamente, por otra parte, para la resistencia de diseño $f'c$ 280 kg/cm^2 los resultados



evidenciaron que los concretos con adiciones de 3%, 6% y 10% alcanzaron resistencias a la compresión de 322.77, 345.07 y 350.63 kg/cm² respectivamente. Concluyendo que, los mejores resultados de resistencia se alcanzaron con el porcentaje de adición del 10%.

Huacasi (2022), en su investigación “Influencia de puzolana toba volcánica en la resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 210 kg/cm², Juliaca 2022”; consideró como objetivo analizar la influencia de la puzolana toba volcánica como sustituto al cemento para un concreto $f'c$ 210 kg/cm², para tal propósito se ensayaron a compresión probetas de concreto con o sin sustituciones porcentuales de puzolana a los 7, 14 y 28 días. A los 28 días la resistencia a la compresión para el CP fue de 215.03 kg/cm², para una sustitución del 5% fue de 236.07 kg/cm² sobrepasando el valor del CP en un 10.01%, para 10% fue de 208.58 kg/cm² lo cual está por debajo del valor del CP en un 3.07% y para 15% fue de 204.38 kg/cm² lo cual está por debajo del valor del CP en un 5.08%. Por lo expuesto, se llegó a la conclusión de que al sustituir cemento por puzolana toba volcánica se mejora las propiedades del concreto y se enfatizó que el porcentaje idóneo de sustitución es 5%.

2.2 EL CONCRETO

2.2.1 Definición del Concreto

Desde el punto de vista de Abanto (2017), el concreto se define como un material compuesto de A°F°, A°G°, cemento Portland, agua y aire; que se combinan en cantidades apropiadas con el propósito de obtener determinadas propiedades como



la resistencia. En ocasiones, cuando se requiere mejorar o cambiar algunas propiedades del concreto se emplean aditivos. (p. 19)

De manera similar Harmsen (2005), afirma que en la elaboración del concreto es primordial la calidad de los materiales, asimismo, se debe considerar otros factores como son el curado, el vaciado, el transporte y el proceso de mezclado (p. 11).

En la misma línea Nilson (2001), argumenta que el concreto es una mezcla de arena, grava, cemento y agua en proporciones adecuadas. Asimismo, es posible elaborar una gran variedad de concretos con distintas propiedades empleando cementos especiales, agregados especiales, aditivos y por medio de métodos especiales de curado; también, dichas propiedades dependen en buena medida de la humedad, la temperatura, las proporciones de la mezcla y la forma en la que se mezclan los componentes del concreto. (p. 1)

Por lo expuesto, existe un consenso entre los diferentes autores al señalar que el concreto es una combinación proporcionada de A^{°F°}, A^{°G°}, cemento, agua y aire; también, se pueden agregar aditivos los cuales cambiaran las propiedades del concreto ya sea en estado fresco, durante el curado o en estado endurecido; con la intención de hacerlo más adecuado a determinadas condiciones y cumpliendo con las especificaciones necesarias.

2.2.2 Componentes del Concreto

Desde la posición de Nilson (2001), es un material que está conformado por la combinación proporcionada de A^{°F°}, A^{°G°}, cemento, agua y aire como elemento

pasivo y opcionalmente aditivos como elementos activos. El cemento al combinarse con agua reacciona químicamente generando enlaces convirtiéndose en un material aglutinante. (p. 1)

Figura 1

Proporciones típicas en volumen de los componentes del concreto

Aditivos = 0.1 % a 0.2 %
Aire = 1 % a 3 %
Cemento = 7 % a 15 %
Agua = 15 % a 22 %
A°G° y A°F° = 60 % a 75%

Nota: Fuente de la figura “Tópicos de tecnología del concreto”, por Pasquel (1998, p. 14).

2.2.3 Cemento Portland

2.2.3.1 Definición del Cemento Portland

Como expresa Pasquel (1998), es un aglomerante hidrófilo que se obtiene al pulverizar el Clinker (calcinación de rocas calizas, arcillas y areniscas). De este modo se obtiene un polvo sumamente fino al cual se le agrega yeso, cuando estos componentes entran en contacto con agua se endurecen adquiriendo propiedades adherentes y resistentes. (p. 17)

2.2.3.2 Composición Química del Cemento Portland

Tabla 1

Componentes químicos del cemento Portland

Nombre del compuesto	Abreviación	Descripción
Silicato Tricálcico	C_3S	Determina la resistencia inicial y está relacionado directamente en el calor de hidratación (representa entre el 50 % al 70 % del Clinker).
Silicato Dicálcico	C_2S	Es determinante en la resistencia a largo plazo (representa entre el 15 % al 30 % del Clinker).
Aluminato Tricálcico	C_3A	Conjuntamente con el yeso controlan el tiempo de fraguado (representa entre el 5 % al 10 % del Clinker).
Aluminoferrito Tetracálcico	C_4AF	Incide en la velocidad de hidratación y en el calor de hidratación (representa entre el 5 % al 15 % del Clinker).
Yeso		Es determinante para regular las reacciones de hidratación del cemento.
Óxidos de potasio, magnesio, manganeso, titanio y sodio.		Están relacionados con la expansión después del fraguado, tiempo de fraguado, etc.

Nota: Datos adaptados de “El concreto y otros materiales para la construcción”, por Gutiérrez (2003, p. 38) y de Tecnología del concreto, por Abanto (2017, p. 84).

2.2.3.3 Clasificación del Cemento Portland

Existen 5 tipos de cementos Portland (tipo I, II, III, IV y V); las características de dichos cementos están descritos en la ASTM C 150.

En esa misma línea Harmsen (2005), afirma que el tipo I es el cemento que puede ser empleado en general y no tiene propiedades especiales; el tipo II es el cemento utilizado en obras expuestas a los sulfatos y donde se necesita



medido calor de hidratación; el tipo III es el cemento con una alta resistencia temprana ya que la resistencia de un concreto elaborado con cemento tipo I o tipo II en 28 días es igual a la resistencia de un concreto elaborado con cemento tipo III en 3 días; el tipo IV es el cemento que necesita bajo calor de hidratación y el tipo V es el cemento con alta resistencia al ataque a los sulfatos. (p. 11)

Ahora bien, adicionalmente existen los cementos adicionados los cuales agregan puzolanas o escorias a su composición, ocasionando que se modifiquen sus propiedades. También, existen cuatro tipos de cementos adicionados el tipo IS, tipo ISM, tipo IP y tipo IPM; las características de dichos cementos están especificados en la norma ASTM C 595.

Harmsen (2005), argumenta que el tipo IS es un cemento con escoria en un rango de 25 % a 70 % del peso total, el tipo ISM es un cemento con escoria en menos del 25 % del peso total, el tipo IP es un cemento con puzolana en un rango de 15 % a 40 % del peso total y el tipo IPM es un cemento con puzolana en menos del 15 % del peso total. (p. 12)

Por lo expuesto, en esta investigación para elaborar el concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV, se empleó el cemento Portland tipo I de marca “Wari” de 42.5 kg, el cual es comercializado en la zona de estudio; además este material cumple con las especificaciones de las normas NTP 334.009 y ASTM C 150.



2.2.4 Agregados Para el Concreto

2.2.4.1 Definición de Agregados

Como lo hace notar Pasquel (1998), los agregados son materiales inertes que se mezclan con los aglomerantes con el propósito de formar una estructura resistente. El volumen de los agregados representa aproximadamente $\frac{3}{4}$ del volumen total, por ende, la calidad de este material es fundamental para el concreto (p. 69). En definitiva, los agregados son materiales granulares que ocupan la mayor parte del volumen del concreto y que pueden emplearse en su estado natural o artificial y que para obtener un concreto de calidad es muy importante que los agregados tengan buena durabilidad, resistencia y que estén sin impurezas.

2.2.4.2 Clasificación de los Agregados Para el Concreto

Los agregados se clasifican por su procedencia, gradación y densidad; no obstante, Pasquel (1998) considera que la clasificación mencionada es la más usual, sin embargo, existen muchas otras formas de clasificar a los agregados (p. 69).

2.2.4.2.1 Por su Procedencia

Primeramente, los agregados clasificados por su procedencia se dividen en agregados naturales y artificiales; seguidamente se detalla características de esta clasificación.



Según Gutiérrez (2003), los agregados naturales son formados mediante la explotación de canteras y el arrastre de ríos; entre las principales características que tiene el material cantera se puede mencionar que presenta forma angular y superficie rugosa, entre tanto, el material extraído de río presenta forma redondeada y textura lisa. (p. 16)

Como expresa Pasquel (1998), los agregados artificiales se originan modificando los materiales naturales, obteniendo productos derivados que con ayuda de proceso adicional se optimizan para poder utilizarlos en la elaboración del concreto; algunos ejemplos de agregados artificiales son el concreto reciclado, la escoria de altos hornos, la arcilla horneada, la micro sílice, limadura de hierro, etc. (p. 70)

2.2.4.2.2 Por su Densidad

Teniendo en cuenta a Pasquel (1998), si el valor de la G_e es menor a 2.5 se considera agregado ligero, si el valor de la G_e se encuentra en el rango de 2.5 hasta 2.75 se consideran agregado normal y si el valor de la G_e es mayor a 2.75 se considera agregado pesado. (p. 72)

2.2.4.2.3 Por su Tamaño

Tabla 2

Criterios para la clasificación de agregados por su tamaño

Tamaño de partícula (mm)	Denominación	Clasificación	Recomendación
< 0,002	Arcilla	Fracción muy fina	Material no recomendable para producir concreto.
0,002 hasta 0,074	Limo	Fracción muy fina	Material no recomendable para producir concreto.
0,074 hasta 4,76	Arena	A°F°	Material calificado para producir concreto.
4,76 hasta 19,1	Gravilla	A°G°	Material calificado para producir concreto.
19,1 hasta 50,8	Grava	A°G°	Material calificado para producir concreto.
50,8 hasta 152,4	Piedra	A°G°	Material calificado para producir concreto.
> 152,4	Piedra bola, Rajón	A°G°	Material calificado para producir concreto.

Nota: Datos adaptados de “Concreto simple”, por Rivera (2002, p. 53).

2.2.4.3 Agregado Fino

La norma E.60 define al agregado fino como arena de procedencia natural o artificial o mezcla de ambos. Las partículas que lo conforman deben tener forma angular, resistentes, duras y limpias. Además, no debe contener sustancias y/o materias nocivas. Por otro lado, Harmsen (2005) sostiene que el agregado fino debe cumplir con determinadas características como son la dureza, la durabilidad, ser fuerte y estar limpio de impurezas (materias orgánicas, limo, álcalis, pizarra y polvo) (p. 12).



Ahora bien, en la sección dos del Manual de Ensayo de Materiales MTC (2016), se establece que para dividir un conjunto de A°F° y A°G°; esta debe ser dividida empleando la malla N° 4 (4,75 mm). Por otra parte, la norma NTP 400.037 (2018) y el RNE (2006) definen que el A°F° es el material que pasa por el tamiz 3/8" (9,5 mm) y es retenido por el tamiz N° 200 (0,074 mm), además, es importante resaltar que el A°F° debe satisfacer los requisitos establecidos en la NTP 400.037. Con base a lo anteriormente expuesto, en la presente investigación se empleó la malla N° 4 (4,75 mm) para poder dividir agregados finos y gruesos.

2.2.4.4 Agregado Grueso

La norma nacional E.060 define al agregado grueso como grava de procedencia natural o artificial cuyas partículas tendrán primordialmente forma angular o semi-angular, resistentes, duras, de textura rugosa y limpias. Además, no debe contener sustancias y/o materias nocivas.

Como afirma Harmsen (2005), el A°G° es uno de los más importantes componentes del concreto, se origina de la disgregación natural o artificial de las rocas (p. 13). En ese mismo contexto, el Manual de Ensayo de Materiales MTC (2016), la norma NTP 400.037 (2018) y el RNE (2006) definen, que el A°G° es material retenido por la malla N° 4 (4,75 mm), asimismo, el A°G° debe satisfacer los requisitos establecidos en la NTP 400.037.



2.2.4.4.1 Tamaño Máximo

Según la norma NTP 400.037 el TM del agregado se refiere a la abertura del menor tamiz de la serie de tamices empleada, por el cual se permite que el 100% del material pase, además es importante resaltar que el TM se ubica sobre el TMN; en esa misma línea, Sánchez (2001) menciona que en la práctica el TM del agregado indica el tamaño de partícula más grande que existe en la masa del agregado (p. 78). Por lo expuesto, los resultados obtenidos para el A°G° en la presente investigación indican un TM de 1 ½".

2.2.4.4.2 Tamaño Máximo Nominal

Conforme a la NTP 400.037 el TMN se define como la abertura del menor tamiz de la serie de tamices empleada, en el cual se realiza la primera retención de material en un porcentaje igual o mayor a 15%; en ese mismo contexto, Sánchez (2001) argumenta que en la práctica el TMN representa la media de los tamaños de las partículas más grandes que existe en la masa del agregado (p. 78). Teniendo presente lo expuesto, los resultados obtenidos para el A°G° en la presente investigación indican un TMN de 1".

2.2.4.5 Agua Para el Concreto

Como opina Harmsen (2005), el agua es un componente primordial en la elaboración del concreto, el cual se encarga de mejorar la trabajabilidad y de hidratar el cemento; además, el agua debe encontrarse limpio y estar libre de materias orgánicas, aceites, álcalis, ácidos y sales (p. 13). Se hace necesario



resalta que en las normativas NTP 339.088 (2019) y ASTM C 109 M; se establecen los requisitos necesarios que el agua debe cumplir para que pueda ser empleado en la elaboración del concreto.

2.2.4.6 Aditivos Para el Concreto

Según Pasquel (1998), son materiales que se incorporan a la mezcla en el transcurso o después de la formación de la pasta de cemento, con la finalidad de mejorar intencionalmente algunas propiedades del concreto (p. 113).

2.2.5 Propiedades del Concreto

Como lo hacen notar Mollo & Rosas (2019), hay una íntimo vínculo entre las propiedades del concreto y ciertas condiciones como la relación a/c, la densidad de la pasta, las proporciones de sus componentes y las características de los agregados; las cuales desempeñan un rol muy importante en las propiedades del concreto. De eso se desprende, que para poder entender de mejor manera el comportamiento del concreto no solo basta con analizar sus propiedades en conjunto, sino que, adicionalmente se debe analizar todos los componentes del concreto de forma individual. (p. 9)

2.2.5.1 Propiedades del Concreto en Estado Endurecido

Empleando las palabras de Mollo & Rosas (2019), las principales propiedades del concreto en estado endurecido son la resistencia (a compresión, flexión y tracción), la resistencia al desgaste, la impermeabilidad, las propiedades acústicas, las propiedades elásticas y las propiedades térmicas



(p. 10). Atendiendo a estas consideraciones, en la presente investigación se realizaron pruebas del concreto endurecido, las cuales son resistencia a la compresión, flexión y tracción.

2.2.5.1.1 Resistencia a la Compresión

Según Sánchez (2001), en la actualidad no existe una regla absoluta que pueda explicar el comportamiento del concreto, ya que una estructura convencional es sometida a diferentes clases de esfuerzos, no obstante, la propiedad principal es la resistencia a la compresión ya que al incrementarse la mayor parte de las propiedades mejoran. (p. 138)

La resistencia a la compresión es el parámetro con la más alta difusión a nivel estructural y se refiere a la carga máxima por centímetro cuadrado que el concreto puede soportar sin que sufra cualquier tipo de falla.

2.2.5.1.2 Resistencia a la Flexión

Según Sánchez (2001), es otra propiedad mecánica del concreto de mucho valor, especialmente en estructuras de solo concreto (ejemplo los pavimentos), en los que también se presentan esfuerzos de tracción provocados por la flexión (p. 141). Por lo tanto, se podría decir que la resistencia a la flexión tiene una amplia utilidad en proyectos de pistas y losas.

Ahora bien, Gutiérrez (2003) afirma que el módulo de ruptura alcanza valores que varían alrededor del 10% al 20% de la resistencia a la compresión,



ya que comúnmente si la resistencia a la compresión incrementa la resistencia a la flexión también lo hace (p. 56).

2.2.5.1.3 Resistencia a la Tracción

La tracción está relacionada con el agrietamiento del concreto debido a las variaciones en la temperatura y especialmente por la contracción que el fraguado incita, aunado a esto, Niño (2010) afirma que comúnmente la resistencia a la tracción del concreto no es considerada en el diseño estructural por presentar bajos valores (p. 124).

En general, se podría decir que la resistencia a la compresión es superior en contraste con la resistencia a la tracción de un concreto, ya que como argumenta Abanto (2017), la resistencia a la tracción es alrededor del 10% al 15% de la resistencia a la compresión (p. 38).

2.2.5.2 Propiedades del Concreto en Estado Fresco

Como plantea Mollo & Rosas (2019), las propiedades del concreto fresco de mayor importancia son el peso unitario, la trabajabilidad, la durabilidad, la permeabilidad, la hermeticidad, la exudación, la consistencia, la segregación, la cohesividad, entre otros (p. 10). Atendiendo a estas consideraciones, en la presente investigación se realizó la prueba del asentamiento “Slump” para analizar la trabajabilidad.



2.2.5.2.1 Trabajabilidad o Manejabilidad

Teniendo en cuenta a Gutiérrez (2003), se define como la capacidad del concreto para ser mezclado, transportado, colocado, compactado convenientemente; de manera que durante estos procedimientos no exista exudación ni segregación. En ese mismo contexto, los factores que condicionan la trabajabilidad son el contenido de agua; la granulometría de los agregados; el insuficiente contenido de arena en relación al agregado grueso; el contenido de aire y las condiciones relacionados a la producción, colado, clima y temperatura. (p. 51)

Complementariamente Abanto (2017), argumenta que en la actualidad no existe alguna prueba que posibilite medir la trabajabilidad, sin embargo, comúnmente se le puede apreciar en las pruebas de consistencia (p. 50).

2.2.5.2.2 Consistencia

Como expresa Abanto (2017), la consistencia o también denominada fluidez se define como el grado de humedad de la mezcla y está vinculada con el estado de la mezcla (puede ser seca o fluida), en ese sentido, se puede afirmar que la consistencia depende fundamentalmente del contenido de agua empleada en la mezcla. (p. 50)

Es importante resaltar, que muchas veces pueden confundirse los conceptos de consistencia y trabajabilidad cuando en realidad son diferentes.

Seguidamente, se presentan los asentamientos recomendados para cada clase de mezcla de concreto (véase tabla 3).

Tabla 3

Asentamientos recomendados para cada clase de mezcla de concreto

Consistencia	Asentamiento (Slump)	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0" hasta 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" hasta 4"	Trabajable	Vibración ligera
Fluida	> 5"	Muy trabajable	Chuseado

Nota: Datos adaptados de "Tecnología del concreto", por Abanto (2017, p. 52).

2.2.5.2.3 Segregación

De acuerdo con Abanto (2017), se define como la distribución no homogénea de los diferentes elementos que conforman la mezcla de concreto en estado fresco. Al respecto, cuando se realizan actividades incorrectas de manipulación y colocación; en la mezcla ocurre que las partículas gruesas tienden a ubicarse en el base mientras que las partículas finas tienden a ubicarse en la superficie. (p. 52)

2.2.5.2.4 Exudación

En la opinión de Gutiérrez (2003), la exudación está relacionada con la sedimentación de los sólidos de la mezcla, ya que este último provoca que cierta cantidad de agua ascienda con dirección a la superficie, en tal sentido, la exudación sucede posteriormente a la colocación de la mezcla en el encofrado. (p. 52)



2.2.6 Diseño de Mezclas de Concreto

Desde el punto de vista de Gutiérrez (2003), el propósito del diseño de mezclas de concreto es definir la dosificación eficientemente entre los elementos que componen el concreto, de tal modo, que exista un balance entre la economía y el cumplimiento de los requerimientos relacionados con la resistencia, durabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad y consistencia; dichos requerimientos dependen del uso para el cual este destinado el concreto en los proyectos constructivos. (p. 61)

En esa misma línea Pasquel (1998), sostiene que hoy por hoy existen una diversidad de métodos para el diseño de mezclas que en general establecen gráficos y/o tablas que tienen el propósito de determinar las proporciones y/o cantidades de agua en base al tamaño máximo, geometría de los agregados y el asentamiento; relaciones agua/cemento en función a la resistencia a compresión determinadas empíricamente; las proporciones en que los agregados deben interactuar en función a gradaciones y consideraciones prácticas y/o teóricas. En consecuencia, se puede afirmar que en general no existe un método que sea perfecto y que pueda dar solución a la totalidad de los casos, por lo tanto, las diferencias entre uno y otro método se basan en los criterios del profesional quien los aplique. (p. 172)

En esta investigación se ha empleado el diseño de mezclas por el método ACI 211 ya que como indica Gutiérrez (2003), es un método con mayor precisión y que su utilización representa una guía que permite determinar de manera más fácil proporciones idóneas (p. 67). Aunado a esto, Pasquel (1998) enfatiza que no es



recomendable aplicar este método cuando se requieran condiciones constructivas especiales (p. 185).

2.3 PUZOLANA

2.3.1 Consideraciones Generales

Desde hace mucho tiempo los constructores han estado investigando sobre tecnologías diferentes que representen una solución durante la ejecución de sus construcciones. Al respecto Kosmatka et al. (2004), declara que numerosas obras griegas, romanas y demás; fueron construidas de concreto con puzolana y a la actualidad se encuentran en óptimas condiciones; en América este material se empezó a utilizar en el siglo XX, en construcciones como elementos cementantes (pp. 80-81).

Las puzolanas son empleadas como sustituto del cemento ya que como indica Sánchez (2022), al emplearlos en la construcción se contribuye con la reducción de la contaminación ambiental, ya que las puzolanas son capaces de sustituir parcialmente alrededor del 15% hasta 40% en peso del cemento sin disminuir considerablemente sus propiedades (p. 13). En paralelo Fragoso & Visbal (2021), exponen en base a investigaciones que la fabricación de cementos alternativos haciendo uso de la puzolana en un porcentaje del 5-15%, reduce la producción total de Clínker (proceso con mayor gasto energético en la fabricación del cemento) (p. 9). Actualmente, las puzolanas mayormente empleadas en la construcción son el esquistó calcinado, arcillas calcinadas y metacaolinita; los cuales son sometidos a elevadas temperaturas para posteriormente ser pulverizados.

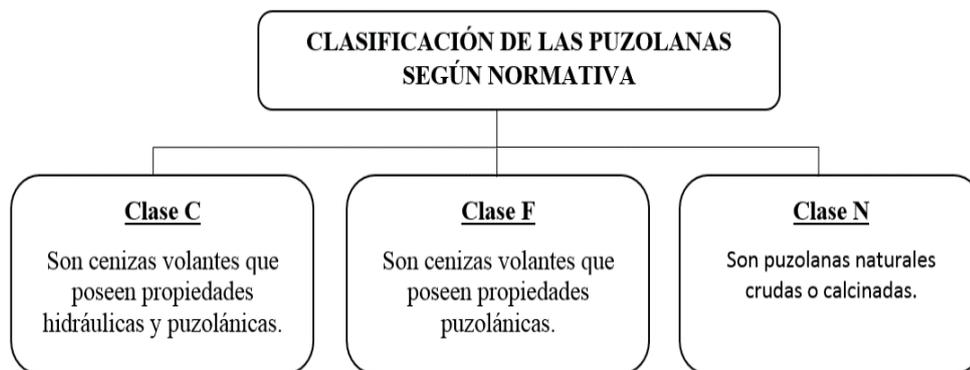
2.3.2 Definición de Puzolana

Según la NTP 334.090 y ASTM C 618 la puzolana se define como sustancias con origen industrial o natural que son silicoaluminosas, síliceas, o una mezcla de los dos. Asimismo, estas sustancias no son capaces de endurecer por sí solos cuando entran en contacto con agua, sin embargo, cuando son pulverizados y con la presencia de agua ocurre una reacción química con el hidróxido de calcio formando compuestos capaces desarrollar resistencias.

2.3.3 Clasificación de las Puzolanas Según Normativa

Figura 2

Clasificación de las puzolanas según su normativa



Nota: Datos adaptados de “la norma NTP 334.104 (2011)”.

2.3.3.1 Clase N

Son puzolanas naturales calcinadas o crudas, como por ejemplo las cenizas volcánicas, tufos, lutitas, etc. Ahora bien, según esta clasificación las puzolanas deberán cumplir con los requisitos químicos establecidos en la NTP 334.104 (véase tabla 4).

Tabla 4

Requisitos químicos de las puzolanas

Composición Química	Clase		
	C	F	N
Óxido de silicio (SiO_2) + óxido de aluminio (Al_2O_3) + óxido de fierro (Fe_2O_3), mínimo %.	50	70	70
Óxido de azufre (SO_3), máximo %.	5	5	4
Contenido de humedad, máximo %.	3	3	3
Pérdida por calcinación, máximo %.	6	6	10

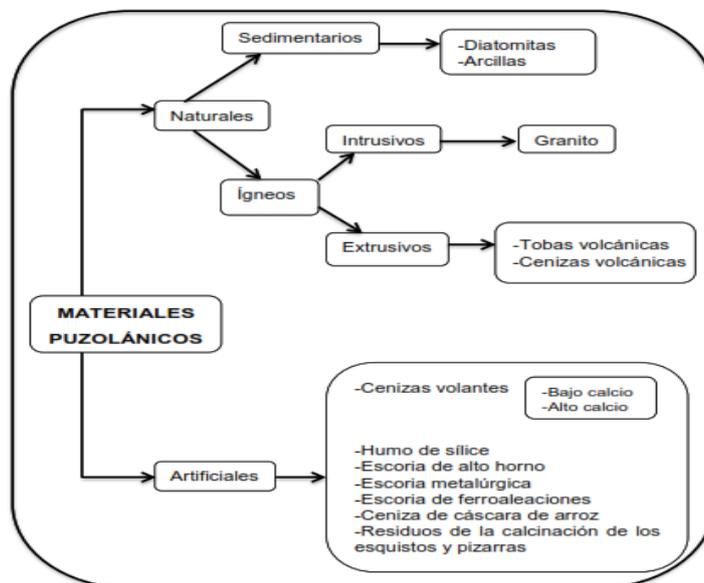
Nota: Datos adaptados de “la norma NTP 334.104 (2011)”.

2.3.4 Clasificación de las Puzolanas Según su Origen

Teniendo en cuenta a Juárez (2012), se pueden clasificar según su origen en dos grupos, los cuales son puzolanas naturales y artificiales (p. 2-4).

Figura 3

Clasificación de las puzolanas según su origen



Nota: Fuente de la figura “La utilización de cáscara de arroz bajo el proceso de calcinación controlada como puzolana artificial en el diseño de morteros”, por Juárez (2012, p. 2).



2.3.4.1 Puzolanas Naturales

Como sostiene Juárez (2012), las puzolanas naturales están conformadas por una serie de productos naturales que provienen de rocas y minerales volcánicos; fundamentalmente, son cenizas volcánicas que se originan como consecuencia de actividades volcánicas. (p. 4)

2.3.4.1.1 Cenizas Volcánicas

Desde la posición de Juárez (2012), las cenizas volcánicas son pequeñas partículas de rocas, minerales y vidrio volcánico; las cuales se originan mediante actividades volcánicas de carácter explosivo (p. 5). Por otro lado, Casadevall (1994) afirma que están constituidas por diminutos fragmentos de minerales, vidrios y rocas volcánicas; comúnmente estos fragmentos de ceniza volcánica tienen un diámetro menor o igual a 2 mm.

En esa misma línea Stewart et al. (2013), señalan que las cenizas volcánicas se originan cuando los gases que se encuentran en el interior de la cámara de magma (roca fundida) de un volcán se expanden violentamente, esto causa que el magma suba hasta salir del volcán para luego descomponerse por la fuerza de las explosiones, al enfriarse el magma se endurece en partículas de roca y vidrio volcánico. Además, estas explosiones rompen la roca sólida de la cámara de magma y de las laderas del volcán; mezclándolos con las partículas de magma endurecidos en el aire formando una nube de ceniza volcánica. (p. 2)

Ahora bien, Taylor & Lichte (1980), exponen que las cenizas volcánicas están conformadas mayoritariamente de óxidos de silicio, aluminio y hierro; el resto lo conforman óxidos de calcio (CaO), sodio (Na₂O), magnesio (MgO) y potasio (K₂O). (p. 6)

Por último, es importante resaltar que no todas las cenizas tienen las mismas propiedades, ya que como mencionan Toapanta et al. (2021), las cenizas de origen volcánico tienen diferentes propiedades, las cuales dependen del tipo de volcán y su origen (p. 20).

2.3.5 Propiedades de las Puzolanas

2.3.5.1 Propiedades Físicas y Composición Química de las Puzolanas

Desde el punto de vista de Acevedo (2010), las puzolanas deben estar constituidas en más del 70% de los óxidos más importantes (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) y el resto lo constituyen otros óxidos (p. 9-11).

Tabla 5

Propiedades físicas típicas de las puzolanas

Propiedad y/o característica	Descripción
PH	7
Solubilidad en agua	Insoluble
Punto de fusión	800 °C – 900 °C
Punto de inflamación	No inflamable
Estado	Sólido
Forma	Granulado o en rocas
Color	Negro
Olor	Inodora

Nota: Datos adaptados de “Caracterización de la ceniza volcánica del Tungurahua para la fabricación de un aglomerante cal-puzolana”, por Acevedo (2010, p. 10).

Tabla 6

Composición química de las POV (cenizas volcánicas) según diferentes investigaciones

Elemento	(Leonelli et al., 2013)	(Lemoungna et al., 2014)	(Serra et al., 2015)	(Vu et al., 2011)	(Djon Li Ndjock et al., 2017)
Óxido de silicio (SiO_2)	44 - 47	43 - 55	70.43	47.01	40 - 46
Oxido de aluminio (Al_2O_3)	14 - 16	15 - 16	15.03	19.48	12 - 16
Oxido de calcio (CaO)	8 - 10	6 - 11	1.45	2.31	6 - 13
Oxido de magnesio (MgO)	3 - 7	3 - 7	0.64	0.35	5 - 10
Óxido de hierro (Fe_2O_3)	10 - 14	8 - 14	3.52	1.90	12 - 13
Oxido de sodio (Na_2O)	3 - 4	4.1 - 5.3	5.43	1.58	0.5 - 1.5
Óxido de potasio (K_2O)	1 - 3	1.5 - 3	2.47	0.77	0 - 3

Nota: Datos adaptados de “Utilización de la ceniza volcánica, con diferentes métodos de activación puzolánica”, por LLumigusin y Pallango (2022, p. 15).

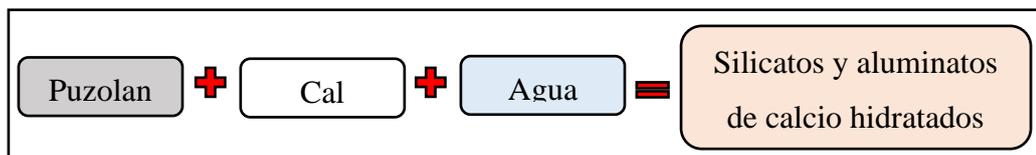
Es importante resaltar, que diversos autores afirman que es de suma importancia estudiar, analizar y realizar pruebas a las POV antes de utilizarlas en el concreto, puesto que su composición es relativamente variable ya que depende de diferentes factores, es por eso, que es esta investigación estudia el comportamiento de la POV (ceniza volcánica del volcán Ubinas) cuando se sustituye parcialmente por el cemento Portland Tipo I en las propiedades del concreto 210 kg/cm².

2.3.6 Reacción o Actividad Puzolánica

La reacción puzolánica o también denominada actividad puzolánica se refiere a la capacidad del material puzolánico de reaccionar con el hidróxido de calcio (cal), en tal sentido según Castro (2020), la reacción puzolánica se fundamenta en una regla general, la cual se basa en que la sílice y alúmina (constituyentes ácidos de las puzolanas) reaccionan con el hidróxido de calcio (cal); como resultado estas uniones son inestables transformándose sin dificultad en otros (p. 16). A continuación, la figura 4 expone la representación de la reacción o actividad puzolánica típica de las puzolanas.

Figura 4

Representación gráfica de la reacción o actividad puzolánica típica



Nota: Fuente de la figura “Estudio de la sustitución parcial de cemento de alta resistencia inicial por puzolana de ceniza volcánica en el diseño de hormigón”, por Castro (2020, p. 16).

Acevedo (2010), enfatiza que la reacción puzolánica depende de factores como la composición mineralógica, la naturaleza de la puzolana, la finura de la puzolana, la relación cal-puzolana de la mezcla, y la temperatura de la reacción. (p. 11)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó en la ciudad de Puno (3826 m.s.n.m.), la cual está ubicada geográficamente en el distrito, provincia y departamento de Puno (véase figura 5).

Figura 5

Localización geográfica de la ciudad de Puno



Nota: Figura adaptada del “Mapa del departamento de Puno”, por INEI (2014).

Todos los ensayos necesarios para la presente investigación se ejecutaron en las instalaciones del laboratorio de la empresa Corporación ACS Consultores S.A.C., dicho laboratorio queda ubicado en el distrito de Puno, provincia de Puno y departamento de Puno (véase tabla 7 y figura 6).

Tabla 7

Coordenadas UTM del laboratorio de la Corporación ACS Consultores S.A.C.

Coordenadas UTM: Zona 19 sur				
Descripción	Nombre	Norte	Este	Cota o altura
BM	Laboratorio	8245292.000	394246.000	3828.000

Nota: Datos obtenidos de Google Earth Pro.

Figura 6

Ubicación del laboratorio de la empresa Corporación ACS Consultores S.A.C.



Nota: Ubicación del laboratorio de la empresa Corporación ACS Consultores S.A.C.



3.2 TIEMPO DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se ejecutó durante un tiempo de 17 meses aproximadamente, el cual inició con la elaboración del proyecto de tesis en agosto del 2023 y culminó con la sustentación de la tesis en diciembre del 2024.

3.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 Enfoque de la Investigación

El enfoque de esta investigación es CUANTITATIVO, dado que se emplea la recopilación y análisis de datos numéricos para encontrar respuestas a las preguntas de investigación y probar hipótesis previamente formuladas.

3.3.2 Alcance o Nivel de Investigación

El nivel de esta investigación es CORRELACIONAL, dado que se relaciona la variable independiente “sustitución parcial de cemento por POV” con la variable dependiente “propiedades del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ”.

3.3.3 Diseño de Investigación

El diseño de esta investigación es EXPERIMENTAL, puesto que la variable independiente “sustitución parcial de cemento por POV” es la que se modifica para analizar los efectos en la variable dependiente “propiedades del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ”.



3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Población o Universo

El universo poblacional está constituido por 4 diseños de mezcla, el primer diseño de mezcla para el $CP f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y los tres restantes para concretos con sustituciones parciales en peso del cemento por POV en porcentajes de 5 %, 10 % y 15 %; es importante resaltar que para los diseños de mezcla en mención se utilizó el cemento Portland tipo I.

3.4.2 Muestra

En la presente investigación se ha optado por el muestreo no probabilístico-intencional, ahora bien, para la determinación de la cantidad de muestras necesarias para las pruebas de resistencia a compresión y tracción en concreto endurecido se consideró lo establecido en la norma técnica nacional E.060 y la norma técnica internacional ACI 318S/318SR (2005), dichas normativas indican básicamente que se debe considerar como una prueba de resistencia a la media de las resistencias de dos especímenes cilíndricos mínimamente, las cuales deben ser obtenidas de la misma muestra de concreto. Con base a lo expuesto, se optó por elaborar la cantidad de tres especímenes cilíndricos para el CP y tres especímenes cilíndricos para cada concreto con sustitución parcial en peso de cemento (tipo I) por POV en 5 %, 10 % y 15 %; obteniendo un total de 36 especímenes cilíndricos ensayados a compresión a las edades de curado de 7, 14 y 28 días; y 36 especímenes cilíndricos ensayados a tracción a las edades de curado de 7, 14 y 28 días (véanse tablas 8 y 9).



Tabla 8

Cantidad de muestras (especímenes cilíndricos) de concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV para pruebas de compresión

Descripción		Cantidad de especímenes cilíndricos			Parcial	Total
Cemento	POV	7 días	14 días	28 días		
100.00%	0.00%	3	3	3	9	
95.00%	5.00%	3	3	3	9	36
90.00%	10.00%	3	3	3	9	
85.00%	15.00%	3	3	3	9	

Tabla 9

Cantidad de muestras (especímenes cilíndricos) de concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV para pruebas de tracción

Descripción		Cantidad de especímenes cilíndricos			Parcial	Total
Cemento	POV	7 días	14 días	28 días		
100.00%	0.00%	3	3	3	9	
95.00%	5.00%	3	3	3	9	36
90.00%	10.00%	3	3	3	9	
85.00%	15.00%	3	3	3	9	

Para determinar la cantidad de muestras necesarias para las pruebas de resistencia a la flexión se tuvo en cuenta lo establecido en las normas NTP 339.183 y ACI 318S/318SR (2005), la primera norma indica que comúnmente se deben ensayar tres o más especímenes prismáticos, por su parte la segunda norma indica básicamente que se debe ensayar dos especímenes prismáticos mínimamente las cuales deben ser obtenidas de la misma muestra de concreto. Por lo expuesto, se optó por elaborar la cantidad de tres especímenes prismáticos de CP y tres especímenes

prismáticos para cada concreto con sustitución parcial en peso de cemento por POV en 5 %, 10 % y 15 %; obteniendo un total de 36 especímenes prismáticos ensayados a edades de curado de 7, 14 y 28 días (véase tabla 10).

Tabla 10

Cantidad de muestras (especímenes prismáticos) de concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV para pruebas de flexión

Descripción		Cantidad de especímenes prismáticos			Parcial	Total
Cemento	POV	7 días	14 días	28 días		
100.00%	0.00%	3	3	3	9	
95.00%	5.00%	3	3	3	9	36
90.00%	10.00%	3	3	3	9	
85.00%	15.00%	3	3	3	9	

Para las pruebas de Slump se tuvo en cuenta la norma ASTM C 143/C143M-10 (2010), por ende, se optó por elaborar tres muestras de CP y tres especímenes prismáticos para cada concreto con sustitución parcial en peso de cemento por POV en 5 %, 10 % y 15 %; obteniendo un total de 12 muestras. (véase tabla 11).

Tabla 11

Cantidad de muestras para las pruebas de medición del asentamiento en concreto fresco sin y con sustitución parcial de cemento por POV

Descripción		Cantidad de muestras Slump	Total
Cemento	POV		
100.00%	0.00%	3	
95.00%	5.00%	3	12
90.00%	10.00%	3	
85.00%	15.00%	3	

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La variable independiente es “sustitución parcial de cemento por POV” y se analiza su incidencia en la variable dependiente “propiedades del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ”.

Tabla 12

Operacionalización de variables de la investigación

Variable independiente	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de medida	Nivel de medición
Sustitución parcial de cemento por puzolana de origen volcánico.	Sustitución parcial en porcentajes.	0%, 5%, 10% y 15%	Balanza digital.	De razón

Variable dependiente	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de medida	Nivel de medición
Propiedades del concreto.	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	Resistencia a la compresión	Máquina para resistencia a compresión.	De razón
		Resistencia a la flexión	Máquina para resistencia a flexión.	De razón
		Resistencia a la tracción	Máquina para resistencia a tracción.	De razón
		Asentamiento (Slump)	Cono de Abrams.	De razón

3.6 PRUEBA DE NORMALIDAD, ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para evaluar estadísticamente los resultados de esta investigación se consideró realizar la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk), el análisis estadístico y finalmente la prueba



de hipótesis (t de student); además es importante resaltar que todos los cálculos se realizaron con ayuda del programa informático “Microsoft Excel”.

3.6.1 Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk

Citando a Yáñez (2016), es primordial determinar si un grupo de datos se ajusta a una distribución normal, dado que del rechazo o no rechazo de este supuesto dependerá el uso a posteriori de pruebas paramétricas o no paramétricas para examinar las distintas hipótesis de estudio; en tal sentido, las pruebas de normalidad más conocidas son Shapiro-Wilk (prueba más utilizada), Kolmogórov-Smirnov, Anderson-Darling y Ryan-Joiner. (p. 43)

Para verificar si los resultados alcanzados en las diferentes pruebas provienen de una distribución normal se optó por emplear la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, puesto que como argumenta Novales (2010), se utiliza con el propósito de contrastar la normalidad de un grupo de datos, además de que su utilización depende del tamaño de la muestra, ya que esta no debe superar las 50 observaciones.

3.6.1.1 Procedimiento Para la Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk

Flores & Flores (2021), manifiestan que esta prueba se fundamenta en el cálculo del estadístico ($W_{\text{calculado}}$), el cuál es comparado con el valor crítico (W_{tabla}) (p. 143). A continuación, se detalla el procedimiento de la prueba de Shapiro-Wilk.

3.6.1.1.1 Planteamiento de las Hipótesis

Primeramente, se procede a plantear tanto una hipótesis nula (H_0) como una hipótesis alterna (H_a).

3.6.1.1.2 Nivel de Significación

En el presente trabajo de investigación se optó por elegir el nivel de significación de 0.05 o 5%, en otras palabras, con un 95% de nivel de confianza, puesto que como enfatiza Martínez (2012), es posible elegir cualquier valor para el nivel de significación (usualmente 1%, 5% y 10%), ya que por lo general se trabaja con un valor del 5% (p. 328).

3.6.1.1.3 Cálculos del Estadístico de Prueba

Seguidamente, para calcular el estadístico de prueba de Shapiro-Wilk se emplea las ecuaciones 1, 2, 3 y 4.

$$W_{calculado} = \frac{z^2}{Q} \quad (1)$$

$$z = \sum_{i=1}^k a_i * [x_{(n-i+1)} - x_i] \quad (2)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n (x_i - M)^2 \quad (3)$$

$$M = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_i}{n} \quad (4)$$



Donde:

$W_{calculado}$ = Estadístico de prueba

n = Número de observaciones

i = Posición de cada observación

a_i = Valor del coeficiente del test de Shapiro-Wilks

M = Promedio de las muestras

3.6.1.1.4 Formular Regla de Decisión

Los valores de $W_{calculado}$ y W_{tabla} se comparan con la finalidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, en tal sentido, si se cumple que $W_{calculado} > W_{tabla}$ entonces se acepta la H_0 y se rechaza la H_a , por otro lado, si $W_{calculado} < W_{tabla}$ entonces se rechaza la H_0 y se acepta la H_a .

3.6.1.1.5 Toma de Decisión

Con base a los pasos expuestos anteriormente, se toma una decisión general para las pruebas tanto en estado fresco como en estado endurecido.

3.6.2 Análisis Estadístico

Como señala Posada (2016), el análisis estadístico es primordial en la investigación puesto que nos aporta convicción a cerca de la fiabilidad de los datos recolectados y con base a ordenar, clasificar, representar y analizar los datos generados poder analizar los resultados o poder realizar estimaciones sobre proyecciones futuras. (p. 13)

En la presente investigación, se realizarán cálculos para determinar las medidas de tendencia central, medidas de dispersión y medidas de asimetría (véase figura 6); de los especímenes cilíndricos y prismáticos ensayados en laboratorio, las cuales fueron elaboradas de concreto considerando diferentes porcentajes de sustitución de cemento por puzolana de origen volcánico.

Figura 7

Clasificación de las medidas estadísticas



Nota: Fuente “Estadística básica para los negocios”, por Ramos et al. (2017, p. 162).

3.6.2.1 Datos y Variables

Citando a Alea et al. (2016) nos definen como datos de la investigación al grupo de observaciones de una o varias cualidades de una muestra y/o población, en ese mismo contexto, los datos se refieren a una agrupación de valores que pueden ser numéricos o modalidades. (p. 5)

Desde las perspectivas de Hernández et al. (2014) la variable se define como una propiedad de la unidad de análisis que es susceptible a cambiar o



variar, tal cambio se puede medir u observar; además, cuando se relacionan las variables entre sí, estas obtienen valor para conformar una hipótesis. (p. 105)

En esta investigación, los datos son los valores de los ensayos de compresión de los especímenes cilíndricos a los 7, 14 y 28 días de curado; de los especímenes prismáticos ensayados a flexión a los 7, 14 y 28 días de curado; y de los especímenes cilíndricos ensayados a tracción a los 7, 14 y 28 días de curado. Por otra parte, las variables de la investigación se refieren a la sustitución parcial en diferentes porcentajes (0%, 5%, 10% y 15%) de cemento por POV en los especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto.

3.6.2.2 Tabla de Distribución de Frecuencias

Teniendo en cuenta a Ramos et al. (2017) la tabla de distribución de frecuencias hace referencia a la elaboración de una tabla estadística basándose en un conjunto de datos, de modo que se encuentren organizados eficientemente agrupando valores según determinadas características, así como también el número de observaciones, en dichas tablas estadísticas es posible sintetizar cualquier tipo de datos. (pp. 103-105)

En esta investigación una vez que se obtenga la tabla de distribución de frecuencias, se procederá a calcular el número de elementos que existe en cada clase y las medidas de tendencia central, asimismo, es importante



mencionar que se debe considerar que se tienen datos agrupados y que los resultados se emplearán en la prueba de hipótesis.

3.6.2.3 Gráficos Estadísticos

Desde el punto de vista de Posada (2016) para el análisis de datos en una investigación no basta con la tabla de distribución de frecuencias, sino que adicionalmente y para mejor entendimiento se utiliza gráficos estadísticos los cuales facilitan la descripción de las características del grupo; los principales gráficos estadísticos son: gráfico de barras o columnas, gráfico de sectores circulares, gráfico de bastones, histograma, etc. (p. 53)

En ese mismo contexto, con el propósito de ejecutar un óptimo análisis estadístico para esta investigación se emplearon diagramas de barras e histogramas.

3.6.2.4 Rango (R)

Desde la posición de Posada (2016) el rango es conocido también con los nombres de amplitud total o recorrido, su concepto está relacionado a la variabilidad numérica de la variable (p. 35). El rango y la variable se expresan en igual unidad de medida, para determinar el valor del rango se resta el mayor valor y el menor valor de la variable, tal como se presenta en la ecuación 5.

$$\text{Rango } (R) = y_{\text{máx}} - y_{\text{mín}} \quad (5)$$

Donde:



R = Rango o amplitud total

$y_{m\acute{a}x}$ = Máximo valor de la variable

$y_{m\acute{i}n}$ = Mínimo valor de la variable

3.6.2.5 Número de Intervalos (K)

Desde las posiciones de Ramos et al. (2017) el número de intervalos o clases se refiere al número entero de subconjuntos conformados en base a los datos, la regla de Herbert Sturges establece criterios para determinar el número de intervalos lo que es necesario para graficar un histograma (p. 113).

$$\text{Número de intervalos } (K) = 1 + 3.322 * \log(n) \quad (6)$$

Donde:

K = Número de intervalos o clases

n = Número de datos

Para esta investigación se aplicó la regla de Sturges considerando tres datos para cada subconjunto de los especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto elaborados sin y con sustitución parcial de cemento por POV.

3.6.2.6 Amplitud del Intervalo de Clase (c)

Dicho con palabras de Posada (2016), para calcular el valor de la amplitud de los intervalos es necesario dividir el rango (R) entre el número de intervalos (K), en tal sentido, se recomienda redondear este valor con la finalidad de obtener un número entero (p. 37).



$$\text{Amplitud } (c) = \frac{R}{K} \quad (7)$$

Donde:

c = Amplitud del intervalo de clase

R = Rango

K = Número de intervalos

3.6.2.7 Medidas de Tendencia Central

Como afirma Posada (2016) las medidas de tendencia central o de centralización se refieren al conjunto de datos de una población o muestra que tiende a posicionarse en torno a un centro y tienen por finalidad simplificar y resumir información. (p. 73)

Asimismo, para la presente investigación se tuvo en cuenta las medidas de tendencia central más importantes y representativas las cuales son: la media aritmética, la mediana y la moda.

3.6.2.7.1 Media aritmética (M)

Alea et al. (2016) argumentan que la medida de tendencia central más empleada y representativa es la media aritmética, ya que se define como el promedio de un grupo de datos (p. 41).

En ese contexto, se presenta la ecuación 8 que es utilizada para determinar el valor de la media aritmética.



$$\text{Media aritmética } (M) = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^k w_i f_i \quad (8)$$

Donde:

k = Número de clases de la tabla

w_i = Valor de la variable

f_i = Frecuencia absoluta simple de la clase i

n = Número total de datos

En esta investigación se determinó el valor de la media aritmética en función de la resistencia promedio de los especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto elaboradas sustituyendo parcialmente el cemento por POV en porcentajes del 0%, 5%, 10% y 15% ensayadas en edades iguales.

3.6.2.7.2 Mediana (M_e)

Como lo hacen notar Ramos et al. (2017) la mediana se define como el número que ocupa el lugar central de un conjunto de datos, de tal manera que los datos estén organizados dejando el 50% de las observaciones por encima y el restante 50% por debajo de ese valor. Cuando existen valores excesivamente grandes o pequeños en un conjunto de datos estos provocan que la media aritmética ya no sea representativa, en dichos casos la medida de tendencia central más apropiada es la mediana. (pp. 166-167)

En ese sentido, se presenta la ecuación 9 que es empleada para determinar el valor de la mediana (M_e).



$$\text{Mediana } (M_e) = l_i + \left[\frac{(0.5 * n) - F_{i-1}}{f_i} \right] * c \quad (9)$$

Donde:

l_i = Límite inferior del intervalo de la clase mediana

n = Número total de datos

F_{i-1} = Frecuencia absoluta acumulada inmediatamente inferior a la clase mediana

f_i = Frecuencia absoluta simple de la clase mediana

c = Amplitud de la clase mediana

3.6.2.7.3 Moda (M_o)

Como afirma Posada (2016) es el valor que se repite con mayor frecuencia en un conjunto de datos (p. 80).

$$\text{Moda } (M_o) = l_i + \left[\frac{f_i - f_{i-1}}{(f_i - f_{i-1}) + (f_i - f_{i+1})} \right] * c \quad (10)$$

Donde:

l_i = Límite inferior de la clase modal

f_i = Frecuencia absoluta simple de la clase modal

f_{i+1} = Frecuencia absoluta simple inmediatamente posterior a la clase modal

f_{i-1} = Frecuencia absoluta simple inmediatamente anterior a la clase modal

c = Amplitud de la clase modal



3.6.2.8 Medidas de Dispersión

De acuerdo con Ramos et al. (2017) las medidas de dispersión o variabilidad miden el grado de dispersión de los datos respecto a una medida central. Entonces, si el grado de variabilidad es bajo respecto del promedio, en tal caso existe un mayor grado de homogeneidad entre los datos; lo contrario sucede si el grado de variabilidad es elevado respecto del promedio, en ese caso existe menor grado de homogeneidad entre los datos. (p. 216)

En esta investigación realizo los cálculos teniendo en cuenta las medidas de dispersión con mayor representatividad las cuales son: rango, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación.

3.6.2.8.1 Varianza (S^2)

Como señalan Ramos et al. (2017), se define como la medida de variabilidad en relación a la media aritmética y para calcular su valor se promedia las desviaciones de los datos elevadas al cuadrado en relación a su media aritmética. La varianza siempre toma valores positivos y si la totalidad de los valores de la distribución son los mismos la varianza es igual a 0; por otro lado, una desventaja significativa es que no tiene una interpretación práctica porque la varianza y las observaciones se expresan en distintas unidades de medida. (p. 221)

Ahora bien, la varianza se denota por (S^2) y para poder determinar su valor se emplea la ecuación 11.



$$\text{Varianza } (S^2) = \frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n f_i * (x_i - M)^2 \quad (11)$$

Donde:

n = Número total de datos

x_i = Valor de la marca de clase i

M = Media aritmética de la muestra

3.6.2.8.2 Desviación Estándar (S)

Según Posada (2016), la desviación estándar o típica indica la variación de los datos respecto el promedio y es considerada como la medida de dispersión con más representatividad (p. 102).

Seguidamente, la desviación estándar se denota por (S) y para poder determinar su valor se emplea la ecuación 12.

$$\text{Desviación Estándar } (S) = \sqrt{S^2} \quad (12)$$

Donde:

S^2 = Varianza

3.6.2.8.3 Coeficiente de Variación (CV)

En las opiniones de Ramos et al. (2017) se define como una medida de variabilidad que relaciona la desviación estándar y la media aritmética; además, tiene como propósito la determinación del nivel de homogeneidad o dispersión de los datos y se expresa en porcentaje (p. 227).

Tabla 13

Interpretación del coeficiente de variación

Intervalo del CV	Interpretación	Nivel de variabilidad
[0 % - 5 %)	Datos muy homogéneos.	Variabilidad baja.
[5 % - 10 %)	Datos homogéneos.	Variabilidad baja.
[10 % - 15 %)	Datos regularmente homogéneos.	Variabilidad moderada.
[15 % - 20 %)	Datos regularmente heterogéneos.	Variabilidad moderada.
[20 % - 25 %)	Datos heterogéneos.	Variabilidad alta.
[25 % - a más)	Datos muy heterogéneos.	Variabilidad alta.

Nota: Fuente de datos “Estadística básica para los negocios”, por Ramos et al. (2017, p. 227).

Ahora bien, el coeficiente de variación se denota por (CV) y para poder calcular su valor se utiliza la ecuación 13.

$$\text{Coeficiente de variación (CV)} = \frac{S}{M} * 100 \quad (13)$$

Donde:

S = Desviación estándar

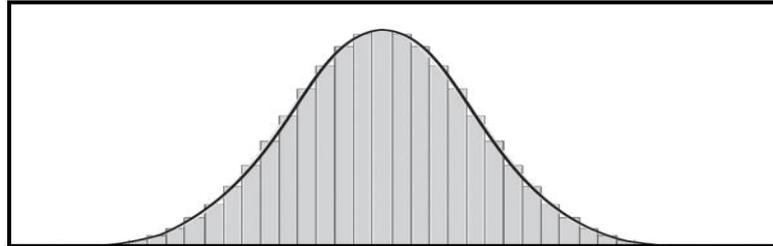
M = Media aritmética

3.6.2.9 Medidas de Asimetría

Ramos et al. (2017) proporcionan una idea acerca de la forma que presenta un conjunto de observaciones. De este modo, se dice que una distribución es simétrica si la cantidad de valores de la porción derecha es igual a la porción de la izquierda (véase figura 8). Si la cola es más larga hacia la izquierda corresponde a una asimetría negativa y si la cola es más larga hacia la derecha corresponde a una asimetría positiva (véase figura 9). (p. 240)

Figura 8

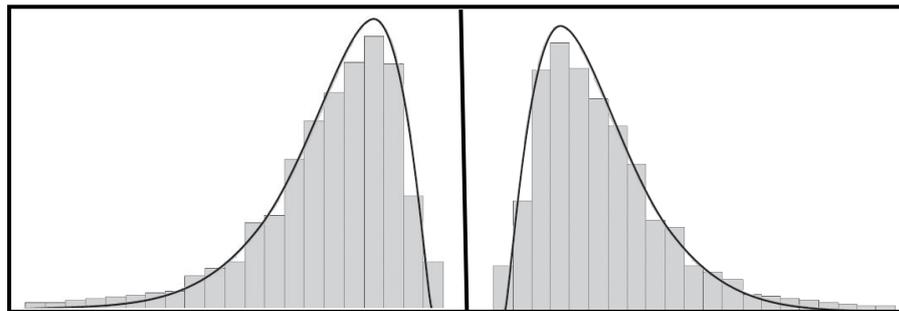
Distribución simétrica



Nota: Fuente “Estadística básica para los negocios”, por Ramos et al. (2017, p. 240).

Figura 9

Asimetría negativa y asimétrica positiva



Nota: Fuente “Estadística básica para los negocios”, por Ramos et al. (2017, p. 240).

3.6.2.9.1 Coeficiente de Asimetría de Pearson (A_p)

Posada (2016), afirma que la forma de una distribución de datos está íntimamente ligada con la M , M_e y M_o . Luego, para una distribución de datos simétrica corresponde que la M , M_e y M_o sean iguales, para una distribución de datos asimétrica negativa corresponde que la $M < M_e$ y para una distribución de datos asimétrica positiva corresponde que la $M > M_e$. En ese

mismo contexto, el coeficiente de asimetría de Pearson mide la desviación de la simetría vinculando la M , M_o y S . (pp. 108-109)

Adicionalmente, se presenta la tabla 14 que contiene los criterios para la interpretación del coeficiente de Pearson.

Tabla 14

Criterios para la interpretación del coeficiente de asimetría de Pearson

Coeficiente de Pearson	Interpretación
$-0,05 \leq A_p \leq 0,05$	Distribución simétrica fuerte.
$-0,3 \leq A_p < -0,05$	Distribución simétrica moderada.
$0,05 < A_p \leq 0,3$	Distribución simétrica moderada.
$-0,6 \leq A_p < -0,3$	Distribución asimétrica moderada.
$0,3 < A_p \leq 0,6$	Distribución asimétrica moderada.
$A_p > 0,6$	Distribución asimétrica fuerte.
$A_p < -0,6$	Distribución asimétrica fuerte.

Nota: Fuente de datos “Estadística básica para los negocios”, por Ramos et al. (2017, p. 242).

De la misma manera para poder determinar el valor del coeficiente de asimetría de Pearson se utiliza la ecuación 14.

$$A_p = \frac{M - M_o}{S} = \frac{3 * (M - M_e)}{S} \quad (14)$$

Donde:

M = Media aritmética

M_o = Moda

M_e = Mediana

3.6.2.9.2 Distribución de Gauss

Gamarra (2015), sostiene que es un patrón estadístico que representa una excelente forma para realizar la descripción de muchos fenómenos



naturales, entre todas las distribuciones la más usada y conocida es la distribución de Gauss. Agregando a lo anterior, la distribución normal es empleada para diferentes campos y es la base para otras distribuciones estadísticas. (p. 107)

3.6.3 Prueba de Hipótesis

Según Martínez (2012), la finalidad de las pruebas de hipótesis es evaluar las afirmaciones y/o suposiciones que se formulan con respecto a parámetros o valores estadísticos de una determinada población (p. 324).

Hernández et al. (2014), declaran que las hipótesis son evaluadas mediante pruebas para rechazarlas o apoyarlas; además es importante enfatizar que en verdad no se puede probar la veracidad o falsedad de las hipótesis, ya que solo se puede alegar que fueron apoyadas o refutadas en base a los datos obtenidos de un estudio. (p. 117)

3.6.3.1 Procedimiento Para la Prueba de Hipótesis

Gamarra et al. (2015), mencionan que el procedimiento para la prueba de hipótesis es el siguiente, primero plantear las hipótesis nula y alterna, segundo elegir el nivel de significancia, tercero seleccionar el modelo estadístico de prueba idóneo, cuarto formular la regla de decisión y finalmente tomar la decisión. (p. 165)

3.6.3.1.1 Planteamiento de las Hipótesis

Primeramente, se procede a plantear tanto una hipótesis nula (H_0) como una hipótesis alterna (H_a).

3.6.3.1.2 Nivel de Significancia

En el presente trabajo de investigación se optó por elegir el nivel de significación de $\alpha = 0.05$ o 5%, en otras palabras, con un 95% de nivel de confianza.

3.6.3.1.3 Seleccionar el Modelo Estadístico de Prueba Idóneo

El modelo estadístico para probar la hipótesis empleado en esta investigación es el método paramétrico “t de student”, dado que se tienen variables independientes cuantitativas y menores a 30, en tal sentido, el modelo estadístico en mención emplea las ecuaciones 15, 16, 17, 18 y 19.

$$T_{\text{calculado}} = \frac{M_1 - M_2}{S_c * \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 * n_2}}} \quad (15)$$

$$S_c = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (16)$$

$$\text{Grados de libertad (G. L.)} = n_1 + n_2 - 2 \quad (17)$$

$$M_1 \text{ o } M_2 = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_i}{n} \quad (18)$$



$$S_1^2 \text{ o } S_2^2 = \frac{(x_1 - M)^2 + (x_2 - M)^2 + \dots + (x_i - M)^2}{n - 1} \quad (19)$$

Donde:

$T_{\text{calculado}}$ = valor calculado del estadístico de “t de student”

M_1 y M_2 = Promedios de las muestras

S_1^2 y S_2^2 = Varianzas de las muestras

n_1 y n_2 = Tamaños de las muestras

3.6.3.1.4 Formular Regla de Decisión

Para formular la regla de decisión es necesario comparar los estadísticos de prueba $T_{\text{calculado}}$ y T_{tabla} , con la finalidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula, en ese sentido, si se cumple que $T_{\text{calculado}} > T_{\text{tabla}}$ entonces se rechaza la H_0 y se acepta la H_a , por el contrario, si se cumple que $T_{\text{calculado}} < T_{\text{tabla}}$ entonces se acepta la H_0 y se rechaza la H_a .

3.6.3.1.5 Toma de Decisión

Con base a expuesto, se toma una decisión general tanto para las pruebas en estado endurecido como para las pruebas en estado fresco.

3.7 MATERIALES EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Con la finalidad de determinar la influencia de la sustitución parcial de cemento por POV en las propiedades del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ tanto en estado endurecido como en estado fresco, se fabricaron muestras en las cuales no se sustituyó parcialmente el cemento

por POV, estas corresponden al CP; asimismo se fabricaron muestras en las cuales se sustituyó parcialmente el cemento por POV en porcentajes del 5%, 10% y 15%.

Ahora bien, es importante resaltar que el A°F°, A°G°, cemento y agua usados para elaborar el concreto de esta investigación han sido obtenidos en la región Puno, en cambio, la POV (ceniza volcánica) ha sido extraída del volcán Ubinas que está situado en el distrito de Ubinas, provincia de General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua.

3.7.1 Materiales Cementantes

Para elaborar los especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto con sustituciones parciales del 0%, 5%, 10% y 15% de cemento por POV se ha empleado el cemento Portland tipo I de marca “Wari” de 42.5 kg (véase figura 10 y anexo 1). En ese contexto, de acuerdo con su ficha técnica este tipo de cemento está destinado para obras de construcción en general lo que implica que puede ser empleado en cualquier proyecto constructivo.

Figura 10

Cemento Portland tipo I “Wari”



Nota: Cemento Portland tipo I marca “Wari” empleado en la investigación.

Seguidamente, se presenta las características físicas (véase tabla 15) y químicas del cemento Portland tipo I marca “Wari” (véase tabla 16).

Tabla 15

Características físicas del cemento Portland tipo I marca “Wari”

Descripción	Límites según normas NTP 334.009 y ASTM C 150	Cemento Portland tipo I “Wari”
Peso específico (gr/cm ³)	-	3.14
Expansión/contracción en autoclave (%)	1.5 máx.	0.08
Fraguado vicat (min)	45 máx. - 375 mín.	
Contenido de aire (%)	12 máx.	5
F’c 3 días (kg/cm ²)	122.37 mín.	270.22
F’c 7 días (kg/cm ²)	193.75 mín.	337.53
F’c 28 días (kg/cm ²)	No especifica	466.01

Nota: Datos adaptados de la ficha técnica del cemento “Wari”, NTP 334.009 y ASTM C 150.

Tabla 16

Características químicas del cemento Portland tipo I marca “Wari”

Descripción	Límites según normas NTP 334.009 y ASTM C 150	Cemento Portland tipo I “Wari”
Oxido de magnesio (%)	6 máx.	1.78
Trióxido de azufre (%)	3 máx.	2.74
Pérdida de ignición (%)	3.5 máx.	2.50
Residuo insoluble (%)	1.5 máx.	0.64

Nota: Datos adaptados de la ficha técnica del cemento “Wari”, NTP 334.009 y ASTM C 150.

3.7.2 Agregados

Los agregados finos y gruesos empleados en la presente investigación se obtuvieron en base del hormigón proveniente y/o proporcionado de la cantera de Cutimbo.

3.7.2.1 Ubicación y Coordenadas de la Cantera de Agregados

Se ubica en la carretera Puno-Moquegua a 23+500 kilómetros de la ciudad de Puno, distrito de Pichacani, provincia y departamento de Puno (véase tabla 17 y figura 11). La elección de la cantera se fundamenta en que los agregados extraídos de la cantera de Cutimbo son los que mayormente se emplean en el sector de la construcción de la ciudad de Puno.

Tabla 17

Coordenadas UTM de la cantera Cutimbo

Coordenadas UTM: Zona 19 sur				
Descripción	Nombre	Norte	Este	Altura
BM	Cantera Cutimbo	8226604.754	391711.791	3916.821

Nota: Fuente de datos MTC.

Figura 11

Ubicación de la cantera de Cutimbo



Nota: Ubicación de la cantera de Cutimbo con respecto a la ciudad de Puno.

3.7.3 Puzolana de Origen Volcánico (ceniza volcánica)

En esta investigación, se sustituyó parcialmente el cemento Portland Tipo I por POV en la elaboración del concreto $f'c$ 210 kg/cm², para tal fin la POV estudiada es la ceniza volcánica la cual ha sido extraída del volcán Ubinas, además cabe destacar que en su estado natural este material se encuentra en polvo (véase figura 12).

Figura 12

Laderas y cráter del volcán Ubinas



3.7.3.1 Ubicación del Volcán Ubinas

La POV (ceniza volcánica) fue obtenida del volcán Ubinas el cual está ubicado específicamente en el distrito de Ubinas, provincia de General Sánchez Cerro y departamento de Moquegua; dicho volcán alcanza los 5672.00 m.s.n.m. y abarca un área de 45 km² aproximadamente, además es importante resaltar que la distancia entre la ciudad de Puno y el volcán Ubinas es alrededor de 215 km (véase tabla 18 y figura 13).

Tabla 18

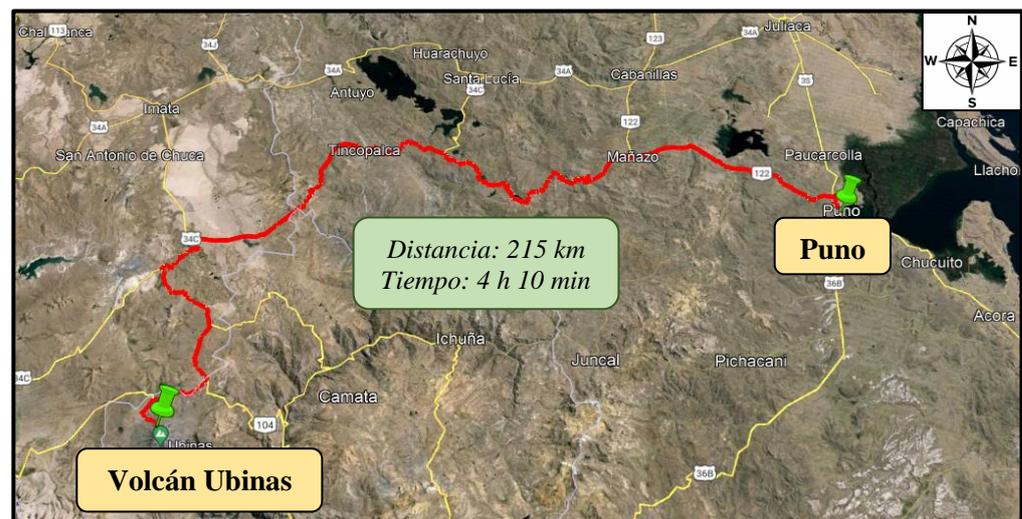
Coordenadas UTM del volcán Ubinas

Coordenadas UTM: Zona 19 sur				
Descripción	Nombre	Norte	Este	Cota o altura
BM1	Volcán Ubinas	8191553.000	296803.000	5672.000

Nota: Fuente de datos Centro Vulcanológico Nacional del Perú - CENVUL.

Figura 13

Ubicación del volcán Ubinas



Nota: Ubicación del volcán Ubinas con respecto a la ciudad de Puno.

3.7.3.2 Extracción de Muestras de la Puzolana de Origen Volcánico

En la actualidad, en el Perú no existe alguna norma que establezca procedimientos para realizar la extracción de muestras de POV, es por esta razón que para realizar el muestreo se decidió tomar como referencia la investigación de Apaza et al. (2018), en la cual se indica que se debe realizar el muestreo en seis partes del volcán (base, laderas y cráter), procurando que este sea representativo (p. 93). Por lo expuesto, en esta investigación se optó por realizar el muestreo de la POV en 6 puntos (véase tabla 19 y figura 14).

Tabla 19

Distribución de puntos de muestreo de la POV del volcán Ubinas

Parte del volcán Ubinas	Cantidad de puntos de muestreo
Base	2
Laderas	2
Cráter	2

Figura 14

Extracción de muestras de la puzolana de origen volcánico





Una vez culminado el procedimiento de extracción de muestras de la POV del volcán Ubinas, se obtuvo aproximadamente un total de 60 kg.

3.7.3.3 Composición Química de la POV del volcán Ubinas

Ahora bien, en la presente investigación se utilizó puzolana de origen volcánico (ceniza volcánica) la cual fue extraída del volcán Ubinas, por ello, es imprescindible especificar más acerca de la composición química de dicha puzolana, en ese sentido, sus componentes químicos más importantes son el óxido de sílice y alúmina; no obstante, la puzolana en mención tiene otros componentes los cuales se detallan en la tabla 20.

Tabla 20*Composición química de la POV del volcán Ubinas*

Componente	Porcentaje del peso total
SiO ₂ - Óxido de silicio	58.70 %
Al ₂ O ₃ - Óxido de aluminio	14.80 %
Fe ₂ O ₃ - Óxido de hierro	7.69 %
CaO - Óxido de calcio	5.80 %
MgO - Óxido de magnesio	4.17 %
Na ₂ O - Óxido de sodio	3.52 %
K ₂ O - Óxido de potasio	2.63 %
TiO ₂ - Óxido de titanio	1.14 %
P ₂ O ₅ - Óxido de fosforo	0.37 %
MnO - Óxido de manganeso	0.10 %
Perdida al Fuego	1.08 %

Nota: Datos adaptados de “La ceniza volcánica en la obtención de geopolímeros como alternativa en la industria de la construcción”, por Apaza et al. (2021, p. 410).

3.7.3.4 Propiedades Mecánicas de la POV del Volcán Ubinas

Apaza et al. (2021), sostienen que las probetas elaboradas a base de únicamente POV (ceniza volcánica), es decir, sin agregados en su composición alcanzaron resistencias superiores, en contraste con probetas elaboradas a base de únicamente cemento Portland Tipo I (p. 410).

Tabla 21*Propiedades mecánicas de la POV extraída del volcán Ubinas*

Días de curado	F’c de la puzolana de origen volcánico del volcán Ubinas (kg/cm²)	F’c del cemento Portland (NTP 334.009) (kg/cm²)
7 días	474.37	120
14 días	563.70	190
28 días	625.60	280

Nota: Datos adaptados de “La ceniza volcánica en la obtención de geopolímeros como alternativa en la industria de la construcción”, por Apaza et al. (2021, p. 410) y NTP 334.009.

3.7.4 Agua

En esta investigación se empleó agua potable suministrada por la empresa EMSA PUNO.

3.8 ENSAYOS REALIZADOS EN LOS AGREGADOS Y EN LA PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO

En la presente investigación, la cantidad de ensayos se estableció en base a la norma NTP 400.010, la cual se cumplió rigurosamente (véase tabla 22). Además, es importante resaltar que actualmente en el Perú no se cuenta con normas que establezca procedimientos para la determinación de las características físicas (w%, peso específico y absorción, P.U.C., P.U.S y granulometría) de las POV (cenizas volcánicas) para ser empleadas en la elaboración de concreto, en ese sentido, por conveniencia se optó usar las mismas normas aplicables al A°F°.

Tabla 22

Ensayos realizados en los agregados y en la POV

Descripción	# de ensayos	Norma NTP	Norma ASTM
Contenido de humedad (A°F°, A°G° y POV).	9	339.185	C 566
Peso específico y absorción (A°F°, A°G° y POV).	3	400.021 y 400.022	C 127 y C 128
Peso unitario suelto y compactado (A°F°, A°G° y POV).	12	400.017	C 29
Análisis granulométrico (A°F°, A°G° y POV).	3	400.012	C 136

Nota: Elaboración propia.

Figura 15

Puzolana de origen volcánico empleada en la investigación



3.8.1 Contenido de Humedad de los Agregados y de la POV

Según Campos (2017) este ensayo permite calcular el porcentaje de humedad evaporable y se refiere a la relación entre el peso del agua presente naturalmente en el agregado y el peso del agregado en condición seca (p. 15). Por consiguiente, para determinar el contenido de humedad total evaporable del A°F° y/o A°G° se usa la ecuación 20.

$$\text{Contenido de humedad } (w) = \left[\frac{p}{s} \right] * 100 \quad (20)$$

Donde:

w = Contenido total de humedad evaporable del agregado (%)

p = Peso del agua (g)

s = Peso de la muestra seca (g)



3.8.1.1 Normativas Técnicas

Durante el procedimiento de ejecución de este ensayo se cumplieron rigurosamente las siguientes normativas técnicas aplicables (NTP 339.185, NTP 400.043 y ASTM C 566).

3.8.1.2 Aparatos y Materiales Utilizados

- Recipientes resistentes a altas temperaturas y corrosión.
- Horno de secado con dimensiones adecuadas a $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- Balanza digital calibrada, tenazas, espátulas y guantes.

3.8.1.3 Descripción del Procedimiento

- Primero, se procedió a separar el material con ayuda de la malla N° 4, en ese contexto, se consideró como agregado grueso al material retenido y agregado fino al material pasante.
- Segundo, se procedió a reducir la muestra a tamaño de ensayo con ayuda del método de cuarteo.
- Tercero, se procedió a pesar la muestra húmeda utilizando la balanza digital.
- Cuarto, se procedió a colocar la muestra en mención muestra en un horno durante un lapso de 24 horas, transcurrido este periodo de tiempo se dejó enfriar y se procedió a registrar su peso.

Figura 16

Muestras para los ensayos de w (%) de los agregados



Figura 17

Ensayo de w (%) de la POV



3.8.1.4 Cálculos y Resultados Obtenidos

Después de cumplir rigurosamente con el procedimiento indicado según las normativas técnicas correspondientes, se procede a presentar los resultados.



Tabla 23

Datos y resultados obtenidos del ensayo de w (%) del A°F°

Descripción	Und	# de ensayo		
		I	II	III
Peso de tara	g	2.90	2.80	3.00
Peso de tara más muestra húmeda	g	924.00	964.40	959.70
Peso de tara más muestra seca	g	897.20	937.20	931.30
Peso del agua	g	26.80	27.20	28.40
Peso de la muestra seca	g	894.30	934.40	928.30
w (%)	%	3.00	2.91	3.06
w (%) promedio	%	2.99		

Tabla 24

Datos y resultados obtenidos del ensayo de w (%) del A°G

Descripción	Und	# de ensayo		
		I	II	III
Peso de tara	g	6.20	6.10	6.20
Peso de tara más muestra húmeda	g	763.80	684.70	665.00
Peso de tara más muestra seca	g	740.80	662.90	644.10
Peso del agua	g	23.00	21.80	20.90
Peso de la muestra seca	g	734.60	656.80	637.90
w (%)	%	3.13	3.32	3.28
w (%) promedio	%	3.24		

Tabla 25

Datos y resultados obtenidos del ensayo w (%) de la POV

Descripción	Und	# de ensayo		
		I	II	III
Peso de tara	g	2.90	2.80	3.00
Peso de tara más muestra húmeda	g	256.30	231.60	256.10
Peso de tara más muestra seca	g	248.10	226.40	248.60
Peso del agua	g	8.20	5.20	7.50
Peso de la muestra seca	g	245.20	223.60	245.60
w (%)	%	3.34	2.33	3.05
w (%) promedio	%	2.91		

3.8.1.5 Resumen General de los Resultados de w (%) de los Agregados y POV

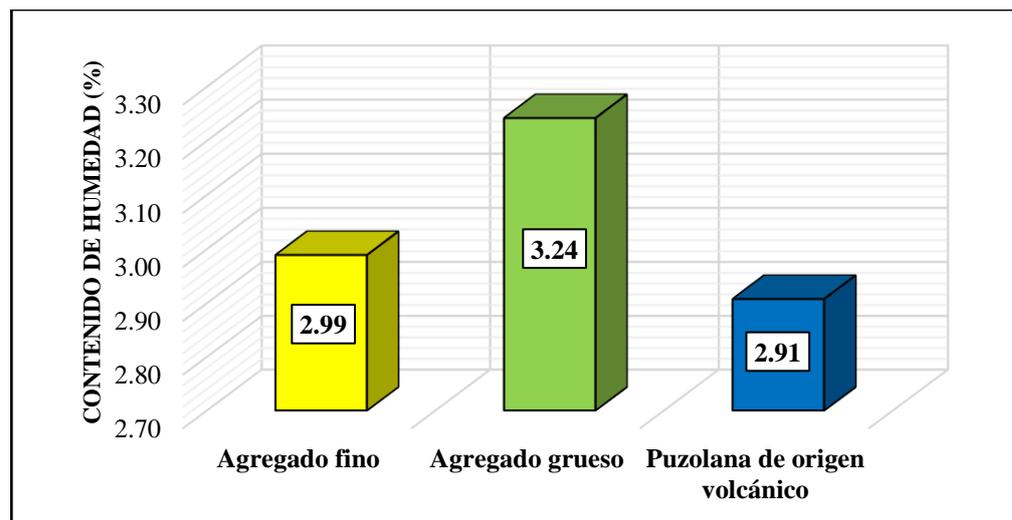
Tabla 26

Resumen de los resultados de w (%) obtenidos en la investigación

Descripción	Und	A°F°	A°G°	POV
Contenido de humedad (w)	%	2.99	3.24	2.91

Figura 18

Gráfica comparativa de los resultados de w (%) obtenidos en la investigación



3.8.2 Peso Específico y Absorción de los Agregados y POV

Según la NTP 400.021 el peso específico se refiere a la relación entre la densidad natural del agregado y la densidad del agua destilada a una determinada temperatura; es empleado para determinar el volumen que ocupa el agregado grueso al producir mezclas de concreto Portland y demás, asimismo, el peso específico nos



permite determinar los vacíos en cumulo. Por otra parte, la absorción está íntimamente ligada con el incremento masa a causa del agua que es absorbida por los poros del agregado.

3.8.2.1 Peso Específico y Absorción del A°F° y POV

Tal como establece la norma NTP 400.022 este ensayo permite calcular la densidad promedio, la densidad relativa y la absorción del A°F°. Por consiguiente, este ensayo brinda un valor promedio representativo del agregado considerando solo la parte sólida y excluyendo las aberturas que se encuentran entre las partículas.

A continuación, se exponen de manera ordenada simbologías, conceptos y ecuaciones que fueron utilizadas para realizar este ensayo.

Simbología:

A = Peso de la muestra seca (g)

B = Peso del picnómetro y del agua (g)

C = Peso del picnómetro + muestra + agua (g)

S = Peso de la muestra en estado S.S.S. (g)

a) Densidad relativa (peso específico) (OD)

Para determinar la densidad relativa (peso específico) (OD) después de que la muestra fue sometida al proceso de secado en el horno, se utiliza la ecuación 21.

$$\text{Densidad Relativa (peso específico) (OD)} = \frac{A}{B + S - C} \quad (21)$$

b) Densidad relativa (peso específico) (SSD)

Ahora bien, para determinar la densidad relativa (peso específico) (SSD) cuando la muestra logró alcanzar el estado de saturada superficialmente seca, se utiliza la ecuación 22.

$$\text{Densidad Relativa (peso específico) (SSD)} = \frac{S}{B + S - C} \quad (22)$$

c) Densidad relativa aparente (peso específico aparente)

Asimismo, para determinar la densidad relativa aparente (peso específico aparente) de la muestra, se utiliza la ecuación 23.

$$\text{Densidad Relativa Aparente} = \frac{A}{B + A - C} \quad (23)$$

d) Porcentaje de absorción (%)

De la misma manera, para poder determinar el porcentaje de absorción de la muestra, se utiliza la ecuación 24.

$$\text{Absorción (\%)} = \left[\frac{S - A}{A} \right] * 100 \quad (24)$$

3.8.2.1.1 Normativas Técnicas

Durante el procedimiento de ejecución de este ensayo se cumplieron rigurosamente las siguientes normativas (NTP 400.022, NTP 400.043, MTC E 205 y ASTM C 128).



3.8.2.1.2 Aparatos y Materiales Utilizados

- Horno de secado con dimensiones adecuadas a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Balanza digital calibrada.
- Picnómetro.
- Molde de metal con forma de tronco cono (ϕ mayor de 40 mm, ϕ menor de 90 mm y 75 mm de altura aproximadamente).
- Varilla metálica compactadora (340 g de peso y diámetro 25 mm).
- Equipo suministrador de calor medido para realizar el baño de maría.
- Recipientes metálicos (taras y bandejas), cucharones.

3.8.2.1.3 Descripción del Procedimiento

- Primero, se procedió a separar el material con ayuda de la malla N° 4, en ese contexto, se tiene considerado como agregado grueso al material retenido y agregado fino al material pasante.
- Segundo, se procedió a reducir la muestra a tamaño de ensayo con ayuda del método de cuarteo, para obtener 1000 g de muestra.
- Tercero, se secó la muestra mediante un horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, se procedió a dejarla enfriar durante un lapso de tiempo apropiado para su manipulación.
- Cuarto, se realizó el proceso de inmersión de la muestra dejándola reposar en un recipiente lleno de agua por un lapso de $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$.



- Quinto, con la muestra saturada se procedió a decantar cuidadosamente el agua del recipiente sin perder finos en el proceso. Además, para iniciar con el secado de la muestra se procedió a colocarla y extenderla en un recipiente metálico.
- Sexto, para realizar la “prueba de humedad superficial” se ubicó el molde metálico sobre una bandeja y de tal modo que el mayor diámetro este se encuentre hacia abajo, seguidamente se procedió a colocar una parte de la muestra dentro del molde hasta su máxima capacidad y adicionando un poco de material por encima del borde superior del molde; luego, se compactó homogéneamente la muestra en el molde realizando 25 golpes con la barra compactadora a una altura de 0.5 cm de la superficie superior de la muestra. Para finalizar este paso, se procedió a elevar cuidadosamente el molde en sentido vertical, se verificó la muestra teniendo en cuenta 2 criterios el primero es que si existe desmoronamiento leve es señal de que se alcanzó el estado de saturada superficialmente seca; el segundo criterio es que si la muestra conserva su forma moldeada es señal de existencia de humedad superficial.
- Séptimo, se introdujo $500 \text{ g} \pm 10 \text{ g}$ de muestra en estado saturada superficialmente seca dentro de un picnómetro con agua; luego, se procedió a llenarla hasta alrededor del 90 % de su capacidad con este líquido; seguidamente, con el propósito de eliminar el aire atrapado se procedió a agitar manualmente el picnómetro.

- Octavo, se procedió a someter el picnómetro a baño de maría; culminado este paso se registró el peso global del picnómetro.

Figura 19

Investigador registrando el peso del picnómetro



Figura 20

Prueba de humedad superficial de la muestra de A°F°



Figura 21

Desmoronamiento leve de la muestra de A°F° en condición S.S.S.



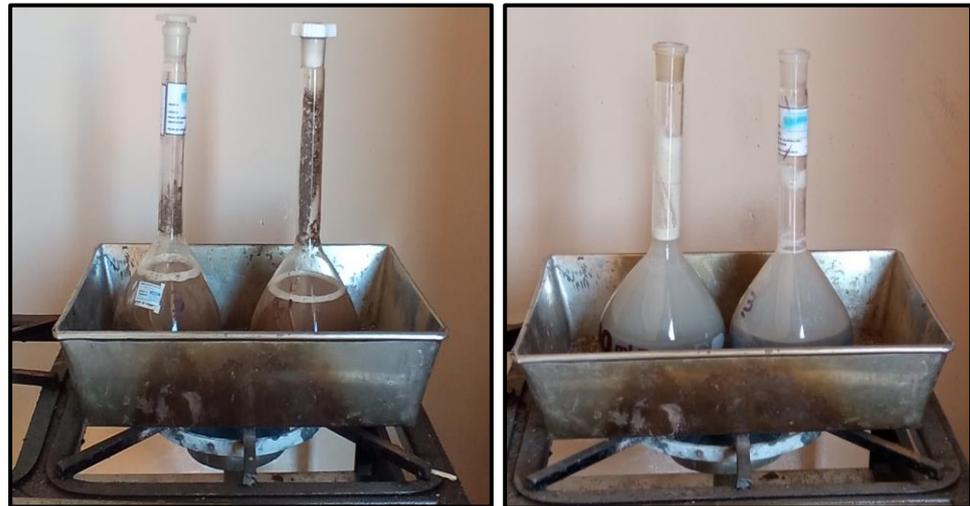
Figura 22

Desmoronamiento leve de la muestra de POV en condición S.S.S.



Figura 23

Picnómetros con muestras de A°F° y POV en condición S.S.S en baño de maría



3.8.2.1.4 Cálculos y Resultados Obtenidos

Después de cumplir rigurosamente con el procedimiento indicado según las normativas técnicas correspondientes, se procede a presentar los resultados que se obtuvieron.

Tabla 27

Datos obtenidos del ensayo de peso específico y absorción del A°F°

Descripción	Und	Ensayo 01	Ensayo 02
Peso de la muestra S.S.S. (S)	g	500.00	500.00
Peso del picnómetro y del agua (B)	g	651.10	642.30
Peso del picnómetro, la muestra y el agua (C)	g	942.50	952.50
Peso de la muestra secada en el horno (A)	g	490.20	490.30

Tabla 28*Resultados del ensayo de peso específico y absorción del A°F°*

Descripción	Und	Ensayo 01	Ensayo 02	Promedio
Peso específico (OD) [A/(B+S-C)]	g/cm ³	2.350	2.583	2.467
Peso específico (SSD) [S/(B+S-C)]	g/cm ³	2.397	2.634	2.516
Peso específico aparente [A/(B+A-C)]	g/cm ³	2.466	2.722	2.594
Absorción [(S-A)*100/A]	%	2.00	1.98	1.99

Tabla 29*Datos obtenidos del ensayo de peso específico y absorción de la POV*

Descripción	Und	Ensayo 01	Ensayo 02
Peso de la muestra S.S.S. (S)	g	500.00	500.00
Peso del picnómetro y del agua (B)	g	521.40	510.60
Peso del picnómetro + muestra + agua (C)	g	523.60	623.10
Peso de la muestra secada en el horno (A)	g	490.20	498.70

Tabla 30*Resultados del ensayo de peso específico y absorción de la POV*

Descripción	Und.	Ensayo 01	Ensayo 02	Promedio
Peso específico (OD) [A/(B+S-C)]	g/cm ³	0.985	1.287	1.136
Peso específico (SSD) [S/(B+S-C)]	g/cm ³	1.004	1.290	1.147
Peso específico aparente [A/(B+A-C)]	g/cm ³	1.005	1.291	1.148
Absorción [(S-A)*100/A]	%	2.00	0.26	1.13

3.8.2.2 Peso Específico y Absorción del A°G°

En conformidad con la NTP 400.021 este ensayo permite calcular la densidad promedio, la densidad relativa y la absorción del A°G°. Además, es importante mencionar que solo se considera la parte sólida y que las aberturas que se encuentran entre las partículas no son tomadas en cuenta. A



continuación, se exponen las simbologías, conceptos y ecuaciones que fueron utilizadas para realizar este ensayo:

A = Peso de muestra después del proceso de secado en horno (g)

B = Peso de muestra en estado de S.S.S. al aire(g)

C = Peso de muestra saturada inmersa en el agua (g)

a) Densidad relativa (peso específico) (OD)

Para determinar la densidad relativa (peso específico) (OD) después de que la muestra fue secada en el horno.

$$\text{Densidad Relativa (peso específico) (OD)} = \frac{A}{B - C} \quad (25)$$

b) Densidad relativa (peso específico) (SSD)

Para determinar la densidad relativa (peso específico) (SSD) cuando la muestra logró alcanzar el estado de saturada superficialmente seca.

$$\text{Densidad Relativa (peso específico) (SSD)} = \frac{B}{B - C} \quad (26)$$

c) Densidad relativa aparente (peso específico aparente)

Asimismo, para determinar la densidad relativa aparente (peso específico aparente) de la muestra, se utiliza la ecuación 27.

$$\text{Densidad Relativa Aparente} = \frac{A}{A - C} \quad (27)$$

d) Porcentaje de absorción (%)

$$\text{Absorción (\%)} = \left[\frac{B - A}{A} \right] * 100 \quad (28)$$



3.8.2.2.1 Normativas Técnicas

- NTP 400.021, NTP 400.043, ASTM C 127 y MTC E 206.

3.8.2.2.2 Aparatos y Materiales Utilizados

- Horno de secado con dimensiones adecuadas.
- Balanza digital calibrada dotada de un dispositivo apropiado que permita colgar la canasta en agua desde su punto medio.
- Tamiz de 4.75 mm N° 4 u otro tamiz en caso se necesite.
- Contenedor hermético (tanque de agua) y canasta de alambre (N° 6) o de malla fina.

3.8.2.2.3 Descripción del Procedimiento

- Primero, se lavó la muestra cuidadosamente para seguidamente llevarla al horno sometiéndola a un proceso de secado, luego se dejó enfriar.
- Segundo, se saturó la muestra dejándola dentro del agua por un lapso de $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$, luego se procedió a retirar la muestra del agua para secarla con ayuda de franelas hasta quitar las partículas de agua. Una vez terminado este paso la muestra alcanzó el estado de saturado superficialmente seco (SSS), por lo cual se procedió a registrar su peso.
- Tercero, se colocó la muestra SSS dentro de la canastilla inmersa en agua, luego se registró su peso con ayuda de una balanza de alta precisión.

- Cuarto, se procedió a llevar la muestra al horno, para luego dejarla enfriar por un lapso de 1 h - 3 h; culminado este paso se registró su peso.

Figura 24

Muestra de A°G° en condición S.S.S.



Figura 25

Registro del peso sumergido en agua de la muestra de A°G° S.S.S.



3.8.2.2.4 Cálculos y Resultados Obtenidos

Tabla 31

Datos obtenidos del ensayo de peso específico y absorción del A°G°

Descripción	Und	Ensayo 01	Ensayo 02
Peso de muestra S.S.S. (B)	g	965.10	988.20
Peso de muestra saturada inmersa en agua (C)	g	578.00	601.00
Peso de muestra secada en el horno (A)	g	945.20	968.50

Tabla 32

Resultados del ensayo de peso específico y absorción del A°G°

Descripción	Und.	Ensayo 01	Ensayo 02	Promedio
Peso específico (OD) $[A/(B-C)]$	g/cm^3	2.442	2.501	2.472
Peso específico (SSD) $[B/(B-C)]$	g/cm^3	2.493	2.552	2.523
Peso específico aparente $[A/(A-C)]$	g/cm^3	2.574	2.635	2.605
Absorción $[(B-A)*100/A]$	%	2.11	2.03	2.07

3.8.2.3 Resumen General de los Resultados de Peso Específico y

Absorción de los Agregados y POV

Tabla 33

Resumen de los resultados de peso específico y absorción obtenidos en la investigación

Descripción	Und.	A°F°	A°G°	POV
Peso específico aparente	g/cm^3	2.59	2.60	1.15
Porcentaje de absorción	%	1.99	2.07	1.13

Figura 26

Gráfica comparativa de los resultados de peso específico obtenidos en la investigación

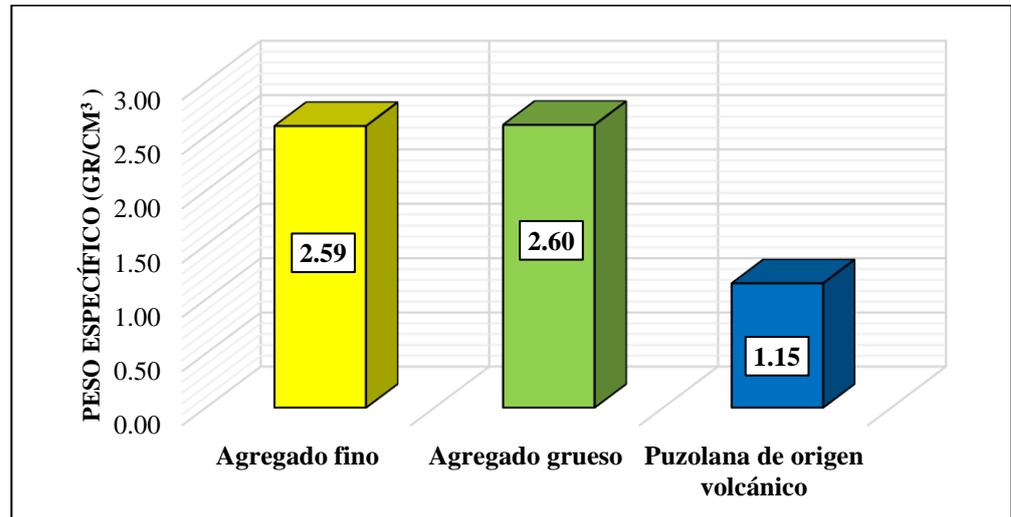
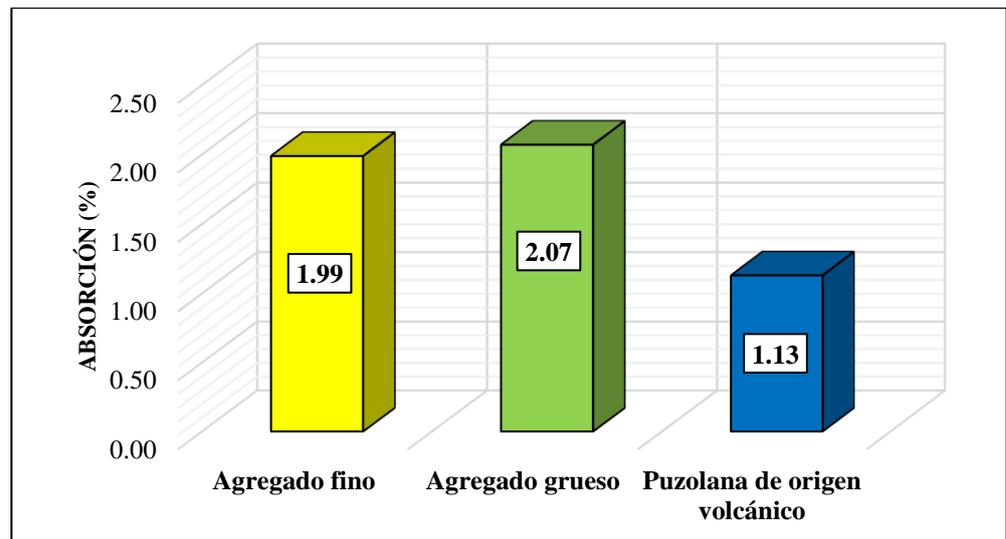


Figura 27

Grafica comparativa de los resultados de absorción obtenidos en la investigación



3.8.3 Peso Unitario de los Agregados y POV

Conforme a lo establecido en la NTP 400.017 y ASTM C 29 el ensayo de determinación del peso unitario (densidad de masa del agregado), se refiere a la masa de la muestra seca por unidad de volumen; este ensayo se puede realizar en condición suelto y compactado.

a) **Peso unitario suelto (P.U.S.)**

Se refiere al procedimiento de colocar con suavidad el material en el recipiente hasta llenarlo. Por lo expuesto, para determinar el valor del P.U.S se usa la ecuación 29.

$$P.U.S. = \frac{A - B}{C} \quad (29)$$

Donde:

(P.U.S.): Peso unitario suelto (kg/m³)

A: Peso del recipiente y del agregado suelto (kg)

B: Peso del recipiente (kg)

C: Volumen del recipiente (m³)

b) **Peso Unitario Compactado (P.U.C.)**

Se refiere al procedimiento de apisonado en el que se compacta las partículas reduciendo el contenido de vacíos del material. Agregando a lo anterior, este valor es necesario para ciertos métodos de diseño de mezclas. Para determinar el valor del P.U.C. se usa la ecuación 30.

$$P.U.C. = \frac{A - B}{C} \quad (30)$$

Donde:



(P.U.C.): Peso unitario compactado del agregado (kg/m³)

A: Peso del recipiente y del agregado compactado (kg)

B: Peso del recipiente (kg)

C: Volumen del recipiente (m³)

3.8.3.1 Peso Unitario del A[°]F[°] y POV

Según la NTP 400.017 establece la cantidad de muestra requerida de A[°]F[°], la cual debe encontrarse en el rango de 125 % hasta 200 % del volumen del recipiente.

3.8.3.1.1 Normativas Técnicas

- NTP 400.017, MTC E 203 y ASTM C 29.

3.8.3.1.2 Aparatos y Materiales Utilizados

- Balanza calibrada con exactitud de 0.1 % del peso de la muestra a ensayar.
- Varilla de acero de 5/8" de ϕ y 60 cm de longitud.
- Regla para enrasado de metal y recipiente metálico de forma cilíndrica.
- Mazo de goma, bandejas, pala o cucharón y brochas.

3.8.3.1.3 Descripción del Procedimiento con Peso Suelto

- Primero, se procedió a separar el material con ayuda de la malla N^o 4, aceptando el material pasante y rechazando el material retenido. Seguidamente, se procedió a reducir la muestra a tamaño de ensayo con ayuda del método de cuarteo, posteriormente, dicha muestra se llevó al horno.

- Segundo, se seleccionó un recipiente que cumpla con las dimensiones establecidas en la norma, luego se registró el peso y dimensiones de este.
- Tercero, se depositó la muestra en el recipiente hasta rebosarlo, luego, con ayuda de la regla metálica se procedió con el enrasado de la superficie, para luego registrar conjuntamente el peso de la muestra y del recipiente.

Figura 28

Llenado y enrasado del recipiente con la muestra de A°F°



Figura 29

Llenado y enrasado del recipiente con la muestra de POV



3.8.3.1.4 Descripción del Procedimiento de Apisonado

- Primero, separó el material con ayuda de la malla N° 4, aceptando el material pasante y rechazando el material retenido. Seguidamente, se procedió a cuartear la muestra para luego llevarla al horno.
- Segundo, se procedió a seleccionar un recipiente que cumpla con las dimensiones establecidas en la norma. Seguidamente, se registraron los datos relacionados al peso y dimensiones del recipiente.
- Tercero, se procedió a depositar la muestra en el recipiente dividiéndolo en 3 capas de similar espesor, en cada capa se debe enrasar y apisonar equitativamente con 25 golpes.
- Se registró conjuntamente el peso de la muestra y del recipiente.

Figura 30

Ensayo de peso unitario compactado con muestra de A°F°



Figura 31

Procedimiento del ensayo de peso unitario compactado con muestra de POV



3.8.3.1.5 Cálculos y Resultados Obtenidos

Tabla 34

Datos y resultados del ensayo de P.U.S del A°F°

Descripción	Und.	# de ensayo	
		I	II
Peso del recipiente (B)	g	7987.00	7987.00
Peso del recipiente y de la muestra (A)	g	12960.00	12951.00
Peso de la muestra (A-B)	g	4973.00	4964.00
Volumen del recipiente (C)	cm ³	3250.00	3250.00
P.U.S. ((A-B)/C)	g/cm ³	1.531	1.528
P.U.S. promedio	g/cm³	1.530	
P.U.S. promedio	kg/cm³	1530	

Tabla 35

Datos y resultados del ensayo de P.U.C. del A°F°

Descripción	Und.	# de ensayo	
		I	II
Peso del recipiente (B)	g	7987.00	7987.00
Peso del recipiente y de la muestra (A)	g	13350.00	13482.00
Peso de la muestra (A-B)	g	5363.00	5495.00
Volumen del recipiente (C)	cm ³	3250.00	3250.00
P.U.C. ((A-B)/C)	g/cm ³	1.651	1.692
P.U.C. promedio	g/cm³	1.672	
P.U.C. promedio	kg/cm³	1672	

Tabla 36

Datos y resultados del ensayo de P.U.S. de la POV

Descripción	Und.	# de ensayo	
		I	II
Peso del recipiente (B)	g	7850.00	7850.00
Peso del recipiente y de la muestra (A)	g	11289.00	11235.00
Peso de la muestra (A-B)	g	3439.00	3385.00
Volumen del recipiente (C)	cm ³	2110.00	2110.00
P.U.S. ((A-B)/C)	g/cm ³	1.627	1.601
P.U.S. promedio	g/cm³	1.614	
P.U.S. promedio	kg/cm³	1614	

Tabla 37

Datos y resultados del ensayo de P.U.C. de la POV

Descripción	Und.	# de ensayo	
		I	II
Peso del recipiente (B)	g	7850.00	7850.00
Peso del recipiente y de la muestra (A)	g	11741.00	11795.00
Peso de la muestra (A-B)	g	3891.00	3945.00
Volumen del recipiente (C)	cm ³	2110.00	2110.00
P.U.C. ((A-B)/C)	g/cm ³	1.841	1.866
P.U.C. promedio	g/cm³	1.854	
P.U.C. promedio	kg/cm³	1854	



3.8.3.2 Peso Unitario del A°G°

La norma NTP 400.017 establece que para el A°G° la cantidad de muestra debe encontrarse en el rango de 125 % hasta 200 % de la capacidad del recipiente y se debe tratar de prevenir la segregación con una apropiada manipulación.

3.8.3.2.1 Normativas Técnicas

- NTP 400.017, MTC E 203 y ASTM C 29.

3.8.3.2.2 Aparatos y Materiales Utilizados

- Balanza calibrada.
- Varilla de acero con superficie lisa de 5/8" de ϕ y 60 cm de largo para realizar el apisonado.
- Regla de enrasado metálica.
- Recipiente metálico de forma cilíndrica.
- Mazo de goma.
- Bandejas, pala o cucharón y brochas.

3.8.3.2.3 Descripción del Procedimiento con Peso Suelto

- Primero, se procedió a separar el material con ayuda de la malla N° 4, aceptando el material pasante y rechazando el material retenido. Seguidamente, se procedió a reducir la muestra a tamaño de ensayo con

- ayuda del método de cuarteo, posteriormente, dicha muestra se llevó al horno.
- Segundo, se procedió a seleccionar un recipiente que cumpla con las dimensiones establecidas en la norma. Seguidamente, se registraron los datos relacionados al peso y dimensiones del recipiente.
 - Tercero, se procedió a depositar la muestra en el recipiente hasta rebosarlo, este último procedimiento se debe realizar a una altura no superior a los 5 cm de la parte más alta del recipiente. Además, con ayuda de una espátula o con los dedos se procedió con el enrasado, para luego registrar conjuntamente el peso de la muestra y del recipiente.
 - Con el propósito de obtener resultados más confiables se examinaron tres muestras para luego obtener el promedio.

Figura 32

Procedimiento del ensayo de peso unitario suelto del A°G°



3.8.3.2.4 Descripción del Procedimiento de Apisonado

- Primero, se separó el material con ayuda de la malla N° 4, aceptando el material pasante y rechazando el material retenido. Seguidamente, se procedió a reducir la muestra a tamaño de ensayo con ayuda del método de cuarteo, posteriormente, dicha muestra se llevó al horno.
- Segundo, se procedió a seleccionar un recipiente que cumpla con las dimensiones establecidas en la norma, para luego registrar su peso y dimensiones.
- Tercero, se depositó la muestra en el recipiente dividiéndolo en 3 capas de similar espesor, en cada capa se debe enrasar con ayuda de una espátula luego de esto se utilizó una varilla de acero para apisonar equitativamente con 25 golpes.
- Se procedió registró el peso de la muestra y del recipiente.

Figura 33

Procedimiento del ensayo de peso unitario compactado del A°G°



3.8.3.2.5 Cálculos y Resultados Obtenidos

Tabla 38

Datos y resultados del ensayo de P.U.S. del A°G°

Descripción	Und	# de ensayo	
		I	II
Peso del recipiente (B)	g	7987.00	7987.00
Peso del recipiente y de la muestra (A)	g	12964.00	12982.00
Peso de la muestra (A-B)	g	4977.00	4995.00
Volumen del recipiente (C)	cm ³	3250.00	3250.00
P.U.S. ((A-B)/C)	g/cm ³	1.532	1.538
P.U.S. promedio	g/cm³	1.535	
P.U.S. promedio	kg/cm³	1535	

Tabla 39

Datos y resultados del ensayo de P.U.C. del A°G°

Descripción	Und	# de ensayo	
		I	II
Peso del recipiente (B)	g	7987.00	7987.00
Peso del recipiente y de la muestra (A)	g	13187.00	13180.00
Peso de la muestra (A-B)	g	5200.00	5193.00
Volumen del recipiente (C)	cm ³	3250.00	3250.00
P.U.C. ((A-B)/C)	g/cm ³	1.601	1.599
P.U.C. promedio	g/cm³	1.600	
P.U.C. promedio	kg/cm³	1600	

3.8.3.3 Resumen General de los Resultados de Peso Unitario Suelto y

Compactado de los Agregados y POV

Complementariamente, en las tablas 40 y 41 - figuras 34 y 35 se presentan los resúmenes generales y las gráficas comparativas de los resultados de estos ensayos obtenidos en la investigación.

Tabla 40

Resumen de los resultados de peso unitario suelto obtenidos en la investigación

Descripción	Und	A°F°	A°G°	POV
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1.53	1.54	1.61

Nota: Elaborado por el investigador (2024).

Figura 34

Gráfica comparativa de los resultados de peso unitario suelto obtenidos en la investigación

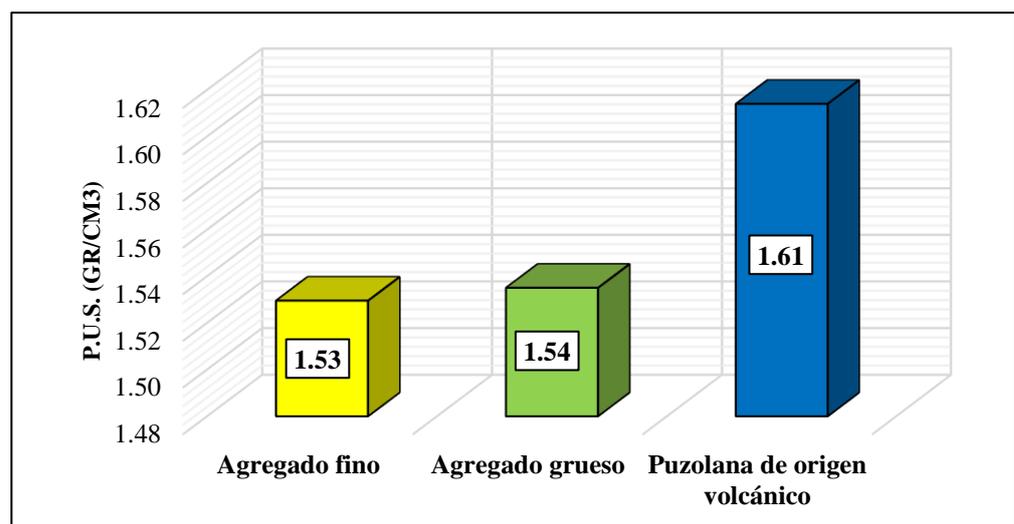


Tabla 41

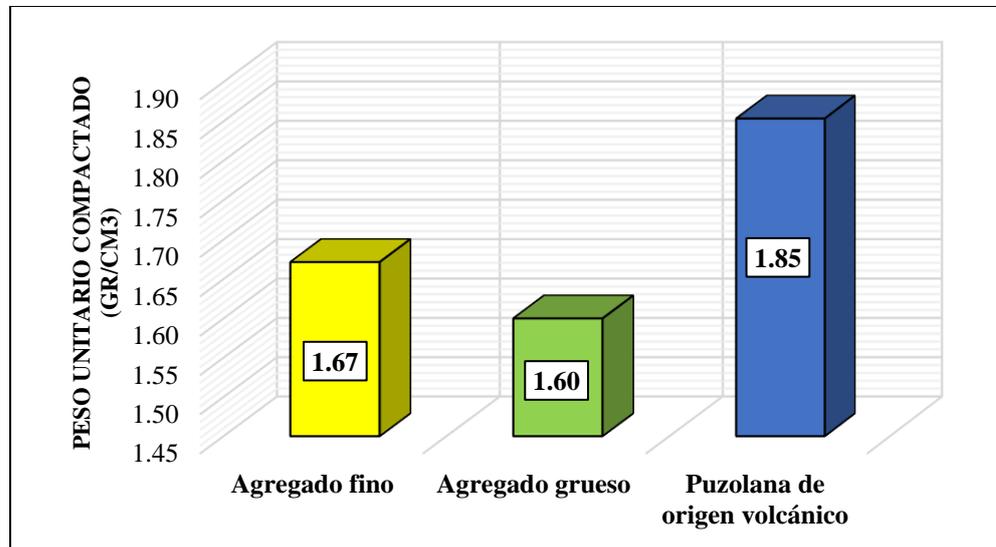
Resumen de los resultados de peso unitario compactado obtenidos en la investigación

Descripción	Und	A°F°	A°G°	POV
Peso unitario compactado	gr/cm ³	1.67	1.60	1.85

Nota: Elaborado por el investigador (2024).

Figura 35

Gráfica comparativa de resultados de peso unitario compactado



3.8.4 Análisis Granulométrico de los Agregados y POV

De acuerdo con Aguilar & Mamarandi (2020) mediante el análisis granulométrico de los agregados por tamizado se puede determinar el módulo de fineza y el TM de los agregados, con el objetivo de conocer la composición del material en relación a la distribución de tamaños de sus partículas. Para tal fin, es necesario una serie de tamices los cuales deben disponerse en orden descendente. (p. 129)

Ahora bien, según el RNE la elección de la granulometría del agregado debe contribuir en incrementar la densidad del concreto alcanzando su máximo valor y una trabajabilidad apropiada. Adicionalmente tanto el A[°]F[°] como el A[°]G[°] deben manipularse considerándolos materiales independientes.



3.8.4.1 Análisis Granulométrico del A[°]F[°] y POV

3.8.4.1.1 Normativas Técnicas

Durante el procedimiento de ejecución de este ensayo se cumplieron rigurosamente las siguientes normativas técnicas aplicables (NTP 400.011, NTP 400.012, NTP 400.037, NTP 400.043, MTC E 204, ASTM C 136 y ASTM C 33).

3.8.4.1.2 Aparatos y Materiales Utilizados

- Horno de secado con dimensiones adecuadas a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Balanza digital calibrada.
- Juego de tamices normalizados.
- Recipientes y/o taras, cucharón y brocha.

3.8.4.1.3 Descripción del Procedimiento

- Primero, se procedió a reducir la muestra a tamaño de ensayo con ayuda del método de cuarteo. Para el agregado fino la norma establece la cantidad mínima de 300 g de muestra de ensayo, tal muestra se llevó al horno someténdola a un proceso de secado a temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Segundo, luego de que la muestra seca fue conseguida se procedió a registrar su peso.
- Tercero, los tamices deben encontrarse completamente limpios y luego se deben colocar en orden descendente. Las muestras fueron vertidas en el

tamiz superior agitando constantemente los tamices manualmente con giros y leves golpes durante un lapso de tiempo suficiente el cual está determinado hasta alcanzar pesos constantes en cada tamiz.

- Cuarto, se procedió a registrar los pesos del material retenido.

Figura 36

Investigador ejecutando el análisis granulométrico del A°F°



Figura 37

Investigador ejecutando el análisis granulométrico de la POV



3.8.4.1.4 Cálculos y Resultados Obtenidos

Tabla 42

Análisis granulométrico del A°F°

Tamiz		Peso retenido	Porcentaje retenido	% Reten. Acumulado	% Que pasa	Especificación ASTM C - 33
Pulg.	mm.					
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100
N° 4	4.76	23.00	2.35	2.35	97.65	95 - 100
N° 6	3.36	0.00	0.00	2.35	97.65	
N° 8	2.38	152.00	15.54	17.89	82.11	80 - 100
N° 10	2.00	0.00	0.00	17.89	82.11	
N° 16	1.19	191.00	19.53	37.42	62.58	50 - 85
N° 20	0.84	0.00	0.00	37.42	62.58	
N° 30	0.59	239.00	24.44	61.86	38.14	25 - 60
N° 40	0.42	0.00	0.00	61.86	38.14	
N° 50	0.30	212.00	21.68	83.54	16.46	5 - 30
N° 80	0.18	0.00	0.00	83.54	16.46	
N° 100	0.15	123.00	12.58	96.11	3.89	0 - 10
N° 200	0.07	0.00	0.00	96.11	3.89	
Fondo		38.00	3.89	100.00	0.00	
Total		978.00	100.00			
% pérdida		0.09	Análisis granulométrico aceptado < 0.30%			

Figura 38

Curva granulométrica del A°F°

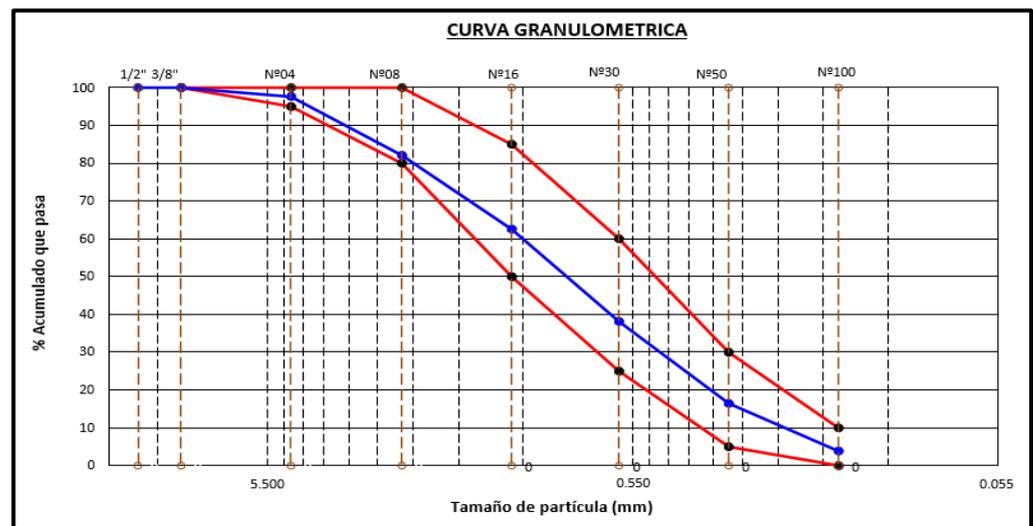


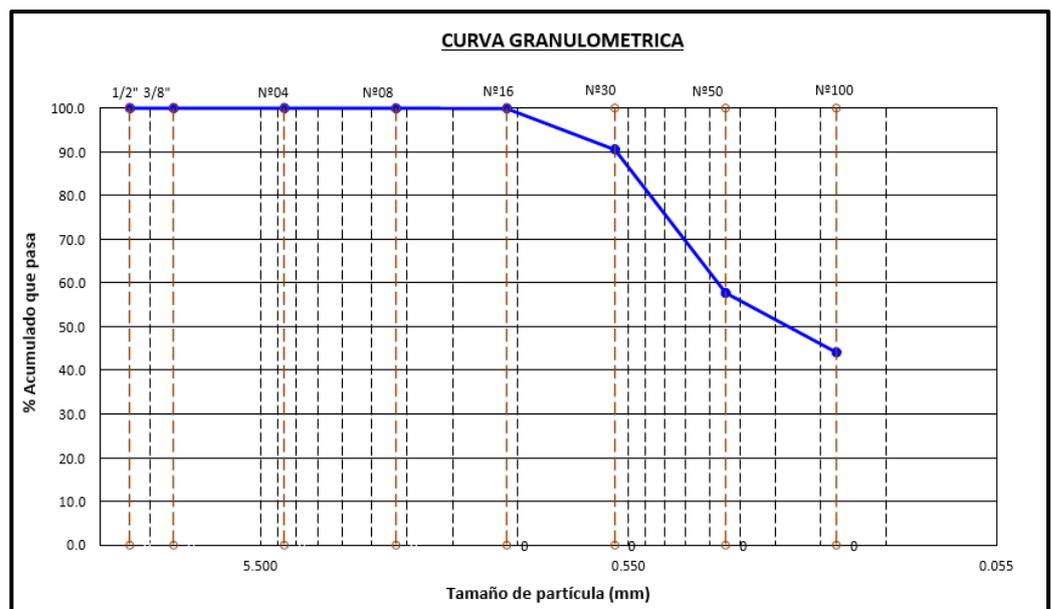
Tabla 43

Análisis granulométrico de la POV

Tamiz		Peso retenido	Porcentaje retenido	% Reten. Acumulado	% Que pasa	Especificación
Pulg.	mm.					
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	
N° 4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	
N° 6	3.36	0.00	0.00	0.00	100.00	
N° 8	2.38	0.20	0.02	0.02	99.98	-
N° 10	2.00	0.00	0.00	0.02	99.98	
N° 16	1.19	0.10	0.01	0.03	99.97	-
N° 20	0.84	0.00	0.00	0.03	99.97	
N° 30	0.59	47.30	4.84	4.87	95.13	-
N° 40	0.42	0.00	0.00	4.87	95.13	
N° 50	0.30	165.00	16.87	21.74	78.26	-
N° 80	0.18	0.00	0.00	21.74	78.26	
N° 100	0.15	68.30	6.98	28.72	71.28	-
N° 200	0.07	0.00	0.00	28.72	71.28	
Fondo		221.60	22.66	51.38	48.62	
Total		502.50	51.38			
% pérdida		0.07				

Figura 39

Curva granulométrica de la POV





3.8.4.2 Análisis Granulométrico del A^oG^o

3.8.4.2.1 Normativas Técnicas

Durante el procedimiento de ejecución de este ensayo se cumplieron rigurosamente las siguientes normativas técnicas aplicables (NTP 400.011, NTP 400.012, NTP 400.037, NTP 400.043, MTC E 204, ASTM C 136 y ASTM C 33).

3.8.4.2.2 Aparatos y Materiales Utilizados

- Horno de secado con dimensiones adecuadas a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Balanzas digitales calibradas.
- Juego de tamices normalizados.
- Recipientes y/o taras, cucharón y brocha.

3.8.4.2.3 Descripción del Procedimiento

- Primero, se procedió a reducir la muestra a tamaño de ensayo con ayuda del método de cuarteo. Para el agregado grueso la norma establece la cantidad mínima de 10 000 g de muestra de ensayo, tal muestra se llevó al horno ($100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Segundo, se secó la muestra para luego registrar su peso.
- Tercero, se colocó los tamices en orden descendente, luego la muestra fue vertida en el tamiz superior agitando constantemente con giros y leves

golpes durante un tiempo suficiente el cual está determinado hasta alcanzar pesos constantes en cada tamiz.

- Cuarto, se procedió a registrar los pesos del material que se retuvo.

Figura 40

Investigador ejecutando el análisis granulométrico del A°G°



3.8.4.2.4 Cálculos y Resultados Obtenidos

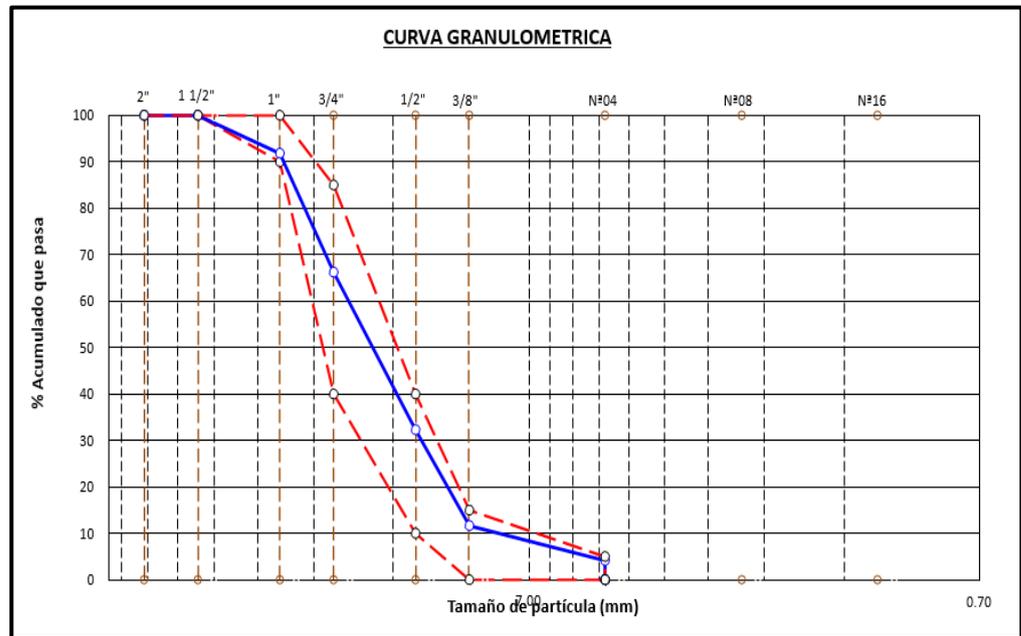
Tabla 44

Análisis granulométrico del A°G°

Tamiz		Peso retenido	Porcentaje ret.	% Reten. acum.	% Pasante	Especificación ASTM C - 33
Pulg.	mm.					
1 1/2"	38.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100
1"	25.00	850.00	8.17	8.17	91.83	90 - 100
3/4"	19.00	2663.20	25.61	33.79	66.21	
1/2"	12.50	3524.90	33.90	67.69	32.31	25 - 60
3/8"	9.50	2147.80	20.66	88.34	11.66	
N° 04	4.75	782.00	7.52	95.86	4.14	0 - 10
N° 08	2.36	1.50	0.01	95.88	4.12	0 - 5
N° 16	1.18	0.20	0.00	95.88	4.12	
Fondo		428.40	4.12	100.00	0.00	
Total		10398.00	100.00			
% pérdida		0.00	Análisis granulométrico aceptado < 0.30%			

Figura 41

Curva granulométrica del A°G°



3.8.5 Módulo de Fineza de los Agregados y POV

Desde el punto de vista de Abanto (2017) representa el índice predominante del tamaño de las partículas del agregado, si el valor de este índice es pequeño significa que el agregado es fino y si el valor del índice es elevado significa lo opuesto. Además, puede servir como control de la uniformidad de los agregados, en el caso de que estos cumplan con lo dispuesto en las normas sobre granulometría.

Para determinar el valor del módulo de fineza del A°G° y/o A°F°, es necesario sumar individualmente el porcentaje de material acumulado retenido en los tamices estándar 3", 11/2", 3/4", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100 (la relación de incremento es de 2 a 1) y a este resultado dividirlo entre 100 (NTP 400.012, 2018).

3.8.5.1 Módulo de Fineza del A^oF^o y POV

Desde el punto de vista de Abanto (2017), para conseguir concretos con una adecuada trabajabilidad y baja segregación, los módulos de fineza de las arenas deben encontrarse en un rango de 2,2 y 2,8; asimismo para obtener concretos de alta resistencia es conveniente mantener un rango de 2,8 y 3,1. (p. 94)

3.8.5.1.1 Normativas Técnicas

Durante el procedimiento de ejecución de este ensayo se cumplieron rigurosamente las siguientes normativas técnicas aplicables (NTP 400.012, MTC E 204 y ASTM C 136).

3.8.5.1.2 Descripción del Procedimiento

Ahora bien, para poder determinar el módulo de fineza del A^oF^o se procedió a utilizar los datos que se obtuvieron del análisis granulométrico en la ecuación 31.

$$Mf = \frac{\sum \%Acum. Retenidos (3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100} \quad (31)$$

3.8.5.1.3 Cálculos y Resultados

Ahora bien, para determinar el valor del módulo de fineza del A^oF^o se ha empleado la ecuación 31.

$$Mf = \frac{0 + 0 + 0 + 0 + 2.35 + 17.89 + 37.42 + 61.86 + 83.54 + 96.11}{100}$$



$$Mf = 2.992$$

Similarmente, para determinar el valor del módulo de fineza de la puzolana de origen volcánico se ha empleado la ecuación 31, obteniendo como resultado un valor de 1.078.

3.8.5.2 Módulo de Fineza del A°G°

Tal como expresa Abanto (2017), el valor del módulo de fineza del A°G° es utilizado con poca frecuencia que el de la arena y se utilizan los mismos criterios para determinarlo (p. 94).

3.8.5.2.1 Normativas Técnicas

Durante el procedimiento de ejecución de este ensayo se cumplieron rigurosamente las siguientes normativas técnicas aplicables (NTP 400.012, MTC E 204 y ASTM C 136).

3.8.5.2.2 Descripción del Procedimiento

Para determinar el módulo de fineza del A°G° se procedió a utilizar los datos que se obtuvieron del análisis granulométrico en la ecuación 31.

3.8.5.2.3 Cálculos y Resultados

$$Mf = \frac{0 + 0 + 33.79 + 88.34 + 95.86 + 95.88 + 95.88 + 100 + 100 + 100}{100}$$

$$Mf = 7.098$$

3.8.5.3 Resumen General de los Resultados de Módulo de Fineza

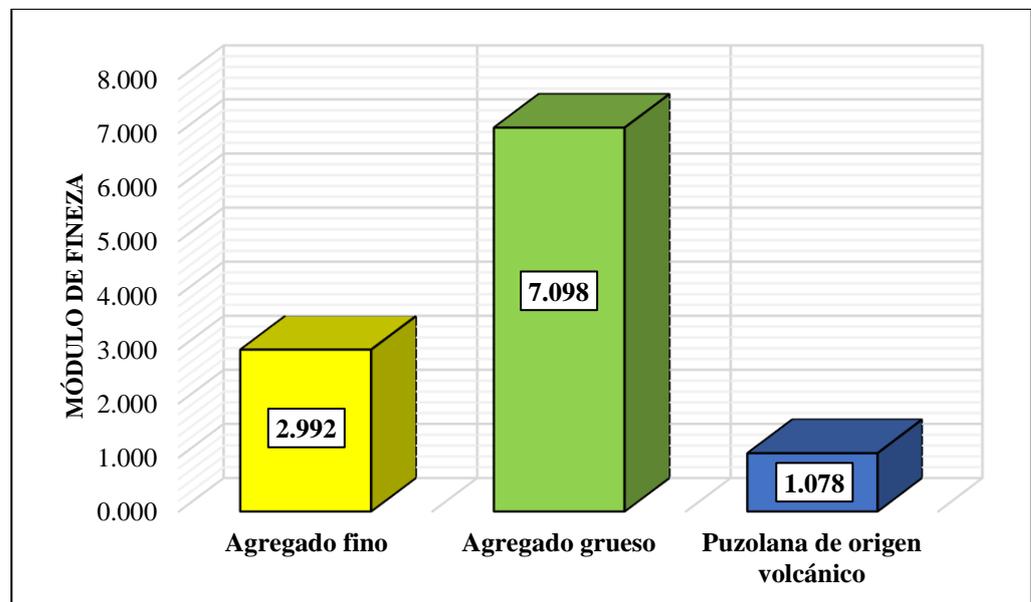
Tabla 45

Resumen de los resultados de módulo de fineza obtenidos en la investigación

Descripción	A °F°	A °G°	POV
Módulo de fineza	2.992	7.098	1.078

Figura 42

Gráfica comparativa de los resultados de módulo de fineza obtenidos en la investigación



3.9 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

3.9.1 Diseño de Mezcla de Concreto Mediante el Método ACI 211

El diseño de mezcla empleando en esta investigación es el método americano ACI 211, el cual consiste en una secuencia de diseño que se apoya o fundamenta en



tablas, con ayuda de estas últimas se obtienen proporciones relacionados a los componentes del concreto (véase anexo J).

Culminado la secuencia del diseño de mezclas se obtienen las dosificaciones de cada componente para el concreto patrón (A°F° + A°G° + cemento + agua), ahora bien, tal como se ha postulado en los objetivos de esta investigación la sustitución parcial de cemento por puzolana de origen volcánico se va a realizar en porcentajes de 5%, 10% y 15% transformados en kilogramos; en base de este procedimiento se realizará la elaboración del concreto en estado endurecido y fresco, los cuales serán sometidos a diferentes ensayos con la finalidad de evaluar sus propiedades.

Tabla 46

Presentación de los diseños de mezcla finales sin y con sustitución de cemento por POV mediante el método ACI 211

Descripción	Und.	Concreto con sustitución parcial de cemento por POV				
		% Cemento % POV	100% 0%	95% 5%	90% 10%	85% 15%
Cemento	kg/m ³		373.00	354.35	335.70	317.05
POV	kg/m ³		0.00	18.65	37.30	55.96
Agua	l/m ³		170.00	170.00	170.00	170.00
Agregado grueso	kg/m ³		1126.00	1126.00	1126.00	1126.00
Agregado fino	kg/m ³		989.00	989.00	989.00	989.00



3.10 ELABORACIÓN DE CONCRETO $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ SIN Y CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO

Después de definir las proporciones y dosificaciones del A°F°, A°G°, cemento, POV y agua; se procede a elaborar los especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto con sustituciones parciales del 0%, 5%, 10% y 15% de cemento por POV, cumpliendo rigurosamente las normativas correspondientes. Dentro de este marco, se han elaborado 36 especímenes cilíndricos para los ensayos de resistencia a la compresión, 36 especímenes prismáticos para los ensayos de resistencia a flexión y 36 especímenes cilíndricos para los ensayos de resistencia a la tracción; obteniendo finalmente un total de 108 especímenes cilíndricos y prismáticos. Culminado el procedimiento anterior se debe realizar el curado de los mencionados especímenes.

3.10.1 Elaboración de los Especímenes Cilíndricos de Concreto

Se han elaborado 36 y 36 especímenes cilíndricos (probetas cilíndricas) para las pruebas de resistencia a la compresión y tracción respectivamente, en moldes (altura=30 cm y $\phi=15$ cm).

3.10.1.1 Normativas Técnicas

Durante todo el procedimiento para la elaboración de especímenes cilíndricos se cumplieron rigurosamente con las siguientes normativas técnicas aplicables.



- NTP 339.033
- ASTM C 31

3.10.1.2 Aparatos y Materiales Utilizados

- Mezcladora de concreto tipo trompo.
- Carretilla tipo Buggy para trasladar el concreto en estado fresco.
- Moldes metálicos de forma cilíndrica de 15 cm x 30 cm.
- Varilla de acero con superficie lisa y punta redondeada, $\phi=5/8''$ y 60 cm de largo para realizar el chuzeado.
- Mazo de goma, pala, cucharón, plancha metálica y petróleo.
- Balanza.
- Balde con una capacidad de 5 galones (18.9 litros).

3.10.1.3 Descripción del Procedimiento

- Primero, se procedió a pesar la cantidad necesaria de cada material para la elaboración del concreto.
- Segundo, se procedió a humedecer con agua toda la parte interna de la mezcladora, este procedimiento se realiza con el fin de que la mezcla no pierda agua.
- Tercero, para la elaboración del concreto se comenzó por adicionar el agregado grueso, así como también parte del agua, luego de unos segundos se añadieron el agregado fino, agua, cemento y puzolana de origen



volcánico; estos dos últimos en cantidades correspondientes a sus porcentajes de sustitución. El tiempo del ciclo de mezclado fue alrededor de 2 a 3 minutos.

- Cuarto, se realizó la limpieza de los moldes cilíndricos, una vez que estos quedaron totalmente limpios se procedió a empapar una franela con petróleo, la cual se pasó por la toda la parte interna de los moldes cilíndricos; este último procedimiento se realiza con el propósito de evitar la adherencia entre el molde y la mezcla.
- Quinto, se colocó los moldes cilíndricos en una superficie horizontal y rígida, seguidamente se introdujo la mezcla de concreto hasta llenar un tercio del molde cilíndrico; luego se realizó el apisonado para lo cual con ayuda de una varilla de acero se procedió a chuzear 25 veces aplicadas de forma uniforme, procurando que la varilla sea introducida a través de la altura total de la capa y la capa anterior, esta última en alrededor de 2,5 cm, adicionalmente se procedió a golpear 12 veces con ayuda de un mazo de goma; dicho procedimiento se repitió en cada una de las 3 capas.
- Sexto, se realizó el enrasado de los moldes cilíndricos.
- Séptimo, una vez ejecutados los pasos anteriores los moldes cilíndricos llenos de concreto se dejaron en un ambiente, el cual previene la pérdida de humedad durante un tiempo de aproximadamente 24 horas.

- Octavo, se realizó el desmolde de los especímenes cilíndricos y se los sumergió totalmente en el pozo de curado el cual debe estar rebosante de agua potable.

Figura 43

Dosificación de materiales (agregados, cemento, agua y POV)



Figura 44

Elaboración de especímenes cilíndricos sin y con sustitución de cemento por POV



Figura 45

Especímenes cilíndricos sin y con sustitución de cemento por POV



3.10.2 Elaboración de Especímenes Prismáticos de Concreto

Se han elaborado 36 especímenes prismáticos (vigas) en moldes con dimensiones de 6 pulgadas de ancho, 6 pulgadas de altura y 20 pulgadas de longitud.

3.10.2.1 Normativas

- NTP 339.033 y ASTM C 31

3.10.2.2 Aparatos y Materiales Utilizados

- Mezcladora de concreto tipo trompo.
- Carretilla tipo Buggy para trasladar el concreto en estado fresco.
- Moldes de madera con forma de viga de 6" x 6" x 20".
- Varilla de acero con superficie lisa y punta redondeada.
- Mazo de goma, pala, cucharón, plancha metálica y petróleo.



- Balanza y balde con una capacidad de 5 galones (18.9 litros).

3.10.2.3 Descripción del Procedimiento

- Primero, se procedió a pesar la cantidad necesaria de cada material para la elaboración del concreto, teniendo en cuenta sus respectivos porcentajes de sustitución (0%, 5%, 10% y 15%) de cemento por puzolana de origen volcánico.
- Segundo, se procedió a humedecer con agua toda la parte interna de la mezcladora, este procedimiento se realiza con el fin de que la mezcla no pierda agua.
- Tercero, para la elaboración del concreto se adicionó el agregado grueso, así como también parte del agua, luego de unos segundos se añadieron el agregado fino, agua, cemento y puzolana de origen volcánico; estos dos últimos en cantidades correspondientes a sus porcentajes de sustitución.
- Cuarto, se realizó la limpieza de los moldes prismáticos, una vez que estos quedaron totalmente limpios se procedió a empapar una franela con petróleo, la cual se pasó por la toda la parte interna de los moldes prismáticos; este último procedimiento se realiza con el propósito de evitar la adherencia entre el molde y la mezcla.
- Quinto, se colocó los moldes prismáticos en una superficie horizontal y rígida, seguidamente se introdujo la mezcla de concreto hasta llenar un tercio del molde prismático; luego se realizó el apisonado para lo cual con ayuda de una varilla de acero se procedió a chuzear de forma uniforme,

procurando que la varilla sea introducida a través de la altura total de la capa y la capa anterior, esta última en alrededor de 2,5 cm, adicionalmente se procedió a golpear 12 veces con ayuda de un mazo de goma; dicho procedimiento se repitió en cada una de las 3 capas.

- Sexto, con ayuda de una plancha o regla de acero se realizó el enrasado de los moldes.
- Séptimo, una vez ejecutados los pasos anteriores los moldes prismáticos llenos de concreto se dejaron en un ambiente, el cual previene la perdida de humedad durante un tiempo de aproximadamente 24 horas.
- Octavo, se realizó el desmolde de los especímenes prismáticos y se procedió a sumergirlas totalmente en el pozo de curado rebosante de agua potable.

Figura 46

Elaboración de especímenes prismáticos sin y con sustitución de cemento por POV



Figura 47

Especímenes prismáticos sin y con sustitución de cemento por POV



3.10.3 Curado de Especímenes Cilíndricos y Prismáticos

Después de 24 horas del vaciado se procedió a desmoldar los especímenes cilíndricos y prismáticos de sus respectivos moldes, para seguidamente sumergirlas totalmente en el pozo de curado rebosante de agua potable, posteriormente dichos especímenes se retiraron del pozo de curado para someterlas a las pruebas de resistencia.

Para definir las edades de curado para las pruebas de resistencia se tuvo en consideración principalmente las normas técnicas nacionales E.060 y NTP 339.183, la primera establece que el curado del concreto debe realizarse asegurando que este se encuentre constantemente húmedo; adicionalmente esta norma indica que las pruebas de resistencia se deben realizar a la edad de 28 días de curado y que si se realizan las pruebas a edades menores serán netamente referenciales. En concordancia

con lo anterior, Harmsen (2005) afirma que el procedimiento estándar establece que la resistencia sea ensayada a los 28 días, no obstante, con el propósito de analizar el desarrollo de la resistencia este periodo puede alterarse (p. 21). Complementariamente, la NTP 339.183, indica que las edades usualmente empleadas para los ensayos de resistencia a la compresión son de 7 y 28 días; y para las pruebas de resistencia a flexión son de 14 y 28 días de curado.

Por otra parte, Abanto (2017) señala que a los 14 días el concreto obtiene el 90 % de su resistencia y a los 28 días obtiene el 99 % de su resistencia; después de los 28 días continuará ganando resistencia, pero será ínfimo (p. 34).

En base a lo expuesto, en la presente investigación se optó por ensayar 36 especímenes cilíndricos a compresión a edades de 7, 14 y 28 días; 36 especímenes prismáticos a flexión a edades de 7, 14 y 28 días y finalmente 36 especímenes cilíndricos a tracción a edades de 7, 14 y 28 días.

Figura 48

Curado en laboratorio de los especímenes cilíndricos y prismáticos





3.11 ENSAYOS REALIZADOS EN CONCRETO ENDURECIDO SIN Y CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO

Los ensayos realizados en concreto endurecido en la presente investigación son la resistencia a la compresión, flexión y tracción; los especímenes cilíndricos y prismáticos fueron elaborados considerando sus respectivos porcentajes de sustitución de 0%, 5%, 10% y 15% de cemento por POV.

3.11.1 Prueba de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos

La norma NTP 339.034 establece el procedimiento de la prueba, la cual consiste en la aplicación de una carga axial a compresión en incremento constante sobre los especímenes cilíndricos, la prueba termina en el momento que se produce la falla; por otro lado, el valor de la resistencia a la compresión se determina mediante la relación de la máxima carga soportada en el transcurso de la prueba y el área promedio de la sección transversal del espécimen cilíndrico.

En base a lo anterior, para esta prueba se realizaron 3 ensayos para cada muestra de concreto con sustituciones parciales del 0%, 5%, 10% y 15% de cemento por puzolana de origen volcánico a edades de curado de 7, 14 y 28 días; en total se ensayaron a compresión 36 probetas cilíndricas.

3.11.1.1 Normativas Técnicas

- NTP 339.034



- MTC E 704
- ASTM C 39

3.11.1.2 Aparatos y Materiales Utilizados

- Máquina para pruebas de resistencia a compresión calibrada.
- Bloques de apoyo inferiores y superiores (placas de acero).
- Vernier.

3.11.1.3 Descripción del Procedimiento

- Primero, se procedió a retirar los especímenes cilíndricos de los pozos de curado, seguidamente se procedió a secar dichos especímenes bajo condiciones ambientales normales.
- Segundo, con ayuda del vernier se tomó medidas de los diámetros de todos los especímenes a ensayar, en tal sentido, para cada espécimen se realizó 3 mediciones con el propósito de obtener un valor promedio, el cual será empleado para determinar el área de la sección transversal.
- Tercero, se procedió a preparar la máquina de ensayo de resistencia a compresión colocando el espécimen cilíndrico verticalmente en medio de las placas de compresión, es importante resaltar que dicho espécimen debe ubicarse totalmente centrado y alineado.
- Cuarto, se procedió a aplicar una carga axial en incremento constante sobre el espécimen cilíndrico hasta provocar su falla.

- Quinto, se procedió a registrar la carga axial máxima y el tipo de falla.
Estos tres últimos pasos se repiten para todos los especímenes a ensayar.

Figura 49

Prueba de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos





3.11.1.4 Cálculos Para Determinar la Resistencia a la Compresión

Conforme a la normativa NTP 339.034, para determinar el valor de la resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos es necesario emplear las ecuaciones 44 y 45.

$$\text{Resistencia a la compresión } (f'c) = \frac{P}{A} \quad (44)$$

$$\begin{aligned} \text{Área promedio de la probeta } (A) \\ = \frac{\pi * \phi^2}{4} \end{aligned} \quad (45)$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia de rotura a la compresión de la probeta cilíndrica
(kg/cm²)

P = Carga axial máxima de falla (kg)

A = Área promedio de la probeta cilíndrica (cm²)

ϕ = Diámetro promedio de la probeta cilíndrica (cm)

3.11.2 Prueba de Resistencia a la Flexión de Especímenes Prismáticos

La norma NTP 339.078 establece el procedimiento para determinar la resistencia a la flexión de especímenes prismáticos (vigas) de concreto simplemente apoyadas con cargas en los tercios del claro, en ese contexto, esta prueba consiste en la aplicación de una carga en incremento constante en los tercios del claro, la prueba termina en el momento que se produzca la falla del espécimen prismático.



Dentro de este marco, para esta prueba se realizaron 3 ensayos por cada muestra de concreto con sustituciones parciales del 0%, 5%, 10% y 15% de cemento por puzolana de origen volcánico a edades de curado de 7, 14 y 28 días; en total se ensayaron a flexión 36 especímenes prismáticos.

3.11.2.1 Normativas Técnicas

- NTP 339.078
- ASTM C 78

3.11.2.2 Aparatos y Materiales Utilizados

- Máquina para pruebas de resistencia a la flexión calibrada.
- Aparatos de carga para el ensayo.
- Flexómetro.

3.11.2.3 Descripción del Procedimiento

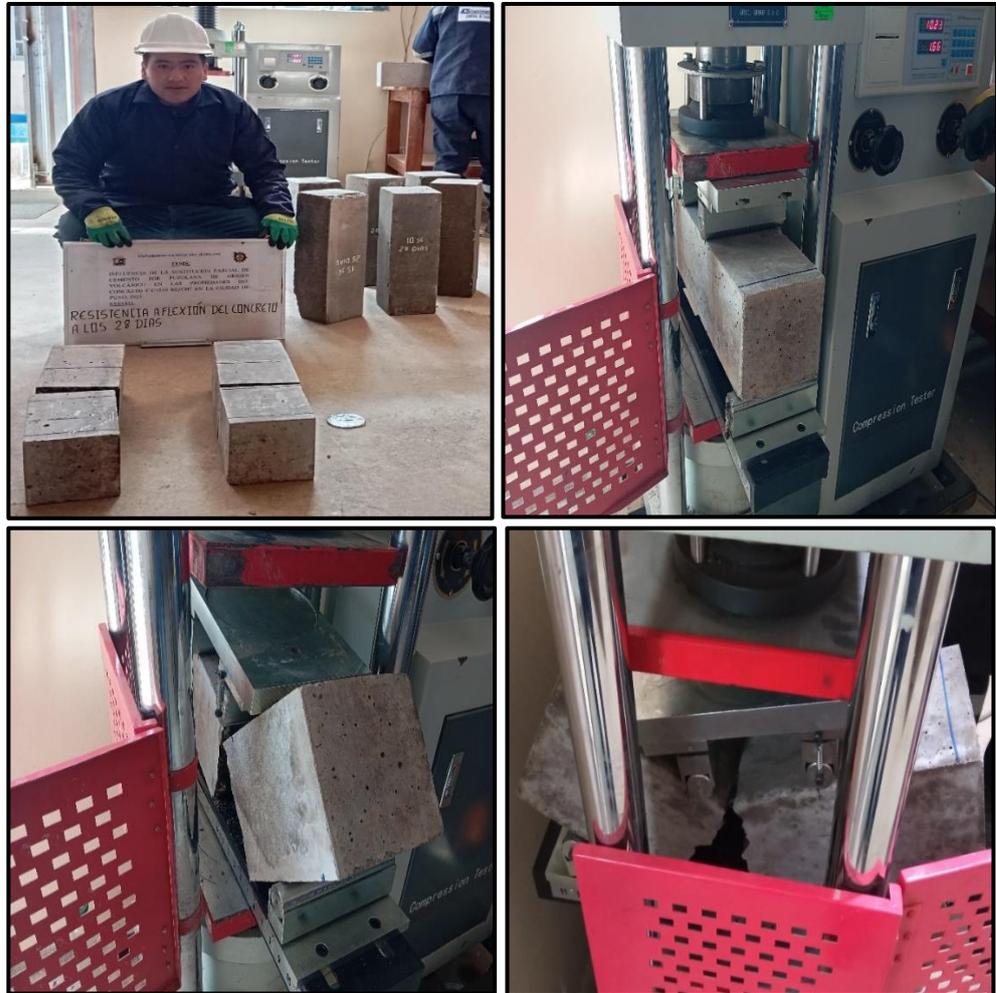
- Primero, se procedió a retirar los especímenes prismáticos de los pozos de curado, seguidamente se procedió a secar dichos especímenes bajo condiciones ambientales normales.
- Segundo, se procedió a centrar el espécimen prismático en los pilares de apoyo de la máquina para pruebas de resistencia a la flexión.
- Tercero, el sistema de aplicación de carga se centraliza dependiendo de la carga utilizada.



- Cuarto, los bloques de carga se ubicaron de tal manera que exista roce con la superficie del espécimen aproximadamente en los tercios de su longitud total, seguidamente se aplicó una carga que varía entre el 3 % - 6 % de la carga de rotura estimada.
- Quinto, se empleó medidores de espesores (galgas) con el propósito de identificar la existencia de longitudes diminutas entre el espécimen prismático y los bloques de carga o los soportes; se debe tener en cuenta que cuando dicha longitud supera los 10 mm no existe un contacto adecuado contacto entre el espécimen y los bloques de carga por lo que será indispensable colocar tiras de cuero, adicionalmente si la longitud en mención supera los 0.40 mm debe ser enmendado por medio de esmerilado.
- Sexto, es de vital importancia que las fuerzas se apliquen equitativamente y de manera perpendicular a la superficie del espécimen prismático.
- Séptimo, se registró la carga máxima cuando se produjo la falla; estos pasos se repiten para todos los especímenes prismáticos a ensayar.

Figura 50

Prueba de resistencia a la flexión de los especímenes prismáticos



3.11.2.4 Cálculos Para Determinar la Resistencia a la Flexión

Conforme a la normativa NTP 339.078, para determinar la resistencia a la flexión de los especímenes prismáticos cuando la falla se ubica a lo largo del tercio medio del claro, es necesario emplear la ecuación 46 para determinar el módulo de rotura.



$$MR = \frac{P * L}{A * H^2} \quad (46)$$

Donde:

MR = Módulo de rotura del espécimen (kg/cm^2)

P = Carga máxima de falla (kg)

L = Luz o longitud del tramo entre soportes (cm)

A = Ancho del espécimen en la sección transversal de falla (cm)

H = Altura del espécimen en la sección transversal de falla (cm)

Por otra parte, cuando la falla no se ubica a lo largo del tercio medio del claro y a una longitud que no supere el 5 % del claro, es necesario emplear la ecuación 47 para determinar el módulo de rotura.

$$\text{Módulo de rotura } (MR) = \frac{3 * P * m}{A * H^2} \quad (47)$$

Donde:

MR = Módulo de rotura del espécimen prismático (kg/cm^2)

P = Carga máxima de falla (kg)

m = Longitud entre el apoyo más próximo a la falla y la línea de falla (cm)

A = Ancho promedio del espécimen en la sección transversal de falla (cm)

H = Altura promedio del espécimen en la sección transversal de falla (cm)



Por último, cuando la falla no se ubica a lo largo del tercio medio del claro y a una longitud superior al 5 % del claro, el ensayo no se acepta.

3.11.3 Prueba de Resistencia a la Tracción de Especímenes Cilíndricos

La norma NTP 339.084 establece el procedimiento para esta prueba de tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto por compresión diametral, en tal sentido, esta prueba consiste en la aplicación de una carga a compresión diametral en incremento constante sobre la longitud total del espécimen, la prueba termina en el momento que se produzca la falla. Es importante resaltar que, al aplicar la carga a compresión diametral se provoca esfuerzos de tracción en el plano de aplicación y esfuerzos de compresión en el área de aplicación de la carga; por tal razón, la falla por esfuerzos de tracción acontece antes que la falla por esfuerzos de compresión ya que a lo largo del espécimen las áreas donde se aplica la carga se hallan en estado de compresión triaxial, de esta manera el espécimen puede resistir mayor esfuerzo de compresión en comparación con el esfuerzo de compresión obtenido mediante ensayo de compresión uniaxial.

Para esta prueba se realizaron 3 ensayos para cada muestra de concreto con sustituciones parciales de 0%, 5%, 10% y 15% de cemento por puzolana de origen volcánico a edades de 7, 14 y 28 días; en total se ensayaron a tracción 36 especímenes cilíndricos.

3.11.3.1 Normativas Técnicas

- NTP 339.084 y ASTM C 496



3.11.3.2 Aparatos y Materiales Utilizados

- Máquina para pruebas de resistencia a la tracción calibrada.
- Listones y platina de apoyo.
- Flexómetro y vernier.

3.11.3.3 Descripción del Procedimiento

- Primero, se procedió a retirar los especímenes cilíndricos de concreto de los pozos de curado, seguidamente se procedió a secarlos bajo condiciones ambientales normales.
- Segundo, con ayuda del vernier se procedió a tomar medida de los diámetros de los especímenes cilíndricos a ensayar; para cada espécimen se realizó 3 mediciones del diámetro con el propósito de obtener un valor promedio, el cual será utilizado en la fórmula para determinar la resistencia a la tracción; este procedimiento se repitió para determinar la altura promedio del espécimen.
- Tercero, se procedió a preparar la máquina para pruebas de resistencia a la tracción centrando uno de los listones de apoyo en toda la longitud de la barra de soporte inferior, luego se colocó longitudinalmente el espécimen sobre este listón; este paso se realizó teniendo en consideración que el espécimen debe ubicarse por encima del listón de tal manera que permanezca centrada y alineada.

- Cuarto, se colocó longitudinalmente el segundo listón por encima del espécimen, es importante resaltar que el espécimen debe ubicarse por debajo de este listón de tal manera que permanezca centrada y alineada.
- Quinto, se aplicó una carga en incremento constante hasta causar la falla de la probeta.
- Sexto, se procedió a registrar la carga.

Figura 51

Prueba de resistencia a la tracción de los especímenes cilíndricos



3.11.3.4 Cálculos y Resultados

Conforme a la normativa NTP 339.084, para determinar la resistencia a la tracción de los especímenes cilíndricos es necesario emplear la ecuación 48.

$$\text{Resistencia a la tracción } (RT) = \frac{2 * P}{\pi * L * \phi} \quad (48)$$

Donde:

RT = Resistencia a la tracción indirecta del espécimen (kg/cm^2)

P = Carga máxima de falla (kg)

L = Longitud o altura promedio del espécimen (cm)

ϕ = Diámetro promedio del espécimen (cm)

3.12 ENSAYOS REALIZADOS EN CONCRETO FRESCO SIN Y CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO

Para el concreto en estado fresco se realizó la prueba para la medición del asentamiento del concreto o también denominado “Slump”, en dicha prueba se cumplió estrictamente el procedimiento establecido por las normativas NTP 339.035, MTC E 705 y ASTM C 143, en tal sentido, se ejecutó tres ensayos para cada muestra de concreto con sus respectivos porcentajes de sustitución de 0%, 5%, 10% y 15% de cemento por puzolana de origen volcánico; obteniendo finalmente un total de 12 pruebas Slump. Además, es



importante resaltar que en esta prueba se consideró los asentamientos recomendados en la tabla 5.

3.12.1 Normativas Técnicas

- NTP 339.035
- MTC E 705
- ASTM C 143

3.12.2 Aparatos y Materiales Utilizados

- Molde metálico de forma tronco de cono o también denominado como “cono de Abrams”, dicho molde debe tener aberturas en los extremos y debe contar con asas y piezas de soporte; sus dimensiones son de 30 cm (12") de altura, 0.1 m (4") de ϕ superior y 0.2 m (8") de ϕ inferior.
- Varilla de acero con superficie lisa y punta redondeada de 5/8" de ϕ y 0.6 m de largo para realizar el chuseado.
- Placa base de apoyo de 40 x 60 cm.
- Flexómetro, cucharón y herramientas manuales.

3.12.3 Descripción del Procedimiento

- Primero, se realizó la limpieza del molde metálico de forma tronco de cono y de los demás accesorios, una vez que estos quedaron totalmente limpios se procedió a humedecer el interior del molde.



- Segundo, se colocó el molde sobre la placa metálica en una superficie horizontal y firme; seguidamente se pisó las piezas de soporte del molde con el propósito de mantenerlo fijo.
- Tercero, se tomó una muestra representativa de la mezcla de concreto con la cual se procedió a llenar hasta un tercio del molde, luego se realizó el apisonado para lo cual con ayuda de la varilla de acero se aplicó 25 golpes de forma uniforme; este paso se repitió en cada una de las 3 capas.
- Cuarto, se procedió a enrasar considerando que el molde debe llenarse de mezcla en exceso, seguidamente se retiró el molde levantándolo cuidadosamente en dirección vertical y evitando girarlo, este último paso se debe realizar en un periodo de tiempo de entre dos a cinco segundos.
- Quinto, es importante resaltar que todos los pasos mencionados, se deben realizar en un tiempo que no exceda los dos minutos y treinta segundos.
- Sexto, se procedió a medir rápidamente el asentamiento con ayuda de un flexómetro, en tal sentido se consideró la parte superior del molde respecto el centro superior desplazado del cono deformado de la mezcla de concreto fresco. Además, es importante resaltar que todo el procedimiento descrito se debe repetir por 3 veces con el propósito de promediar estos valores.

Figura 52

Procedimiento de la prueba para la medición del asentamiento "Slump"



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO

4.1.1 Resultados de las Pruebas de Resistencia a la Compresión

Se han elaborado nueve especímenes cilíndricos correspondientes al CP, nueve especímenes cilíndricos con sustitución del 5% de cemento por POV, nueve especímenes cilíndricos con sustitución del 10% de cemento por POV y nueve especímenes cilíndricos con sustitución del 15% de cemento por POV a 7, 14 y 28 días; en total se ensayaron a compresión 36 especímenes cilíndricos (Ver Anexo K).

Tabla 47

Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 7 días

Descripción	Edad (días)	Resist. obtenida (Kg/cm ²)	Resist. diseño (Kg/cm ²)	% de resist.	Resist. Promedio (Kg/cm ²)	Promedio de % de resist.
CP	7	121.70	210	57.95	119.40	56.86
		122.20	210	58.19		
		114.30	210	54.43		
CP con 5% de sustitución de cemento por POV	7	129.86	210	61.84	131.54	62.64
		129.27	210	61.56		
		135.48	210	64.51		
CP con 10% de sustitución de cemento por POV	7	136.70	210	65.10	136.57	65.03
		135.54	210	64.54		
		137.48	210	65.47		
CP con 15% de sustitución de cemento por POV	7	116.05	210	55.26	115.69	55.09
		115.13	210	54.82		
		115.88	210	55.18		

Figura 53

Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la compresión a los 7 días

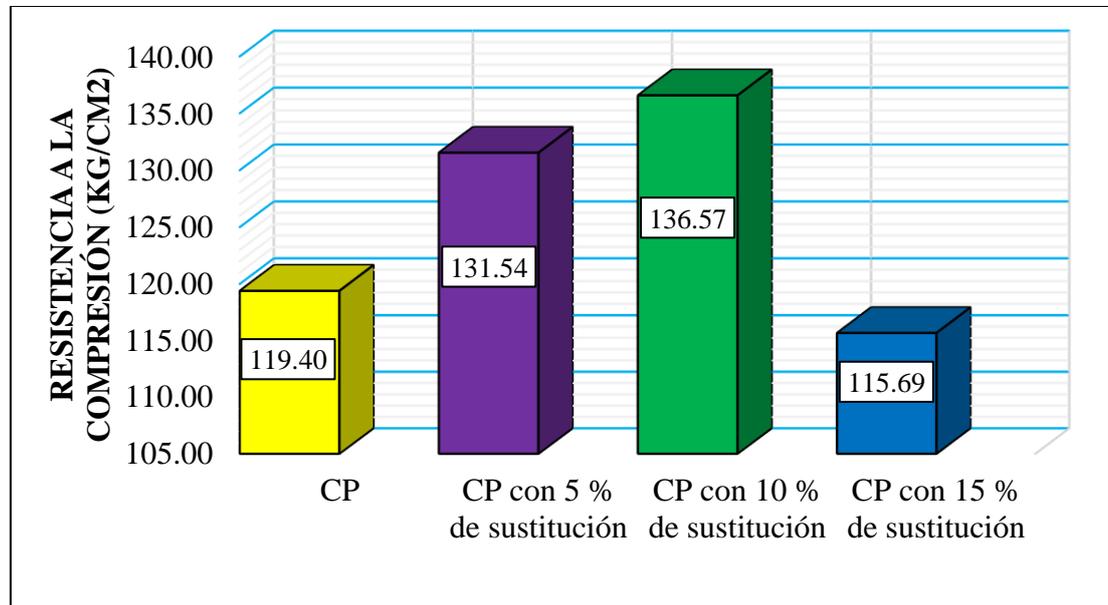


Tabla 48

Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 14 días

Descripción	Edad (días)	Resist. obtenida (Kg/cm ²)	Resist. diseño (Kg/cm ²)	% de resist.	Resist. Promedio (Kg/cm ²)	Promedio de % de resist.
CP	14	155.74	210	74.16	146.20	69.62
		145.54	210	69.30		
		137.33	210	65.40		
CP con 5% de sustitución de cemento por POV	14	153.51	210	73.10	154.50	73.57
		153.73	210	73.20		
		156.26	210	74.41		
CP con 10% de sustitución de cemento por POV	14	159.52	210	75.96	159.60	76.00
		159.38	210	75.89		
		159.89	210	76.14		
CP con 15% de sustitución de cemento por POV	14	140.03	210	66.68	140.41	66.86
		139.96	210	66.65		
		141.25	210	67.26		

Figura 54

Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la compresión a los 14 días

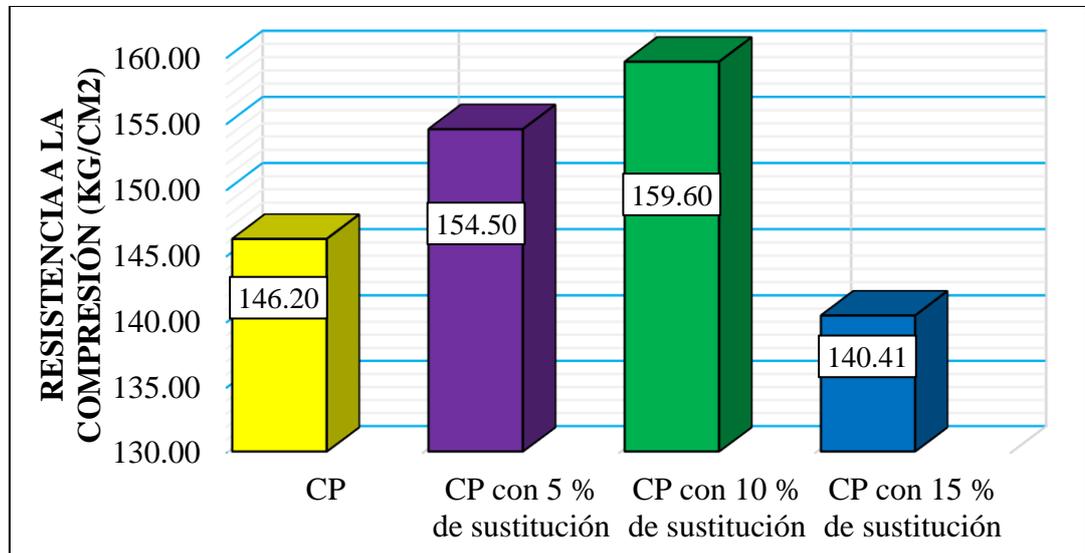


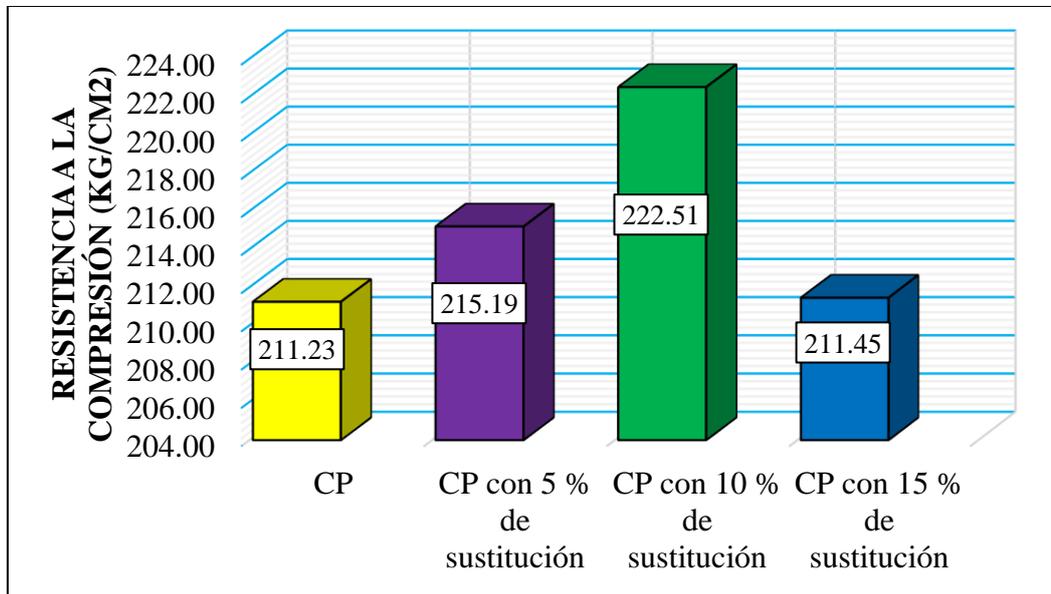
Tabla 49

Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días

Descripción	Edad (días)	Resist. obtenida (Kg/cm ²)	Resist. diseño (Kg/cm ²)	% de resist.	Resist. Promedio (Kg/cm ²)	Promedio de % de resist.
CP	28	207.61	210	98.86	211.23	100.59
		209.51	210	99.77		
		216.58	210	103.13		
CP con 5% de sustitución de cemento por POV	28	214.58	210	102.18	215.19	102.47
		217.42	210	103.53		
		213.57	210	101.70		
CP con 10% de sustitución de cemento por POV	28	222.00	210	105.72	222.51	105.96
		221.27	210	105.36		
		224.26	210	106.79		
CP con 15% de sustitución de cemento por POV	28	210.21	210	100.10	211.45	100.69
		214.67	210	102.22		
		209.46	210	99.74		

Figura 55

Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la compresión a los 28 días



En síntesis, en la tabla 50 y figuras 56 y 57 se muestran el resumen y gráficos de la evolución de la resistencia a compresión promedio a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 50

Resumen de los resultados de resistencia a la compresión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días

Descripción		Resist. a la compresión promedio (kg/cm ²)		
Cemento	POV	7 días	14 días	28 días
100%	0%	119.40	146.20	211.23
95%	5%	131.54	154.50	215.19
90%	10%	136.57	159.60	222.51
85%	15%	115.69	140.41	211.45

Figura 56

Variación de los resultados de resistencia a la compresión del concreto sin y con sustitución del cemento por POV a los 7, 14 y 28 días

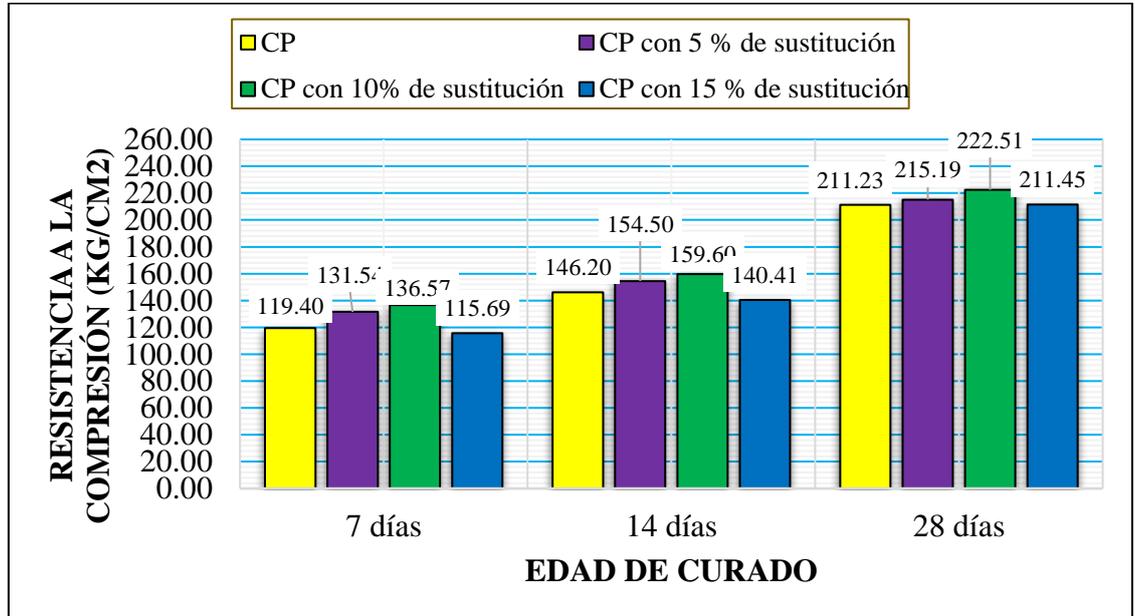
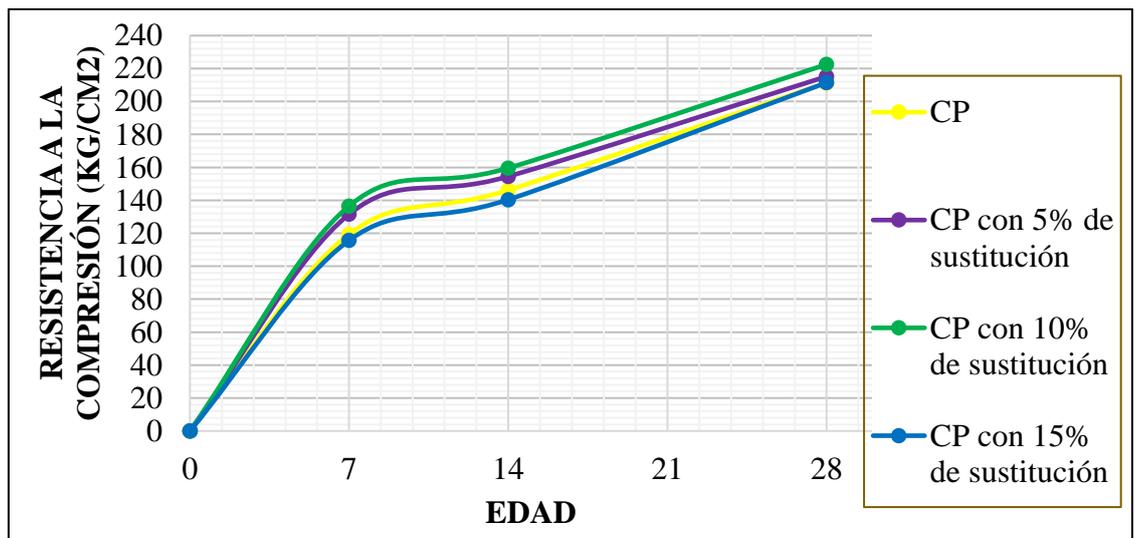


Figura 57

Curva de variación de los resultados de resistencia a la compresión del concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días



Por lo expuesto, según la tabla 50 y figuras 56 y 57, el CP alcanzó una resistencia a compresión promedio de 211.23 kg/cm^2 a los 28 días, lo cual indica que dicho valor fue superior a la resistencia de diseño (210 kg/cm^2). Por otra parte, los concretos con sustituciones del 5%, 10% y 15 % de cemento por POV obtuvieron resistencias de 215.19 kg/cm^2 , 222.51 kg/cm^2 y 211.45 kg/cm^2 correspondientemente, lo cual indica que los valores en mención superaron la resistencia a compresión promedio del CP.

4.1.2 Resultados de las Pruebas de Resistencia a la Flexión

Se han elaborado 9 especímenes prismáticos correspondientes al CP, 9 especímenes prismáticos con sustitución del 5% de cemento por POV, 9 especímenes prismáticos con sustitución del 10% de cemento por POV y 9 especímenes prismáticos con sustitución del 15% de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 51

Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión a los 7 días

Descripción	Edad (días)	Carga (N)	Carga (kg-f)	Resist. alcanzada (Kg/cm^2)	Resist. promedio (Kg-f/cm^2)	% de resist. promedio
CP	7	15624	1593	19.13	18.97	100.00
		15201	1550	18.85		
		15203	1550	18.93		
CP con 5% de sustitución de cemento por POV	7	14702	1499	17.88	17.93	94.52
		14753	1504	17.83		
		14482	1477	18.08		
CP con 10% de sustitución de cemento por POV	7	13261	1352	16.24	16.38	86.36
		13098	1336	16.14		
		13520	1379	16.77		
CP con 15% de sustitución de cemento por POV	7	12899	1315	15.79	15.83	83.42
		12845	1310	15.83		
		12783	1304	15.85		

Figura 58

Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la flexión a los 7 días

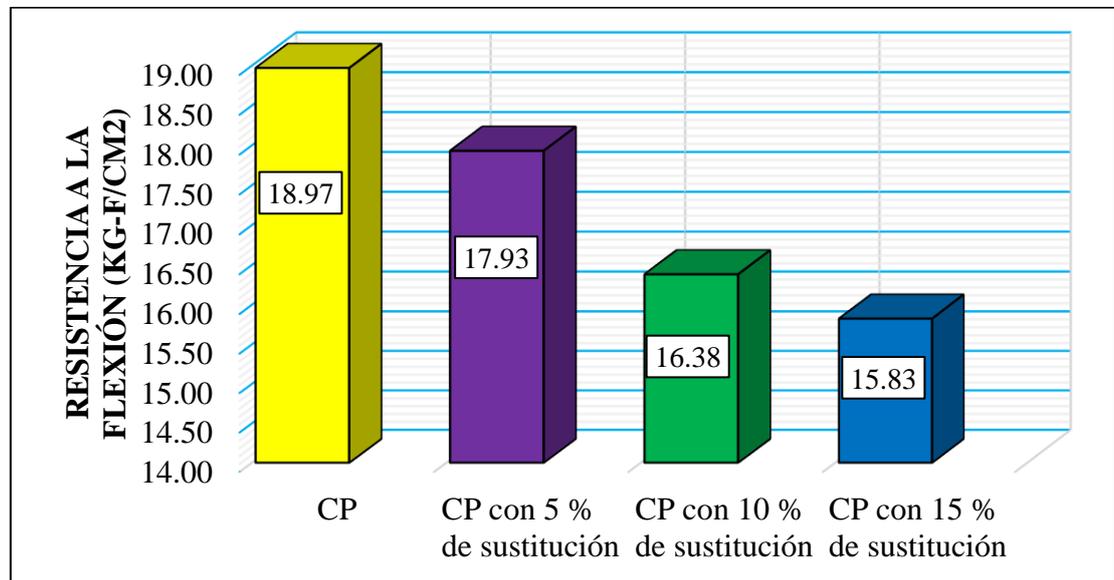


Tabla 52

Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión a los 14 días

Descripción	Edad (días)	Carga (N)	Carga (kg-f)	Resist. alcanzada (Kg/cm ²)	Resist. promedio (Kg/cm ²)	% de resist. promedio
CP	14	19520	1990	23.90	25.28	100.00
		20457	2086	25.54		
		21003	2142	26.39		
CP con 5% de sustitución de cemento por POV	14	21400	2182	26.89	26.71	105.66
		21450	2187	26.26		
		21603	2203	26.97		
CP con 10% de sustitución de cemento por POV	14	22902	2335	28.22	27.35	108.21
		21923	2236	26.84		
		22045	2248	26.99		
CP con 15% de sustitución de cemento por POV	14	22062	2250	27.19	26.57	105.12
		21579	2200	26.42		
		21320	2174	26.10		

Figura 59

Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la flexión a los 14 días

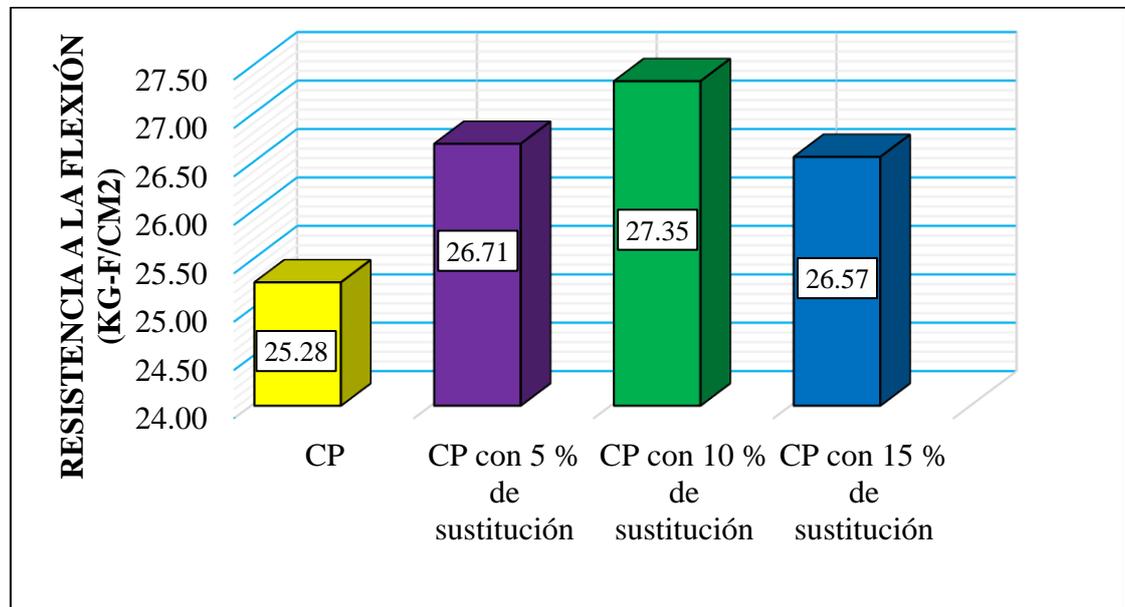


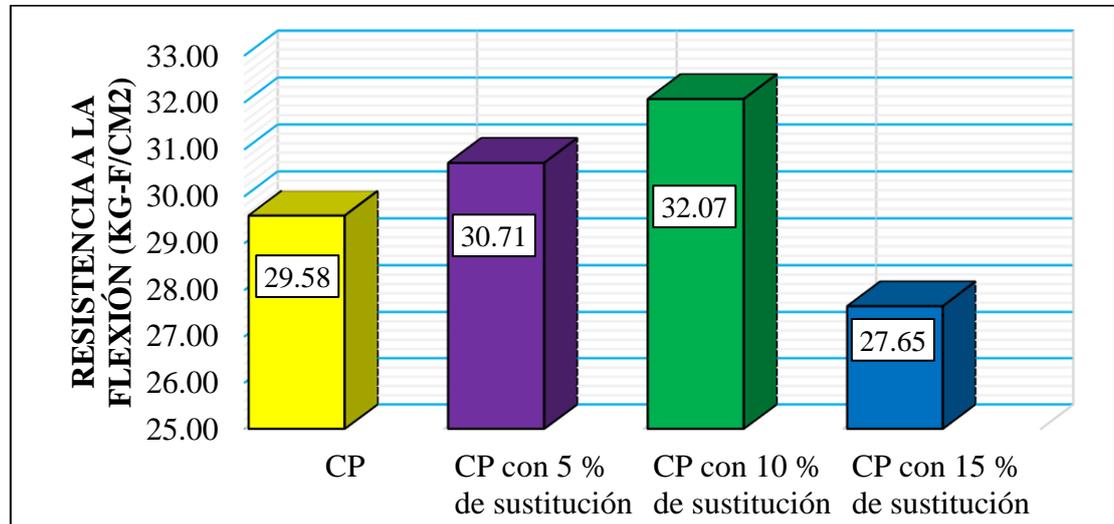
Tabla 53

Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión a los 28 días

Descripción	Edad (días)	Carga (N)	Carga (kg-f)	Resist. alcanzada (Kg/cm ²)	Resist. promedio (Kg/cm ²)	% de resist. promedio
CP	28	23456	2392	28.90	29.58	100.00
		24508	2499	30.59		
		23892	2436	29.25		
CP con 5% de sustitución de cemento por POV	28	24909	2540	30.89	30.71	103.80
		25004	2550	30.81		
		24840	2533	30.41		
CP con 10% de sustitución de cemento por POV	28	25936	2645	32.38	32.07	108.40
		26131	2665	31.99		
		25831	2634	31.83		
CP con 15% de sustitución de cemento por POV	28	22327	2277	27.87	27.65	93.47
		22741	2319	27.84		
		22103	2254	27.24		

Figura 60

Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la flexión a los 28 días



En síntesis, en la tabla 54 y figuras 61 y 62 se muestran el resumen y gráficos de la evolución de la resistencia a la flexión promedio a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 54

Resumen de los resultados de resistencia a la flexión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días

Descripción		Resis. a la flexión promedio (kg-f/cm ²)		
Cemento	POV	7 días	14 días	28 días
100%	0%	18.97	25.28	29.58
95%	5%	17.93	26.71	30.71
90%	10%	16.38	27.35	32.07
85%	15%	15.83	26.57	27.65

Figura 61

Variación de los resultados de resistencia a la flexión del concreto sin y con sustitución del cemento por POV a los 7, 14 y 28 días

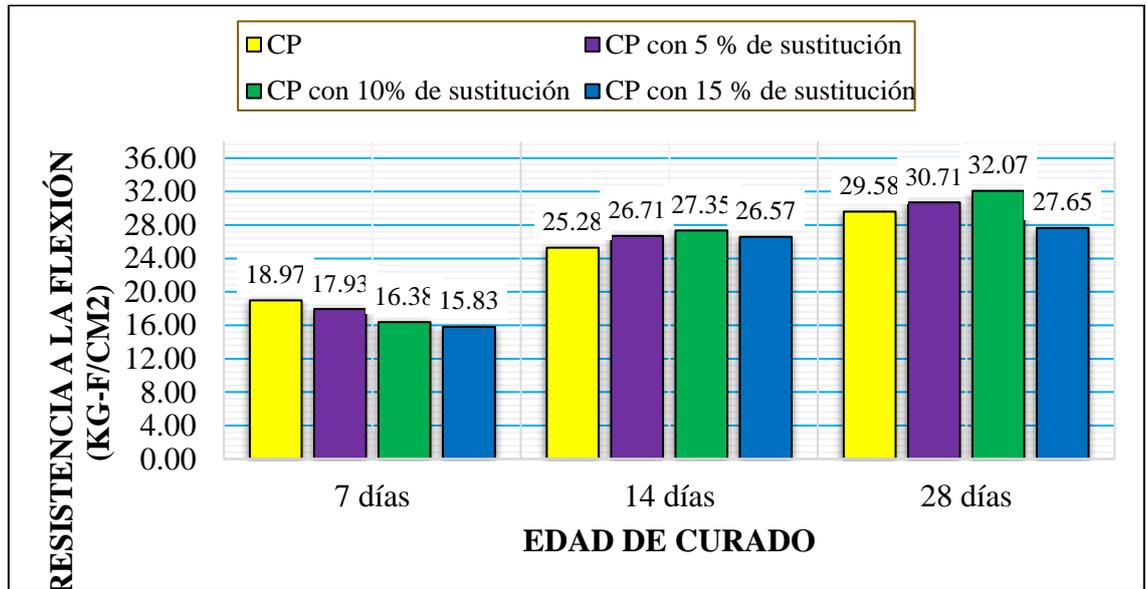
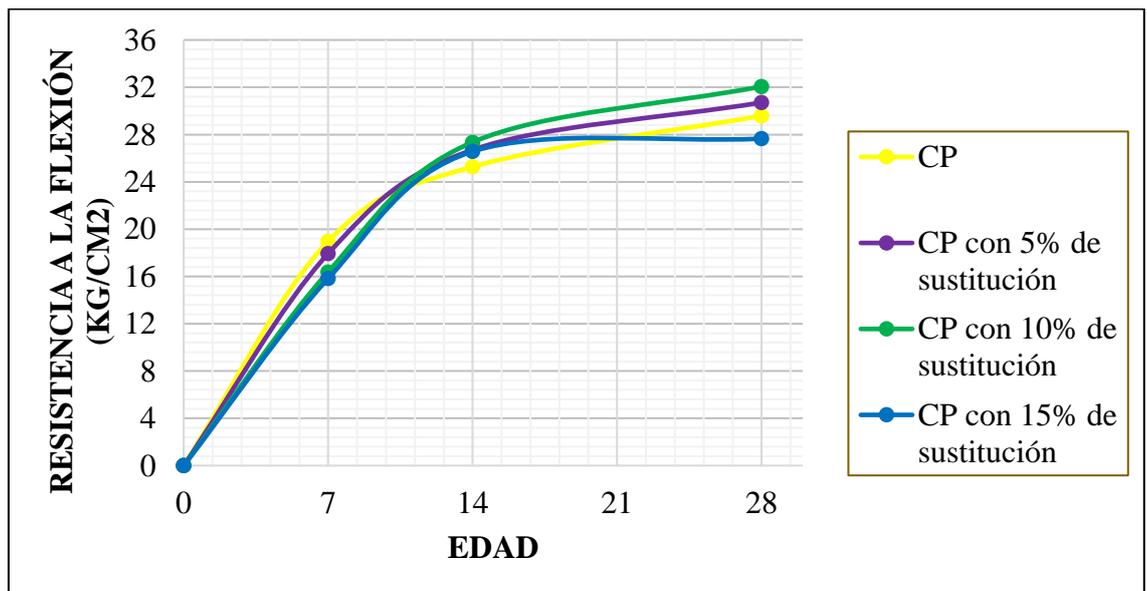


Figura 62

Curva de variación de los resultados de resistencia a la flexión del concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días



Conforme a la tabla 54 y figuras 61 y 62, a los 28 días el CP obtuvo una resistencia a flexión promedio de 29.58 kg/cm^2 , por otra parte, los concretos con sustituciones parciales del 5% y 10% de cemento por POV alcanzaron resistencias de 30.71 kg/cm^2 y 32.07 kg/cm^2 correspondientemente, lo cual indica que dichos valores superaron la resistencia a la flexión del CP; el concreto con sustitución parcial del 15% de cemento por POV alcanzó una resistencia de 27.65 kg/cm^2 , esto indica que este valor no superó la resistencia a la flexión del CP.

4.1.3 Resultados de las Pruebas de Resistencia a la Tracción

Para esta prueba se elaboraron nueve especímenes cilíndricos correspondientes al CP y nueve especímenes para cada porcentaje de sustitución (5%, 10% y 15%) de cemento por POV a 7, 14 y 28 días de curado; en total se ensayaron 36 especímenes cilíndricos (Ver Anexo M)

Tabla 55

Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción a los 7 días

Descripción	Edad (días)	Carga (N)	Carga (kg-f)	Resist. alcanzada (Kg/cm^2)	Resist. promedio (Kg-f/cm^2)	% de resist. promedio
CP	7	101450	10345	14.21	14.82	100.00
		111540	11374	15.57		
		104523	10658	14.68		
CP con 5% de sustitución de cemento por POV	7	94561	9643	13.37	13.21	89.11
		93583	9543	13.02		
		92896	9473	13.22		
CP con 10% de sustitución de cemento por POV	7	89562	9133	12.71	12.24	82.62
		88562	9031	12.61		
		81254	8286	11.42		
CP con 15% de sustitución de cemento por POV	7	80124	8170	11.37	11.26	76.00
		79963	8154	11.38		
		78562	8011	11.04		

Figura 63

Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la tracción a los 7 días

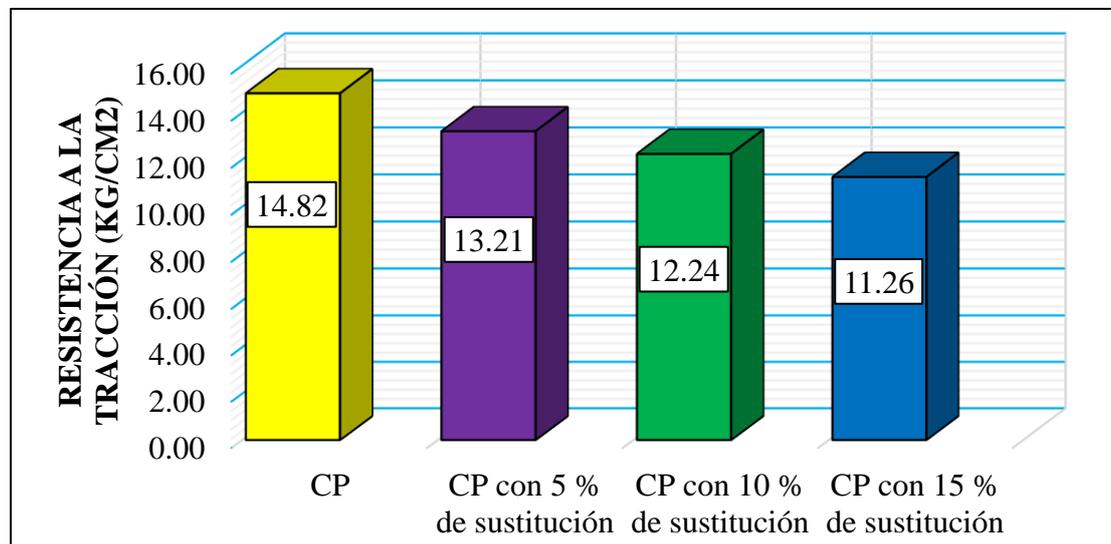


Tabla 56

Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción a los 14 días

Descripción	Edad (días)	Carga (N)	Carga (kg-f)	Resist. alcanzada (Kg/cm ²)	Resist. Promedio (Kg/cm ²)	% de resist. promedio
CP	14	115624	11790	16.62	16.68	100.00
		119852	12222	16.73		
		119852	12222	16.67		
CP con 5% de sustitución de cemento por POV	14	125642	12812	17.54	17.77	106.55
		128923	13146	17.99		
		124033	12648	17.77		
CP con 10% de sustitución de cemento por POV	14	130025	13259	18.27	18.41	110.39
		131005	13359	18.47		
		132014	13462	18.49		
CP con 15% de sustitución de cemento por POV	14	125272	12774	17.60	17.29	103.70
		120367	12274	16.97		
		123584	12602	17.31		

Figura 64

Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la tracción a los 14 días

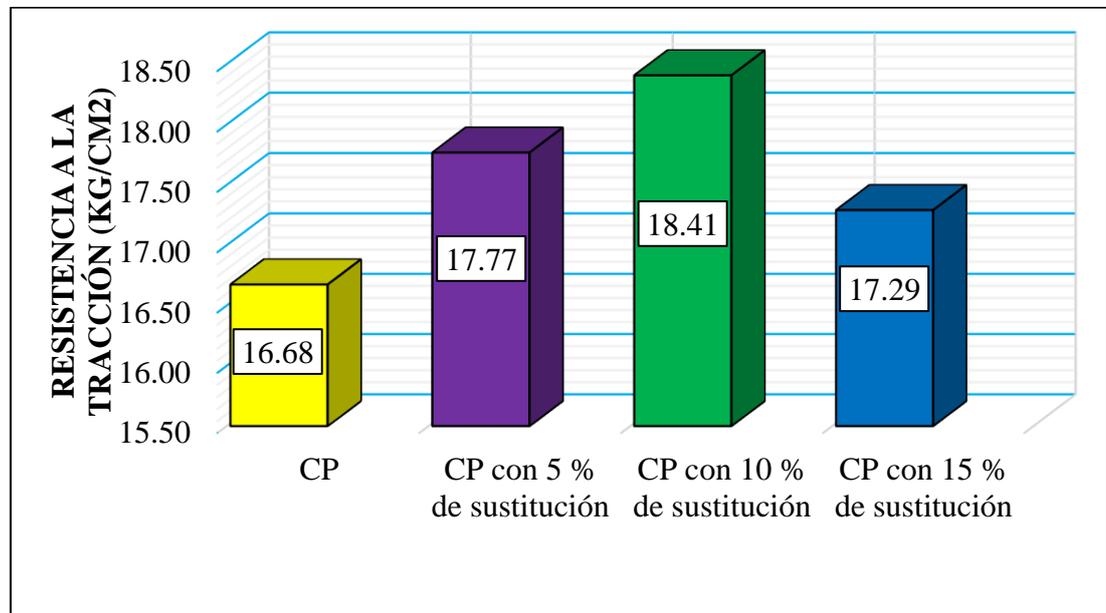


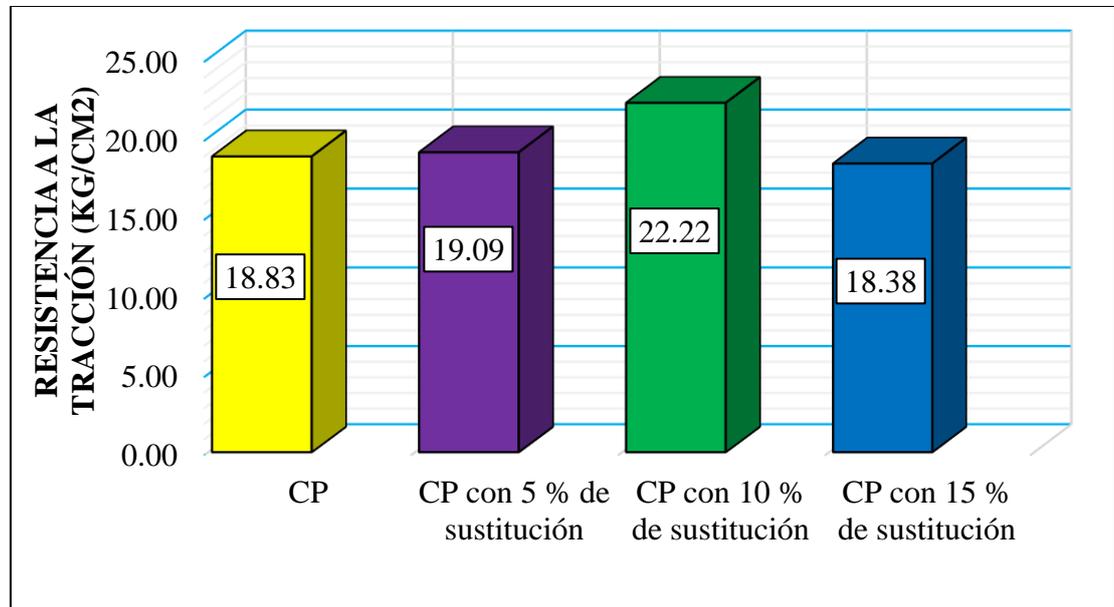
Tabla 57

Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción a los 28 días

Descripción	Edad (días)	Carga (N)	Carga (kg-f)	Resist. alcanzada (Kg/cm ²)	Resist. Promedio (Kg/cm ²)	% de resist. promedio
CP	28	129830	13239	18.61	18.83	100.00
		135298	13797	18.95		
		134257	13690	18.92		
CP con 5% de sustitución de cemento por POV	28	134250	13690	19.05	19.09	101.40
		135697	13837	19.38		
		134965	13763	18.84		
CP con 10% de sustitución de cemento por POV	28	158654	16178	22.00	22.22	118.03
		157364	16047	22.18		
		158896	16203	22.47		
CP con 15% de sustitución de cemento por POV	28	130952	13353	18.16	18.38	97.61
		131567	13416	18.55		
		130258	13283	18.42		

Figura 65

Gráfica comparativa de los resultados de resistencia a la tracción a los 28 días



En síntesis, en la tabla 58 y figuras 66 y 67 se presentan el resumen y los gráficos de la evolución de la resistencia a la tracción promedio a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 58

Resumen de los resultados de resistencia a la tracción del concreto sin y con sustitución de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días

Descripción		Resist. a la tracción promedio (kg/cm ²)		
Cemento	POV	7 días	14 días	28 días
100%	0%	14.82	16.68	18.83
95%	5%	13.21	17.77	19.09
90%	10%	12.24	18.41	22.22
85%	15%	11.26	17.29	18.38

Figura 66

Variación de los resultados de resistencia a la tracción del concreto sin y con sustitución del cemento por POV a los 7, 14 y 28 días

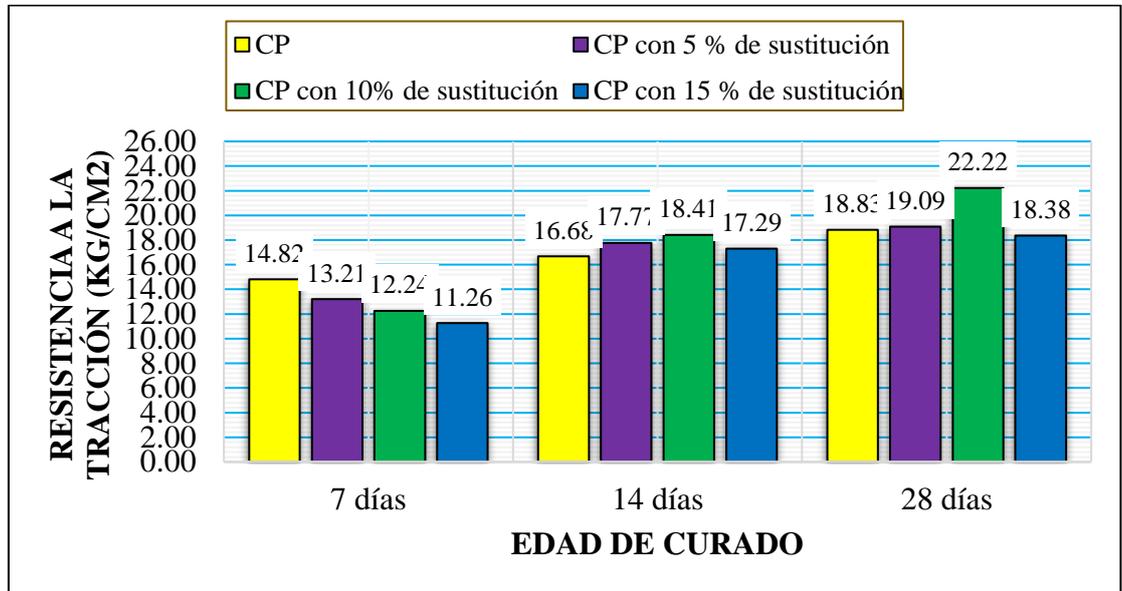
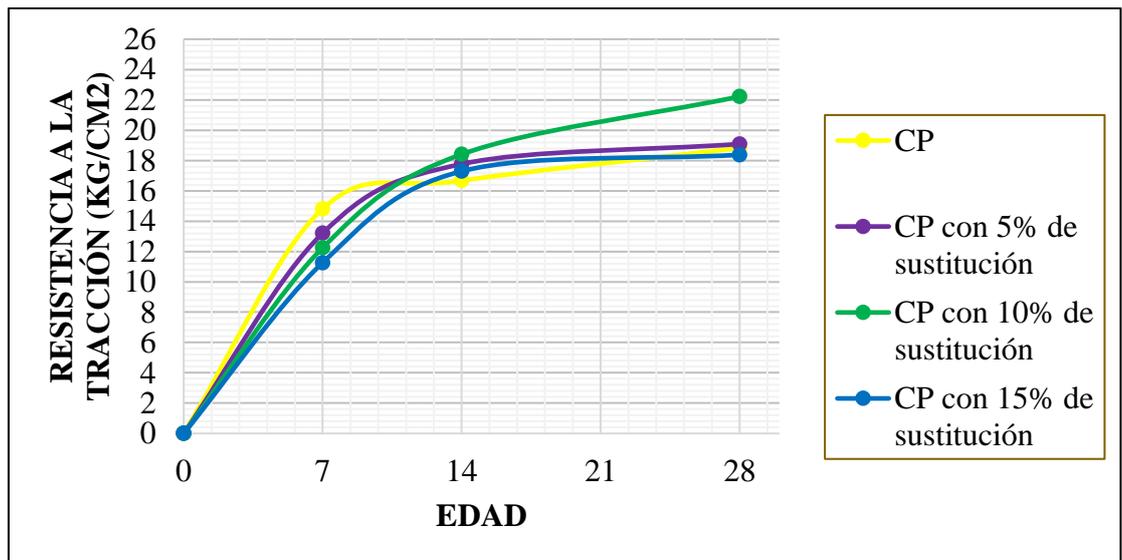


Figura 67

Curva de variación de los resultados de resistencia a la tracción del concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días



Por lo expuesto, según la tabla 58 y figuras 66 y 67, el concreto patrón obtuvo una resistencia a tracción promedio de 18.83 kg/cm^2 a los 28 días. Por otra parte, los concretos con sustituciones del 5% y 10% de cemento por POV alcanzaron resistencias de 19.09 kg/cm^2 y 22.22 kg/cm^2 correspondientemente, lo cual indica que los valores en mención superaron a la resistencia a tracción promedio del CP; por último el concreto con sustitución parcial del 15% de cemento por POV alcanzó una resistencia de 18.38 kg/cm^2 , esto indica que este valor no superó la resistencia a tracción promedio del CP.

4.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO

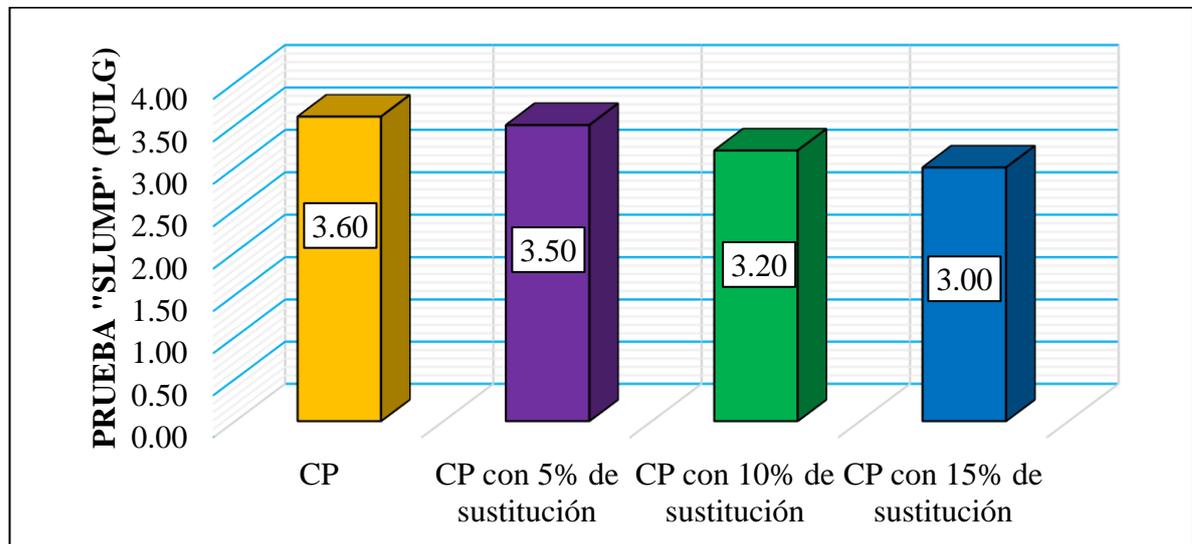
Tabla 59

Resultados obtenidos en los ensayos de asentamiento del concreto fresco “Slump”

Descripción	Medición			Slump Promedio	Slump Promedio	Trabajabilidad
	I	II	III			
CP	9.2	9.0	9.1	9.1 cm	3.6 pulg	Trabajable
CP con 5% de sustitución de cemento por POV	8.8	8.9	8.6	8.8 cm	3.5 pulg	Trabajable
CP con 10% de sustitución de cemento por POV	8.0	8.3	7.9	8.1 cm	3.2 pulg	Trabajable
CP con 15% de sustitución de cemento por POV	7.7	7.6	7.4	7.6 cm	3.0 pulg	Trabajable

Figura 68

Gráfica comparativa de los resultados de asentamiento "Slump"



En la tabla 59 y figura 68 se presentan el resumen general y la gráfica comparativa de los resultados de asentamiento obtenidos en la investigación, en tal sentido, conforme a los resultados a mayor porcentaje de sustitución de cemento por POV en la mezcla de concreto, se presenta una reducción en el valor del asentamiento en un rango de entre el 2.78% y el 16.67%. En definitiva, el mayor valor del asentamiento (3.6 pulg) se presentó en el concreto patrón, en cambio el menor valor del asentamiento (3.00 pulg) se presentó en el concreto con sustitución del 5% de cemento por POV, por último, es importante resaltar que a pesar que en los resultados evidenciaron una reducción del slump, todos los valores del asentamiento de la investigación se encuentran en el rango de 3 pulg a 4 pulg lo cual indica que son mezclas trabajables.



4.3 ANÁLISIS DE COSTOS

En la ejecución de toda obra de construcción civil la economía es uno de los aspectos más relevantes, en tal sentido, en un proyecto siempre se recomienda buscar la solución que conlleve costos que no sean demasiado elevados, descartando las soluciones que conlleven costos excesivos.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, en esta sección se analiza el costo de producción del CP y del concreto con sustituciones parciales de cemento por POV en porcentajes del 5%, 10% y 15%; con el propósito de evaluar la variación en los costos de producción. Además, es primordial señalar que para el análisis de costos se tuvo en consideración los materiales que participan en la mezcla para 1 m³ de concreto.

Es importante destacar que, actualmente la puzolana de origen volcánico empleada en esta investigación no tiene un costo, dado que, es posible encontrarla acumulada en cuantiosas cantidades en el volcán Ubinas y zonas aledañas, por lo tanto, se optó por considerar solamente el costo de extracción y transporte, puesto que la POV se va a trasladar iniciando en el volcán Ubinas y culminando en la ciudad de Puno.

- El costo de extracción y apilamiento de la puzolana de origen volcánico se estimó basándose en el boletín técnico de CAPECO 2024-2025 y los ACU de expedientes técnicos aprobados como “Renovacion de puente; en el(la) camino vecinal r2102209 (puente Tupac Amaru) tramo: EMP PE-34 B (Cangalli) - Tupac Amaru - pta. carretera, en la localidad Tupac Amaru, distrito de San Anton, Provincia Azangaro, departamento Puno” (Ver tabla 60).

Tabla 60*Extracción y apilamiento de material*

Rendimiento: 480.00 m3/día	Costo unitario por m3: 8.49				
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cant.	Precio	Parcial
Mano de obra					0.80
Operario	hh	1.000	0.0167	14.86	0.25
Oficial	hh	1.000	0.0167	11.74	0.20
Peón	hh	2.000	0.0333	10.67	0.36
Equipo					7.69
Herramientas manuales	%MO		3.0000	0.80	0.02
Excavadora sobre orugas 115-165 HP	hm	0.500	0.0083	359.14	2.99
Tractor de orugas de 190-240 HP	hm	0.500	0.0083	561.25	4.68

Nota: Elaborado por el investigador (2024).

$$\text{Peso de POV (kg)} = \text{Volumen de POV (m}^3\text{)} * \text{Peso específico de POV (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{Peso de POV (kg)} = 1 \text{ m}^3 * 1148 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso de POV (kg)} = 1 \text{ m}^3 * 1148 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso de POV (kg)} = 1148 \text{ kg}$$

Por lo anteriormente expuesto, el costo de extracción y apilamiento de POV por 1 m³

o 1148 kg es 8.49 soles, por lo que, el costo por kilogramo es: $\frac{8.49}{1148} = 0.007$ soles/kg

- De acuerdo con la cotización (ver anexo 14), el costo de transporte de la POV desde el volcán Ubinas hasta la ciudad de Puno es de 1900 soles por 15 toneladas, por lo tanto, el costo de transporte por tonelada es: $\frac{1900}{15} = 126.67$ soles/Tn = 0.127 soles/kg
- Finalmente, el costo por kilogramo de la puzolana de origen volcánico puesto en la ciudad de Puno es:

$$0.007 + 0.127 = 0.134 \text{ soles/kg}$$

En las tablas 61, 62, 63 y 64 se presentan los costos de materiales necesarios para la producción de cada tipo de concreto con distintos, es decir, con porcentajes de sustitución (0%, 5%, 10% y 15%) de cemento por POV.

Tabla 61

Costo para 1 m³ de concreto patrón

Material	Cantidad según diseño	Cantidad equivalente	Costo unitario (S/).	Parcial (S/).
Cemento portland	373.00 kg/m ³	8.78 bls	28.00	245.74
POV	0.00 kg/m ³	0.00 kg	0.13	0.00
Agua	170.39 l/m ³	0.17 m ³	7.00	1.19
A°G°	1126.44 kg/m ³	0.43 m ³	30.00	12.97
A°F°	989.08 kg/m ³	0.38 m ³	32.00	12.20
Costo total de 1 m³				272.11

Tabla 62

Costo para 1 m³ de concreto patrón con 5% de sustitución de cemento por POV

Material	Cantidad según diseño	Cantidad equivalente	Costo unitario (S/).	Parcial (S/).
Cemento portland	354.35 kg/m ³	8.34 bls	28.00	233.45
POV	18.65 kg/m ³	18.65 kg	0.13	2.50
Agua	170.39 l/m ³	0.17 m ³	7.00	1.19
A°G°	1126.44 kg/m ³	0.43 m ³	30.00	12.97
A°F°	989.08 kg/m ³	0.38 m ³	32.00	12.20
Costo total de 1 m³				262.32

Tabla 63

Costo para 1 m³ de concreto patrón con 10% de sustitución de cemento por POV

Material	Cantidad según diseño	Cantidad equivalente	Costo unitario (S/).	Parcial (S/).
Cemento portland	335.70 kg/m ³	7.90 bls	28.00	221.17
POV	37.30 kg/m ³	37.30 kg	0.13	5.00
Agua	170.39 l/m ³	0.17 m ³	7.00	1.19
A°G°	1126.44 kg/m ³	0.43 m ³	30.00	12.97
A°F°	989.08 kg/m ³	0.38 m ³	32.00	12.20
Costo total de 1 m³				252.53

Tabla 64

Costo para 1 m³ de concreto patrón con 15% de sustitución de cemento por POV

Material	Cantidad según diseño	Cantidad equivalente	Costo unitario (S/).	Parcial (S/).
Cemento portland	317.05 kg/m ³	7.46 bls	28.00	208.88
POV	55.95 kg/m ³	55.95 kg	0.13	7.50
Agua	170.39 l/m ³	0.17 m ³	7.00	1.19
A°G°	1126.44 kg/m ³	0.43 m ³	30.00	12.97
A°F°	989.08 kg/m ³	0.38 m ³	32.00	12.20
Costo total de 1 m³				242.74

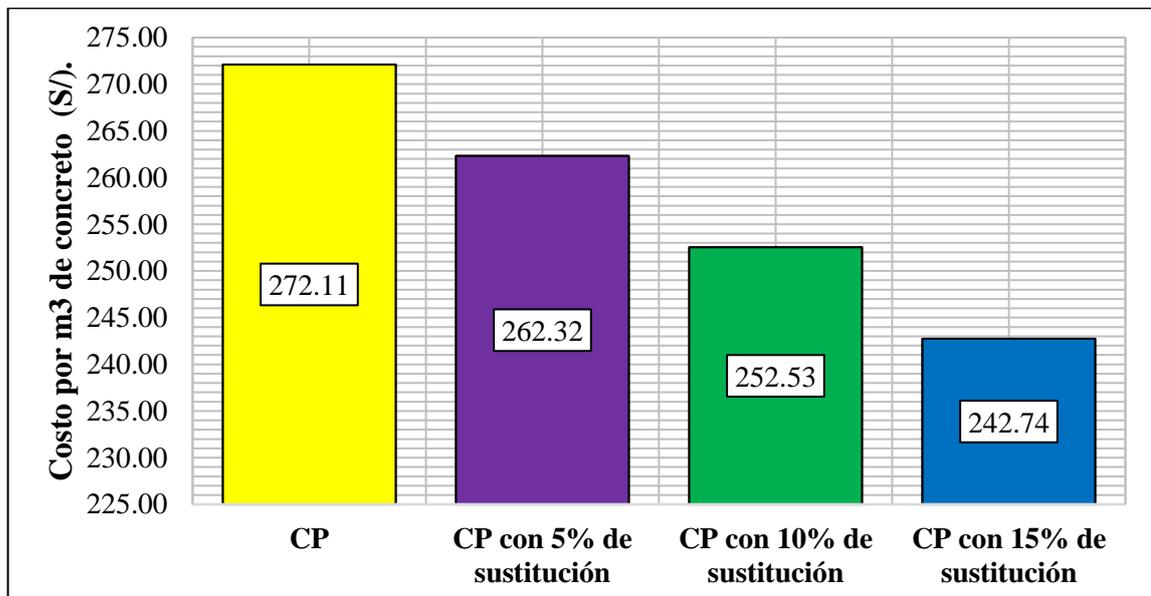
Tabla 65

Resumen de costos de cada tipo de concreto

Concreto patrón con:	Precio (S/).	Costo (%)	Variación de costos (%)
Cemento (100%) + POV (0%)	272.11	100.00	0.00
Cemento (95%) + POV (5%)	262.32	96.40	-3.60
Cemento (90%) + POV (10%)	252.53	92.81	-7.19
Cemento (85%) + POV (15%)	242.74	89.21	-10.79

Figura 69

Comparación de costos de cada tipo de concreto





Conforme a la tabla 65 y figura 69, los concretos con sustituciones parciales del 5%, 10% y 15% de cemento por puzolana de origen volcánico, presentan un ahorro del 3.60%, 7.19% y 10.79% respectivamente, en definitiva, se puede observar que a mayor cantidad de puzolana de origen volcánico se aminora el costo por m³ de concreto.

4.4 COMPROBACIÓN DE NORMALIDAD, EVALUACIÓN ESTADÍSTICA Y PRUEBA DE HIPÓTESIS DEL CONCRETO ENDURECIDO

4.4.1 Test de Normalidad de Shapiro-Wilk Para los Resultados de Resistencia a la Compresión, Flexión y Tracción

4.4.1.1 1er paso: Planteamiento de Hipótesis

- **H₀**: Los datos de las pruebas de resistencia a la compresión/flexión/tracción del concreto sin/con sustitución parcial de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días; se ajustan a una distribución normal.
- **H_a**: Los datos de las pruebas de resistencia a la compresión/flexión/tracción del concreto sin/con sustitución parcial de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días; no se ajustan a una distribución normal.

4.4.1.2 2 do paso: Nivel de Significancia

En el presente trabajo de investigación se optó por elegir el nivel de significación de 0.05 o 5% y un valor de $W_{\text{tabla}}=0.767$ (véase anexo 15).

4.4.1.3 3er paso: Cálculos del Estadístico de Prueba

Para el cálculo de los estadísticos de prueba de Shapiro-Wilk se empleó las ecuaciones 1, 2, 3 y 4.

4.4.1.4 4to paso: Formular Regla de Decisión

- Si $W_{\text{calculado}} > W_{\text{tabla}}$, se acepta la H_0 y se rechaza la H_a .
- Si $W_{\text{calculado}} < W_{\text{tabla}}$, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a .

Complementariamente se presentan los resultados de la comprobación de normalidad de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión del concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días de curado (véase tabla 66, 67 y 68).

Tabla 66

Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la compresión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 7 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	121.70	129.86	136.70	116.05
Ensayo 2	122.20	129.27	135.54	115.13
Ensayo 3	114.30	135.48	137.48	115.88
M	119.40	131.54	136.57	115.69
a_i	0.7071	0.7071	0.7071	0.7071
z	5.583	4.392	1.376	0.655
Q	39.119	23.506	1.919	0.483
$W_{\text{calculado}}$	0.797	0.820	0.987	0.888
W_{tabla}	0.767	0.767	0.767	0.767
H_0	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta

Tabla 67

Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la compresión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 14 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	155.74	153.51	159.52	140.03
Ensayo 2	145.54	153.73	159.38	139.96
Ensayo 3	137.33	156.26	159.89	141.25
M	146.21	154.50	159.60	140.41
a_i	0.7071	0.7071	0.7071	0.7071
z	13.018	1.944	0.362	0.912
Q	170.120	4.668	0.139	1.050
$W_{\text{calculado}}$	0.996	0.809	0.943	0.792
W_{tabla}	0.767	0.767	0.767	0.767
H₀	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta

Tabla 68

Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la compresión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 28 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	207.61	214.58	222.00	210.21
Ensayo 2	209.51	217.42	221.27	214.67
Ensayo 3	216.58	213.57	224.26	209.46
M	211.23	215.19	222.51	211.45
a_i	0.7071	0.7071	0.7071	0.7071
z	6.345	2.724	2.117	3.685
Q	44.698	7.977	4.868	15.865
$W_{\text{calculado}}$	0.901	0.930	0.921	0.856
W_{tabla}	0.767	0.767	0.767	0.767
H₀	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta

De igual manera, se presentan los resultados de la comprobación de normalidad de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la flexión (véase tabla 69, 70 y 71).

Tabla 69

Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la flexión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 7 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	19.13	17.88	16.24	15.79
Ensayo 2	18.85	17.83	16.14	15.83
Ensayo 3	18.93	18.08	16.77	15.85
M	18.97	17.93	16.38	15.83
a_i	0.7071	0.7071	0.7071	0.7071
z	0.195	0.174	0.443	0.043
Q	0.041	0.034	0.228	0.002
$W_{\text{calculado}}$	0.935	0.903	0.860	0.984
W_{tabla}	0.767	0.767	0.767	0.767
H₀	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta

Tabla 70

Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la flexión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 14 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	23.90	26.89	28.22	27.19
Ensayo 2	25.54	26.26	26.84	26.42
Ensayo 3	26.39	26.97	26.99	26.10
M	25.28	26.71	27.35	26.57
a_i	0.7071	0.7071	0.7071	0.7071
z	1.762	0.498	0.975	0.766
Q	3.208	0.298	1.145	0.619
$W_{\text{calculado}}$	0.968	0.834	0.830	0.946
W_{tabla}	0.767	0.767	0.767	0.767
H₀	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta

Tabla 71

Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la flexión del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 28 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	28.90	30.89	32.38	27.87
Ensayo 2	30.59	30.81	31.99	27.84
Ensayo 3	29.25	30.41	31.83	27.24
M	29.58	30.71	32.07	27.65
a_i	0.7071	0.7071	0.7071	0.7071
z	1.195	0.340	0.386	0.449
Q	1.592	0.132	0.157	0.258
$W_{\text{calculado}}$	0.897	0.876	0.950	0.782
W_{tabla}	0.767	0.767	0.767	0.767
H₀	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta

Finalmente, se presentan los resultados de la comprobación de normalidad de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la tracción (véase tabla 72, 73 y 74).

Tabla 72

Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la tracción del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 7 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	14.21	13.37	12.71	11.37
Ensayo 2	15.57	13.02	12.61	11.38
Ensayo 3	14.68	13.22	11.42	11.04
M	14.82	13.21	12.24	11.26
a_i	0.7071	0.7071	0.7071	0.7071
z	0.963	0.250	0.914	0.245
Q	0.954	0.063	1.034	0.077
$W_{\text{calculado}}$	0.972	0.991	0.808	0.782
W_{tabla}	0.767	0.767	0.767	0.767
H₀	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta

Tabla 73

Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la tracción del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 14 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	16.62	17.54	18.27	17.60
Ensayo 2	16.73	17.99	18.47	16.97
Ensayo 3	16.67	17.77	18.49	17.31
M	16.68	17.77	18.41	17.29
a_i	0.7071	0.7071	0.7071	0.7071
z	0.073	0.324	0.152	0.449
Q	0.005	0.105	0.028	0.202
$W_{\text{calculado}}$	0.999	0.999	0.816	0.999
W_{tabla}	0.767	0.767	0.767	0.767
H₀	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta

Tabla 74

Comprobación de normalidad de los datos de resistencia a la tracción del concreto sin y con sustitución de cemento por POV, a los 28 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	18.61	19.05	22.00	18.16
Ensayo 2	18.95	19.38	22.18	18.55
Ensayo 3	18.92	18.84	22.47	18.42
M	18.83	19.09	22.22	18.38
a_i	0.7071	0.7071	0.7071	0.7071
z	0.241	0.385	0.335	0.274
Q	0.073	0.151	0.114	0.078
$W_{\text{calculado}}$	0.797	0.984	0.983	0.958
W_{tabla}	0.767	0.767	0.767	0.767
H₀	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta

4.4.1.5 5to paso: Toma de Decisión

Con base a lo anteriormente expuesto, para cada grupo de concreto evaluado se cumple que el valor de $W_{\text{calculado}}$ supera al valor de W_{tabla} , por



ende, se acepta la H_0 y se rechaza la H_a , en definitiva, se concluye que los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión/flexión/tracción del concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días de curado; se ajustan a una distribución normal.

4.4.2 Análisis Estadístico Para los Resultados de Resistencia a la Compresión, Flexión y Tracción

La evaluación estadística para los valores alcanzados en las pruebas de resistencia a la compresión, flexión y tracción se realizaron para cada grupo de concreto, en tal sentido, primero se procedió a calcular el cuadro estadístico de distribución de frecuencias, las medidas de centralización y dispersión, seguidamente se graficó el histograma de frecuencias y la distribución normal.

4.4.2.1 Análisis Estadístico Para los Resultados de Resistencia a la Compresión

4.4.2.1.1 Análisis Estadístico de Resistencia a la Compresión del CP a los 7 días

Tabla 75

Datos de resistencia a la compresión del CP a los 7 días

Muestra	X_i
CP	121.70
CP	122.20
CP	114.30

Tabla 76

Tabla de distribución frecuencias del CP a los 7 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[114.30 - 117.30>	115.80	1	1	115.80	-4.00	16.00	16.00
[117.30 - 120.30>	118.80	0	1	0.00	-1.00	1.00	0.00
[120.30 - 123.30>	121.80	2	3	243.60	2.00	4.00	8.00

Tabla 77

Medidas de centralización y dispersión del CP a los 7 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	7.90
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	3.00
Media (M)	119.80
Mediana (M_e)	121.05
Moda (M_o)	121.80
Varianza (σ^2)	12.00
Desviación estándar (σ)	3.46
Coefficiente de variación (CV)	2.89

Figura 70

Histograma de frecuencias del CP a los 7 días

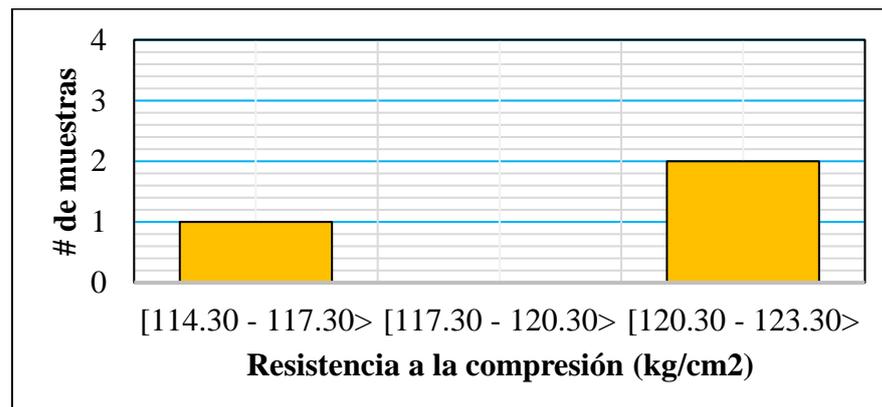
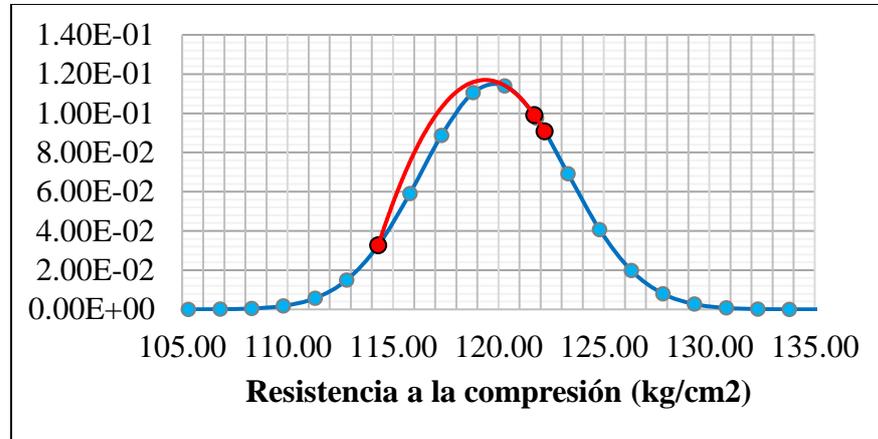


Figura 71

Distribución normal del CP a los 7 días



4.4.2.1.2 Análisis Estadístico de Resistencia a la Compresión del CP a los 14 días

Tabla 78

Datos de resistencia a la compresión del CP a los 14 días

Muestra	X_i
CP	155.74
CP	145.54
CP	137.33

Tabla 79

Tabla de distribución frecuencias del CP a los 14 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[137.33 - 143.47>	140.40	1	1	140.40	-6.14	37.66	37.66
[143.47 - 149.61>	146.54	1	2	146.54	0.00	0.00	0.00
[149.61 - 155.74>	152.67	1	3	152.67	6.14	37.66	37.66

Tabla 80

Medidas de centralización y dispersión del CP a los 14 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	18.41
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	6.14
Media (M)	146.54
Mediana (M _e)	146.54
Moda (M _o)	-
Varianza (σ ²)	37.66
Desviación estándar (σ)	6.14
Coefficiente de variación (CV)	4.19

Figura 72

Histograma de frecuencias del CP a los 14 días

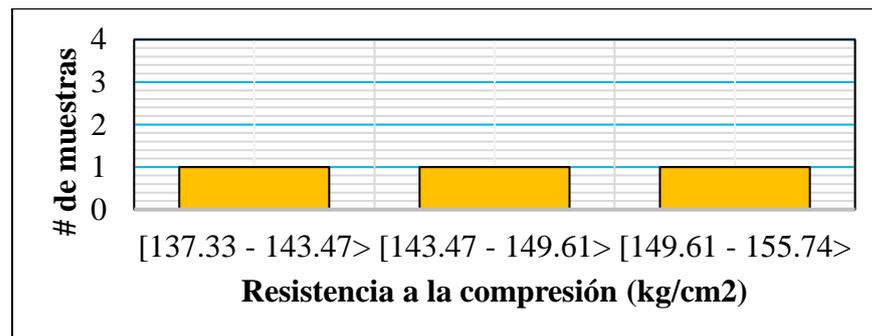
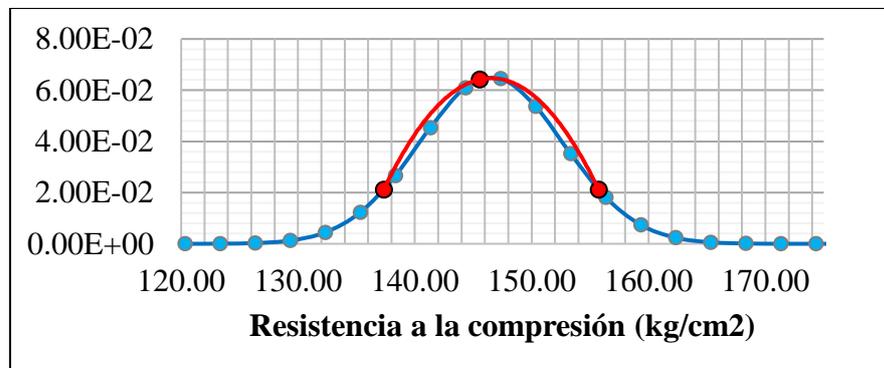


Figura 73

Distribución normal del CP a los 14 días



4.4.2.1.3 Análisis Estadístico de Resistencia a la Compresión del CP a los 28 días

Tabla 81

Datos de resistencia a la compresión del CP a los 28 días

Muestra	X_i
CP	207.61
CP	209.51
CP	216.58

Tabla 82

Tabla de distribución frecuencias del CP a los 28 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[207.61 - 210.60>	209.10	2	2	418.21	-1.99	3.98	7.95
[210.60 - 213.59>	212.09	0	2	0.00	1.00	0.99	0.00
[213.59 - 216.58>	215.09	1	3	215.09	3.99	15.91	15.91

Tabla 83

Medidas de centralización y dispersión del CP a los 28 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	8.97
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	2.99
Media (M)	211.10
Mediana (M_e)	209.85
Moda (M_o)	209.10
Varianza (σ^2)	11.93
Desviación estándar (σ)	3.45
Coeficiente de variación (CV)	1.64

Figura 74

Histograma de frecuencias del CP a los 28 días

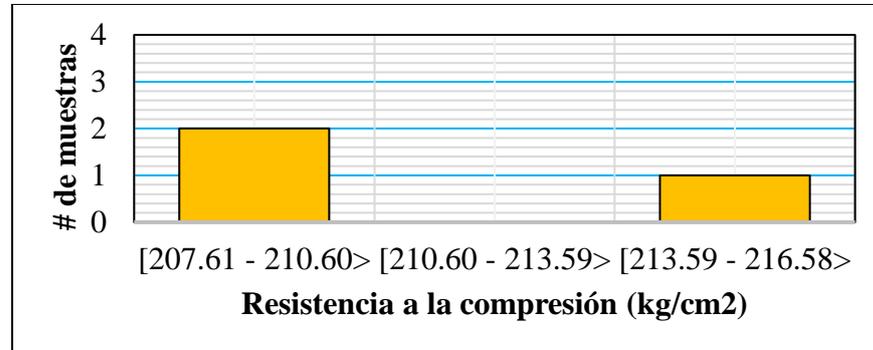
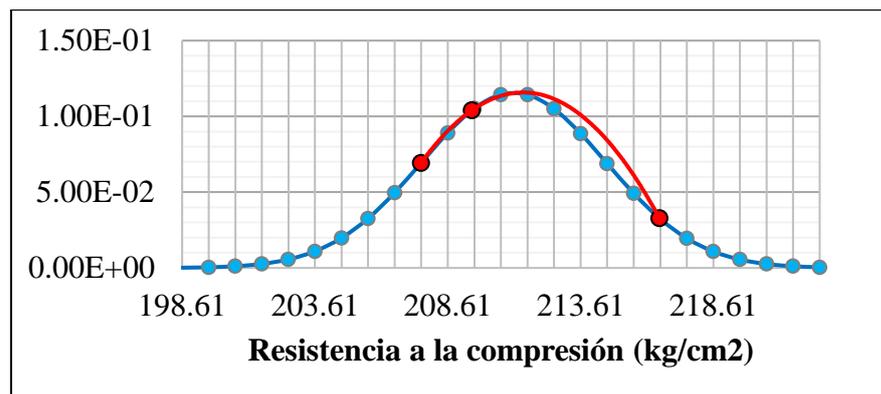


Figura 75

Distribución normal del CP a los 28 días



4.4.2.1.4 Análisis Estadístico de Resistencia a la Compresión del CP con 5% de Sustitución de Cemento por POV a los 7 días

Tabla 84

Datos de resistencia a la compresión del CP con 5% de sustitución a los 7 días

Muestra	X _i
CP	129.86
CP	129.27
CP	135.48

Tabla 85

Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 7 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[129.27 - 132.27>	130.77	2	2	261.54	-2.00	4.00	8.00
[132.27 - 135.27>	133.77	0	2	0.00	1.00	1.00	0.00
[135.27 - 138.27>	136.77	1	3	136.77	4.00	16.00	16.00

Tabla 86

Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 7 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	6.21
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	3.00
Media (M)	132.77
Mediana (M_e)	131.52
Moda (M_o)	130.77
Varianza (σ^2)	12.00
Desviación estándar (σ)	3.46
Coficiente de variación (CV)	2.61

Figura 76

Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 7 días

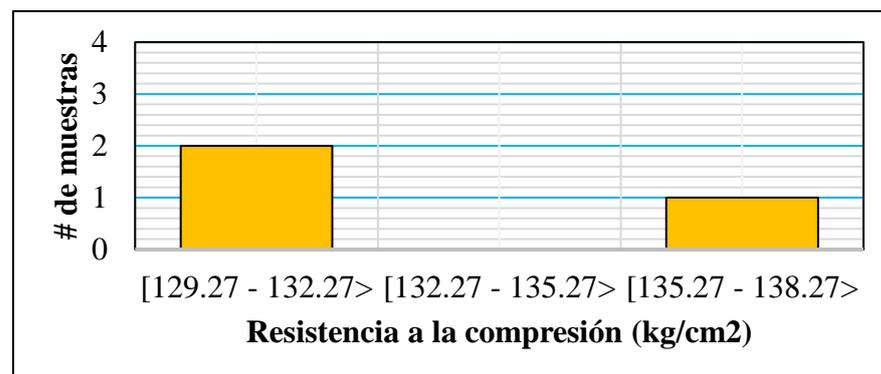
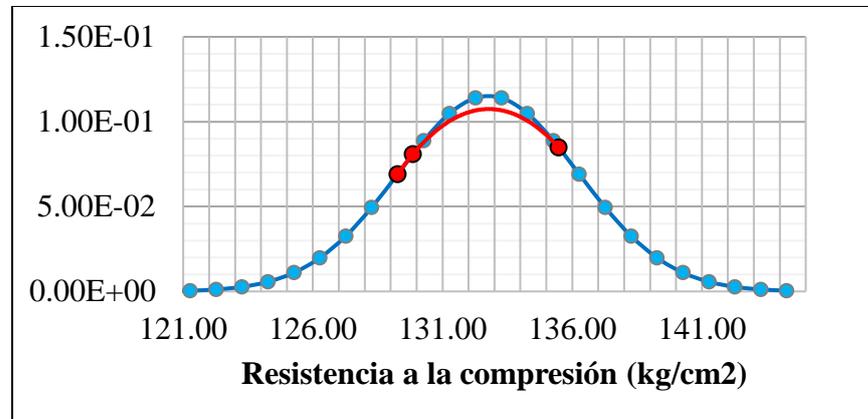


Figura 77

Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 7 días



4.4.2.1.5 Análisis Estadístico de Resistencia a la Compresión del CP con 5% de Sustitución de Cemento por POV a los 14 días

Tabla 87

Datos de resistencia a la compresión del CP con 5% de sustitución a los 14 días

Muestra	X_i
CP	153.51
CP	153.73
CP	156.26

Tabla 88

Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 14 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[153.51 - 154.51>	154.01	2	2	308.02	-0.67	0.44	0.89
[154.51 - 155.51>	155.01	0	2	0.00	0.33	0.11	0.00
[155.51 - 156.51>	156.01	1	3	156.01	1.33	1.78	1.78

Tabla 89

Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los

14 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	2.75
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	1.00
Media (M)	154.68
Mediana (M_e)	154.26
Moda (M_o)	154.01
Varianza (σ^2)	1.33
Desviación estándar (σ)	1.15
Coefficiente de variación (CV)	0.75

Figura 78

Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 14 días

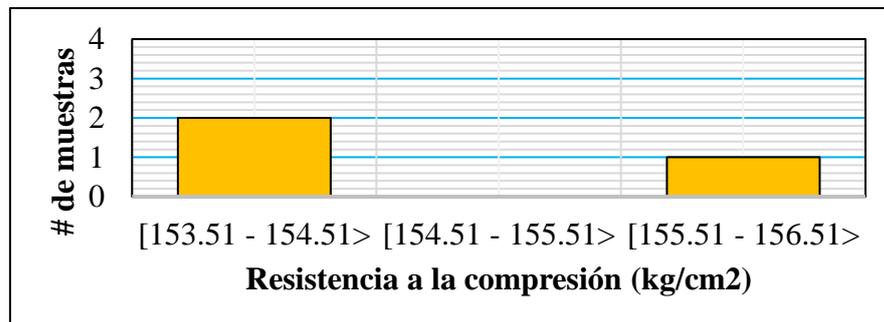
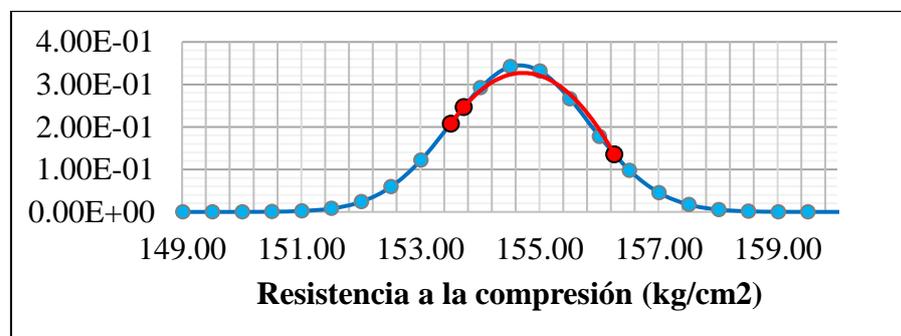


Figura 79

Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 14 días



4.4.2.1.6 Análisis Estadístico de Resistencia a la Compresión del CP con 5% de Sustitución de Cemento por POV a los 28 días

Tabla 90

Datos de resistencia a la compresión del CP con 5% de sustitución a los 28 días

Muestra	X_i
CP	214.58
CP	217.42
CP	213.57

Tabla 91

Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 28 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[213.57 - 216.57>	215.07	2	2	430.14	-1.00	1.00	2.00
[216.57 - 219.57>	218.07	1	3	218.07	2.00	4.00	4.00
[219.57 - 222.57>	221.07	0	3	0.00	5.00	25.00	0.00

Tabla 92

Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 28 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	3.85
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	3.00
Media (M)	216.07
Mediana (M_e)	215.82
Moda (M_o)	215.57
Varianza (σ^2)	3.00
Desviación estándar (σ)	1.73
Coefficiente de variación (CV)	0.80

Figura 80

Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 28 días

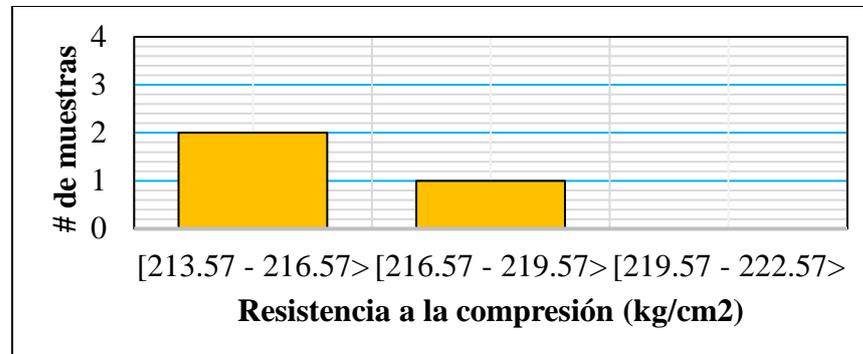
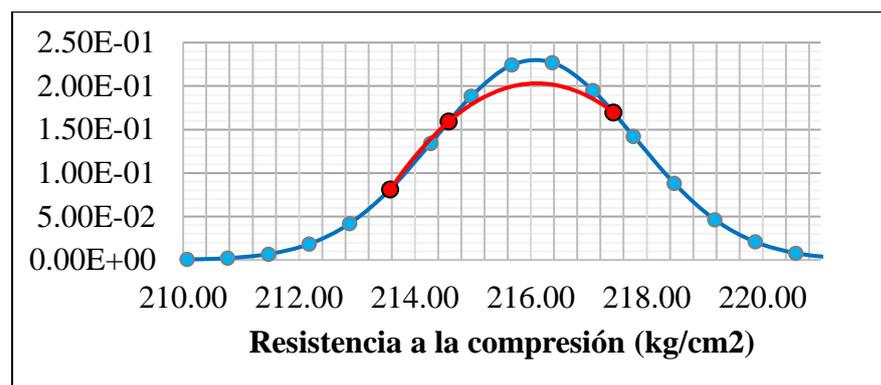


Figura 81

Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 28 días



4.4.2.1.7 Análisis Estadístico de Resistencia a la Compresión del CP con 10% de Sustitución de Cemento por POV a los 7 días

Tabla 93

Datos de resistencia a la compresión del CP con 10% de sustitución a los 7 días

Muestra	X _i
CP	136.70
CP	135.54
CP	137.48

Tabla 94

Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 7 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[135.54 - 136.54>	136.04	1	1	136.04	-0.67	0.44	0.44
[136.54 - 137.54>	137.04	2	3	274.07	0.33	0.11	0.22
[137.54 - 138.54>	138.04	0	3	0.00	1.33	1.78	0.00

Tabla 95

Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 7 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	1.95
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	1.00
Media (M)	136.70
Mediana (M_e)	136.79
Moda (M_o)	136.87
Varianza (σ^2)	0.33
Desviación estándar (σ)	0.58
Coefficiente de variación (CV)	0.42

Figura 82

Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 7 días

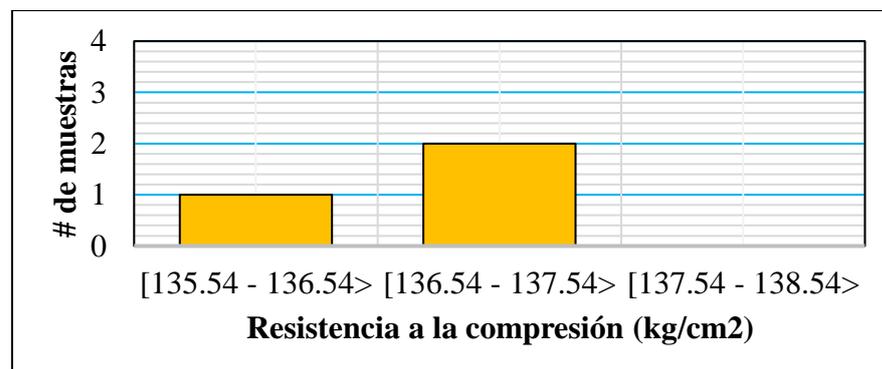
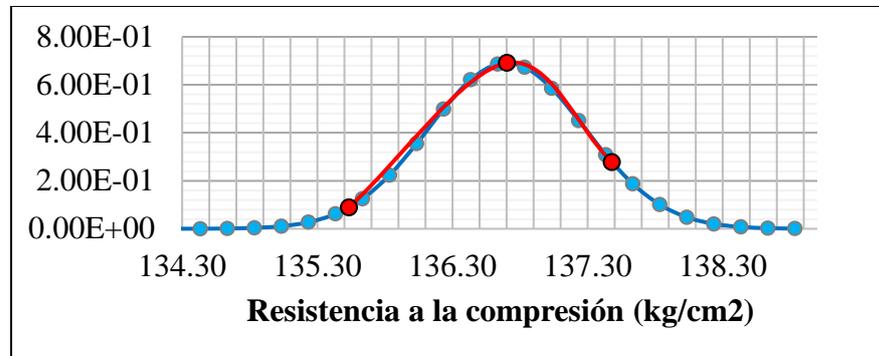


Figura 83

Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 7 días



4.4.2.1.8 Análisis Estadístico de Resistencia a la Compresión del CP con 10% de Sustitución de Cemento por POV a los 14 días

Tabla 96

Datos de resistencia a la compresión del CP con 10% de sustitución a los 14 días

Muestra	X _i
CP	159.52
CP	159.38
CP	159.89

Tabla 97

Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 14 días

Intervalos de clase	x _i	f _i	F _i	f _i *x _i	x _i -M	(x _i -M) ²	f _i *(x _i -M) ²
[159.38 - 159.55>	159.46	2	2	318.92	-0.11	0.01	0.03
[159.55 - 159.72>	159.63	0	2	0.00	0.06	0.00	0.00
[159.72 - 159.89>	159.80	1	3	159.80	0.23	0.05	0.05

Tabla 98

Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los

14 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.51
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.17
Media (M)	159.57
Mediana (M_e)	159.50
Moda (M_o)	159.46
Varianza (σ^2)	0.04
Desviación estándar (σ)	0.20
Coefficiente de variación (CV)	0.12

Figura 84

Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 14 días

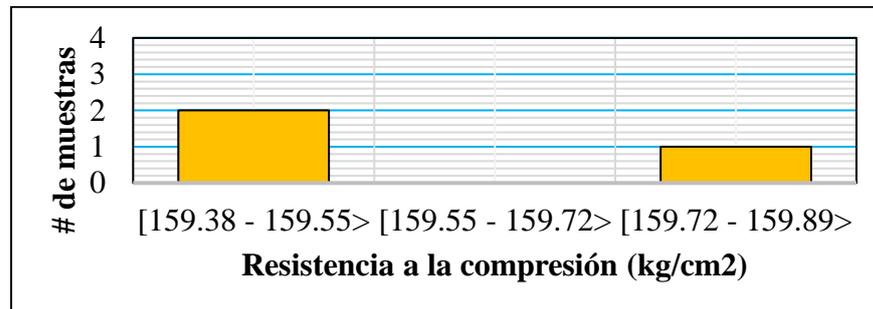
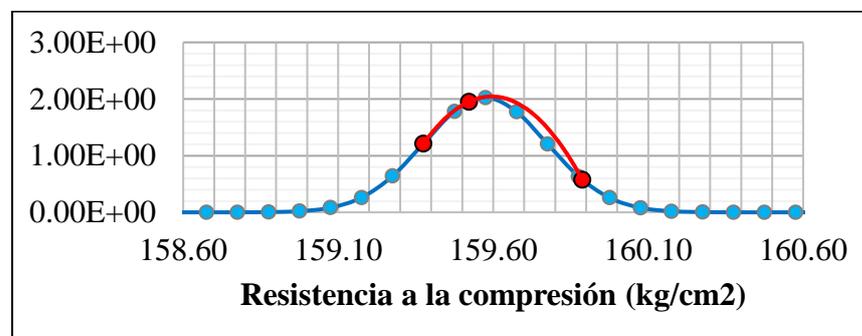


Figura 85

Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 14 días



4.4.2.1.9 Análisis Estadístico de Resistencia a la Compresión del CP con 10% de Sustitución de Cemento por POV a los 28 días

Tabla 99

Datos de resistencia a la compresión del CP con 10% de sustitución a los 28 días

Muestra	X_i
CP	222.00
CP	221.27
CP	224.26

Tabla 100

Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 28 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[221.27 – 222.27>	221.77	2	2	443.53	-0.67	0.44	0.89
[222.27 – 223.27>	222.77	0	2	0.00	0.33	0.11	0.00
[223.27 – 224.27>	223.77	1	3	223.77	1.33	1.78	1.78

Tabla 101

Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 28 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	2.99
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	1.00
Media (M)	222.43
Mediana (M_e)	222.02
Moda (M_o)	221.77
Varianza (σ^2)	1.33
Desviación estándar (σ)	1.15
Coficiente de variación (CV)	0.52

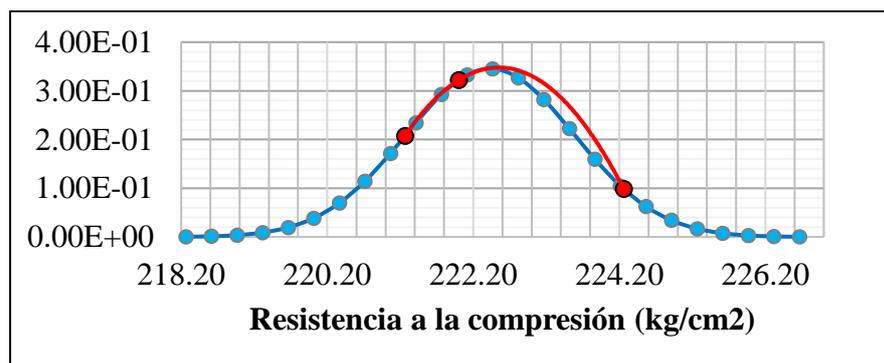
Figura 86

Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 28 días



Figura 87

Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 28 días



4.4.2.1.10 Análisis Estadístico de Resistencia a la Compresión del CP con 15% de Sustitución de Cemento por POV a los 7 días

Tabla 102

Datos de resistencia a la compresión del CP con 15% de sustitución a los 7 días

Muestra	X_i
CP	116.05
CP	115.13
CP	115.88

Tabla 103

Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 7 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[115.13 – 115.44>	115.28	1	1	115.28	-0.41	0.17	0.17
[115.44 – 115.75>	115.59	0	1	0.00	-0.10	0.01	0.00
[115.75 – 116.05>	115.90	2	3	231.80	0.21	0.04	0.08

Tabla 104

Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 7 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.93
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.31
Media (M)	115.69
Mediana (M_e)	115.82
Moda (M_o)	115.90
Varianza (σ^2)	0.13
Desviación estándar (σ)	0.36
Coefficiente de variación (CV)	0.31

Figura 88

Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 7 días

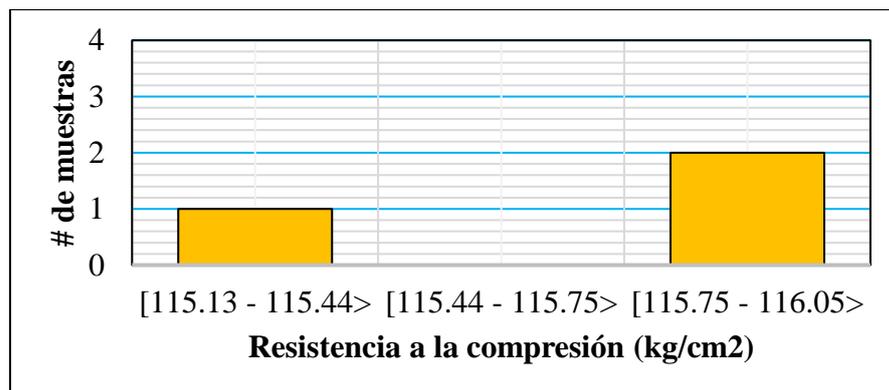
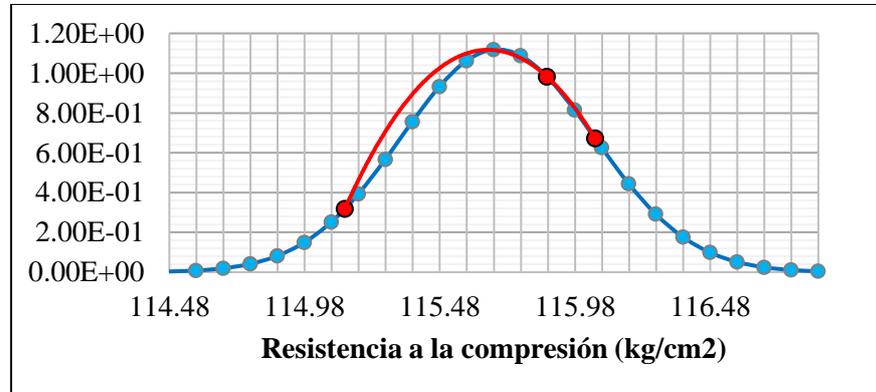


Figura 89

Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 7 días



4.4.2.1.11 Análisis Estadístico de Resistencia a la Compresión del CP con 15% de Sustitución de Cemento por POV a los 14 días

Tabla 105

Datos de resistencia a la compresión del CP con 15% de sustitución a los 14 días

Muestra	X_i
CP	140.03
CP	139.96
CP	141.25

Tabla 106

Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 14 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[139.96 – 140.39>	140.18	2	2	280.35	-0.29	0.08	0.16
[140.39 – 140.82>	140.61	0	2	0.00	0.14	0.02	0.00
[140.82 – 141.25>	141.04	1	3	141.04	0.57	0.33	0.33

Tabla 107

Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los

14 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	1.29
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.43
Media (M)	140.46
Mediana (M_e)	140.28
Moda (M_o)	140.18
Varianza (σ^2)	0.25
Desviación estándar (σ)	0.50
Coefficiente de variación (CV)	0.35

Figura 90

Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 14 días

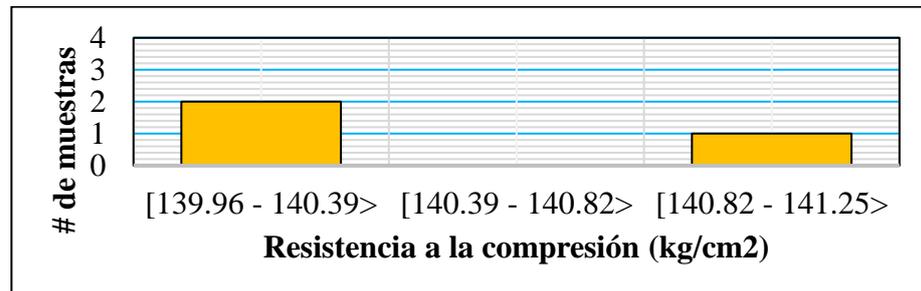
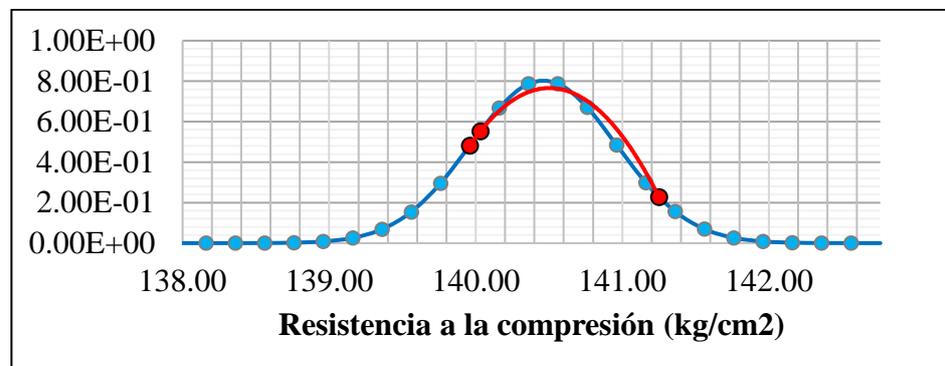


Figura 91

Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 14 días



4.4.2.1.12 Análisis Estadístico de Resistencia a la Compresión del CP con 15% de Sustitución de Cemento por POV a los 28 días

Tabla 108

Datos de resistencia a la compresión del CP con 15% de sustitución a los 28 días

Muestra	X_i
CP	210.21
CP	214.67
CP	209.46

Tabla 109

Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 28 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[209.46 - 211.46>	210.46	2	2	420.92	-1.33	1.78	3.56
[211.46 - 213.46>	212.46	0	2	0.00	0.67	0.44	0.00
[213.46 - 215.46>	214.46	1	3	214.46	2.67	7.11	7.11

Tabla 110

Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 28 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	5.21
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	2.00
Media (M)	211.79
Mediana (M_e)	210.96
Moda (M_o)	210.46
Varianza (σ^2)	5.33
Desviación estándar (σ)	2.31
Coefficiente de variación (CV)	1.09

Figura 92

Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 28 días

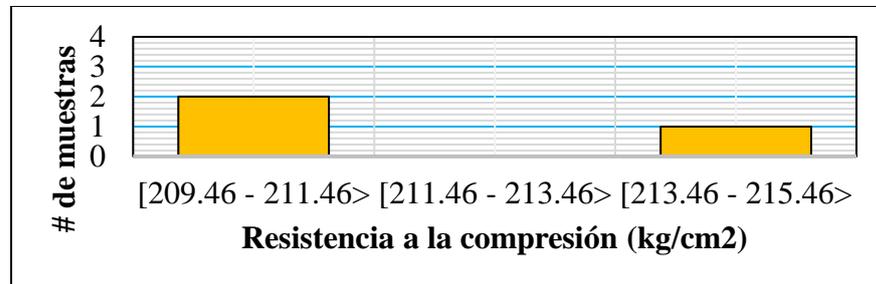
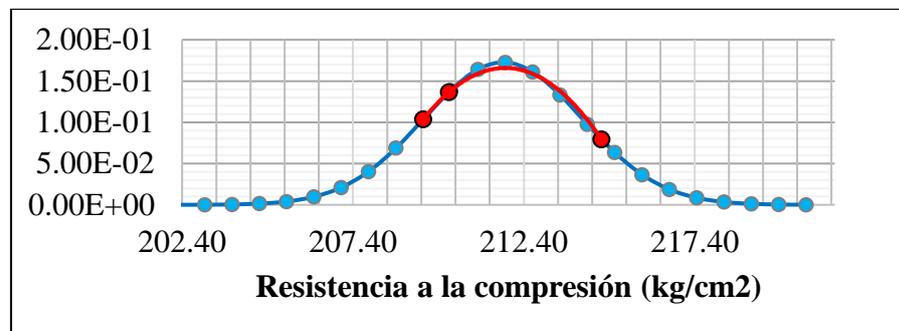


Figura 93

Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 28 días



4.4.2.2 Análisis Estadístico Para los Resultados de Resistencia a la Flexión

4.4.2.2.1 Análisis Estadístico de Resistencia a la Flexión del CP a los 7 días

Tabla 111

Datos de resistencia a la flexión del CP a los 7 días

Muestra	X _i
CP	19.13
CP	18.85
CP	18.93

Tabla 112

Tabla de distribución frecuencias del CP a los 7 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[18.85 - 18.95>	18.90	2	2	37.80	-0.06	0.00	0.01
[18.95 - 19.04>	18.99	0	2	0.00	0.03	0.00	0.00
[19.04 - 19.13>	19.08	1	3	19.08	0.12	0.01	0.01

Tabla 113

Medidas de centralización y dispersión del CP a los 7 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.28
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.09
Media (M)	18.96
Mediana (M_e)	18.92
Moda (M_o)	18.90
Varianza (σ^2)	0.01
Desviación estándar (σ)	0.11
Coefficiente de variación (CV)	0.56

Figura 94

Histograma de frecuencias del CP a los 7 días

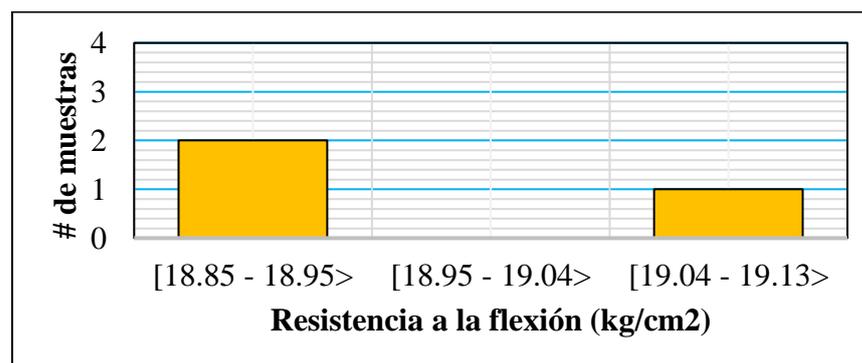
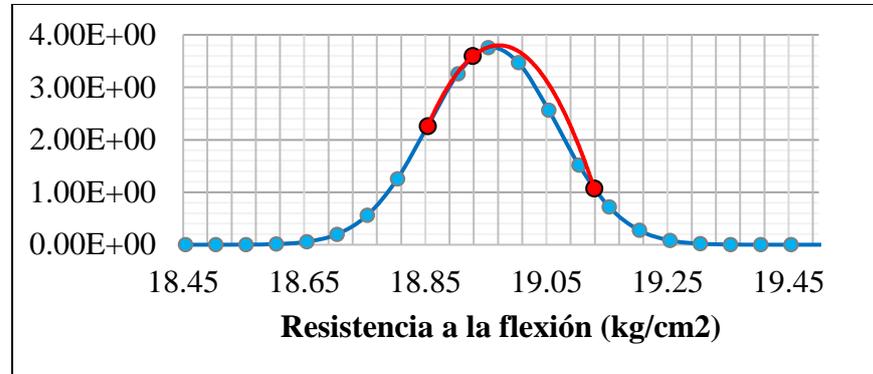


Figura 95

Distribución normal del CP a los 7 días



4.4.2.2 Análisis Estadístico de Resistencia a la Flexión del CP a los 14 días

Tabla 114

Datos de resistencia a la flexión del CP a los 14 días

Muestra	X_i
CP	23.90
CP	25.54
CP	26.39

Tabla 115

Tabla de distribución frecuencias del CP a los 14 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[23.90 - 24.73>	24.31	1	1	24.31	-0.83	0.69	0.69
[24.73 - 25.56>	25.15	1	2	25.15	0.00	0.00	0.00
[25.56 - 26.39>	25.98	1	3	25.98	0.83	0.69	0.69

Tabla 116

Medidas de centralización y dispersión del CP a los 14 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	2.49
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.83
Media (M)	25.15
Mediana (M_e)	25.15
Moda (M_o)	-
Varianza (σ^2)	0.69
Desviación estándar (σ)	0.83
Coeficiente de variación (CV)	3.30

Figura 96

Histograma de frecuencias del CP a los 14 días

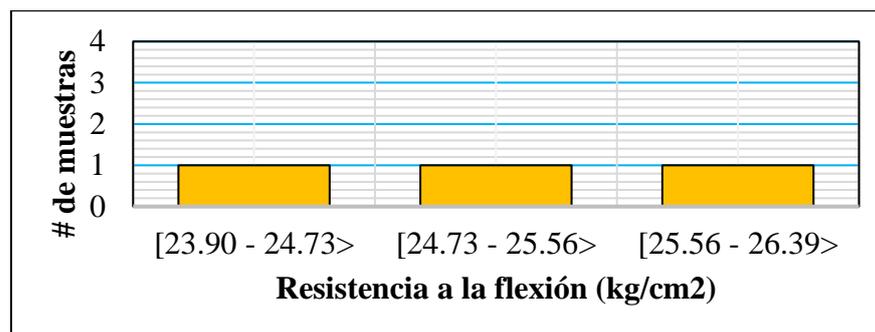
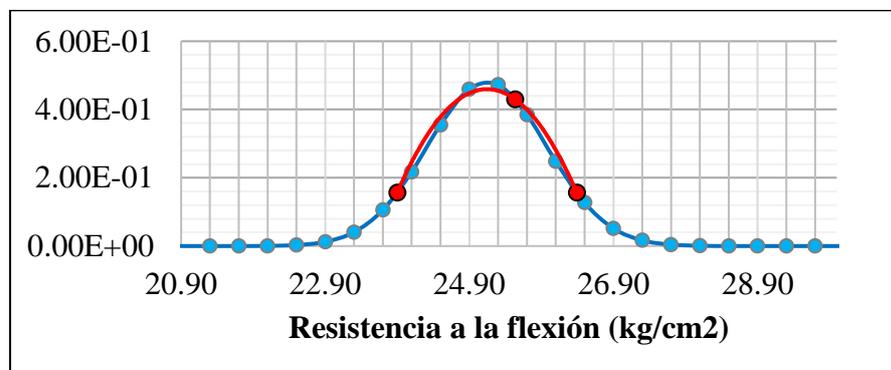


Figura 97

Distribución normal del CP a los 14 días



4.4.2.2.3 Análisis Estadístico de Resistencia a la Flexión del CP a los 28 días

Tabla 117

Datos de resistencia a la flexión del CP a los 28 días

Muestra	X_i
CP	28.90
CP	30.59
CP	29.25

Tabla 118

Tabla de distribución frecuencias del CP a los 28 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[28.90 - 29.90>	29.40	2	2	58.81	-0.33	0.11	0.22
[29.90 - 30.90>	30.40	1	3	30.40	0.67	0.44	0.44
[30.90 - 31.90>	31.40	0	3	0.00	1.67	2.78	0.00

Tabla 119

Medidas de centralización y dispersión del CP a los 28 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	1.69
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	1.00
Media (M)	29.74
Mediana (M_e)	29.65
Moda (M_o)	29.57
Varianza (σ^2)	0.33
Desviación estándar (σ)	0.58
Coefficiente de variación (CV)	1.94

Figura 98

Histograma de frecuencias del CP a los 28 días

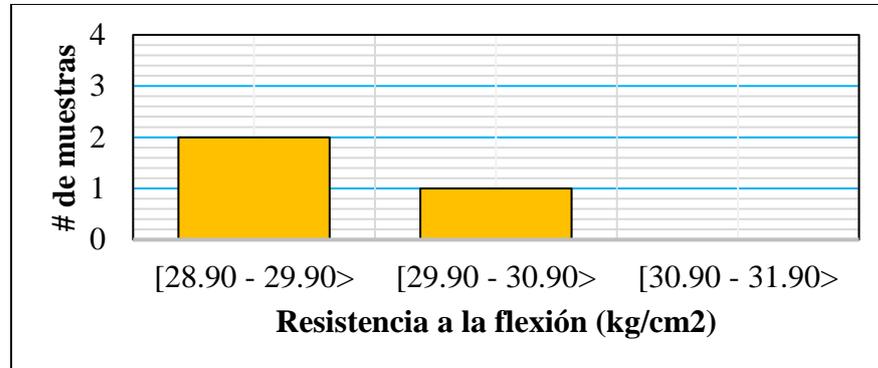
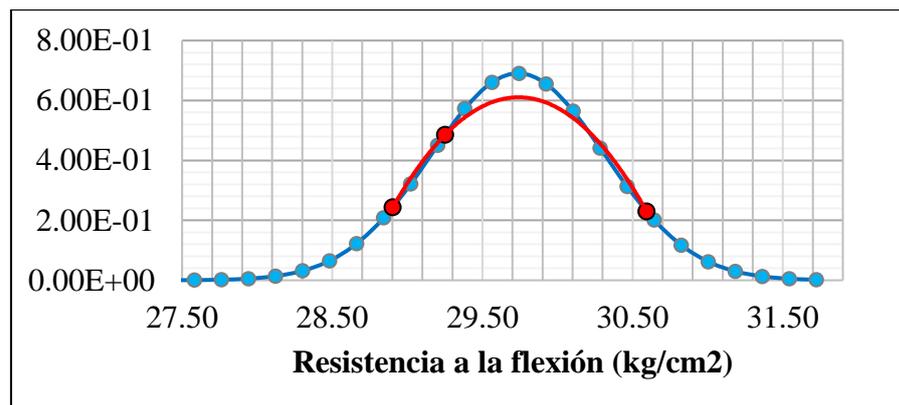


Figura 99

Distribución normal del CP a los 28 días



4.4.2.2.4 Análisis Estadístico de Resistencia a la Flexión del CP con 5% de Sustitución de Cemento por POV a los 7 días

Tabla 120

Datos de resistencia a la flexión del CP con 5% de sustitución a los 7 día

Muestra	X_i
CP	17.88
CP	17.83
CP	18.08

Tabla 121

Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 7 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[17.83 - 17.91>	17.87	2	2	35.75	-0.05	0.00	0.01
[17.91 - 18.00>	17.95	0	2	0.00	0.03	0.00	0.00
[18.00 - 18.08>	18.04	1	3	18.04	0.11	0.01	0.01

Tabla 122

Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 7 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.25
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.08
Media (M)	17.93
Mediana (M_e)	17.89
Moda (M_o)	17.87
Varianza (σ^2)	0.01
Desviación estándar (σ)	0.09
Coefficiente de variación (CV)	0.53

Figura 100

Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 7 días

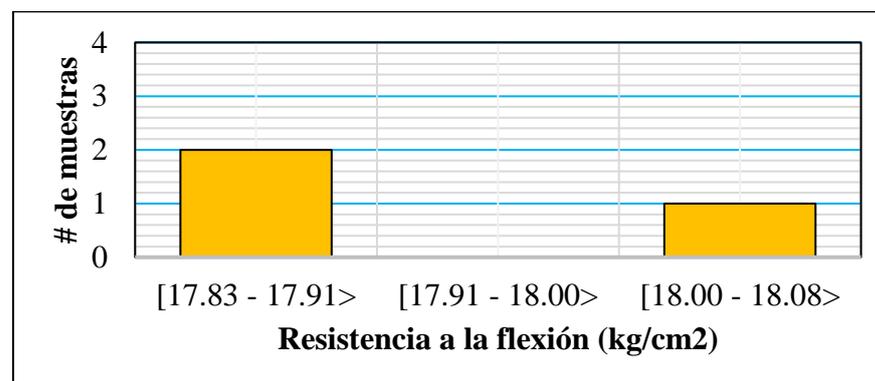
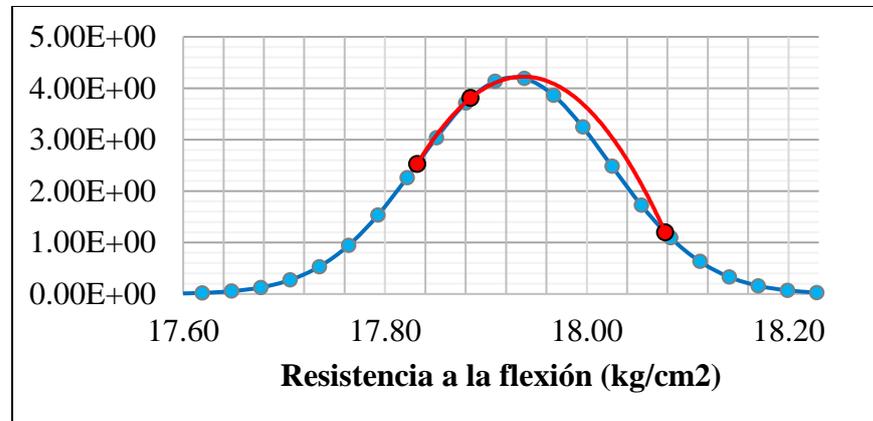


Figura 101

Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 7 días



4.4.2.2.5 Análisis Estadístico de Resistencia a la Flexión del CP con 5% de Sustitución de Cemento por POV a los 14 días

Tabla 123

Datos de resistencia a la flexión del CP con 5% de sustitución a los 14 días

Muestra	X_i
CP	26.89
CP	26.26
CP	26.97

Tabla 124

Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 14 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[26.26 - 26.50>	26.38	1	1	26.38	-0.31	0.10	0.10
[26.50 - 26.73>	26.61	0	1	0.00	-0.08	0.01	0.00
[26.73 - 26.97>	26.85	2	3	53.70	0.16	0.02	0.05

Tabla 125

Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los

14 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.70
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.23
Media (M)	26.69
Mediana (M_e)	26.79
Moda (M_o)	26.85
Varianza (σ^2)	0.07
Desviación estándar (σ)	0.27
Coefficiente de variación (CV)	1.02

Figura 102

Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 14 días

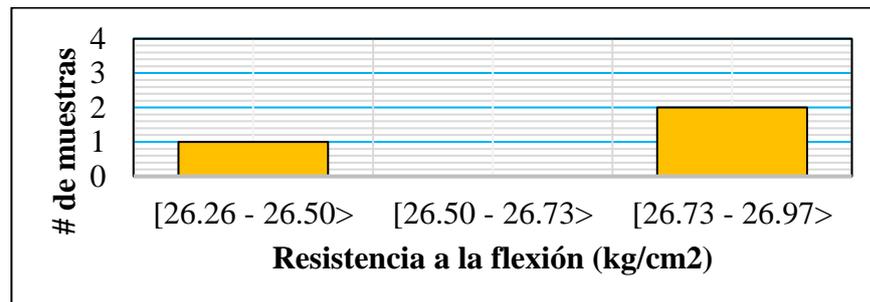
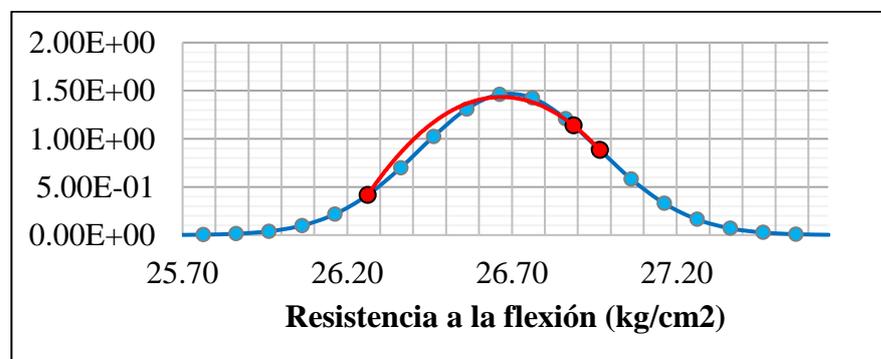


Figura 103

Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 14 días



4.4.2.2.6 Análisis Estadístico de Resistencia a la Flexión del CP con 5% de Sustitución de Cemento por POV a los 28 días

Tabla 126

Datos de resistencia a la flexión del CP con 5% de sustitución a los 28 días

Muestra	X_i
CP	30.89
CP	30.81
CP	30.41

Tabla 127

Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 28 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[30.41 - 30.57>	30.49	1	1	30.49	-0.21	0.05	0.05
[30.57 - 30.73>	30.65	0	1	0.00	-0.05	0.00	0.00
[30.73 - 30.89>	30.81	2	3	61.63	0.11	0.01	0.02

Tabla 128

Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 28 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.48
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.16
Media (M)	30.71
Mediana (M_e)	30.77
Moda (M_o)	30.81
Varianza (σ^2)	0.03
Desviación estándar (σ)	0.18
Coefficiente de variación (CV)	0.60

Figura 104

Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 28 días

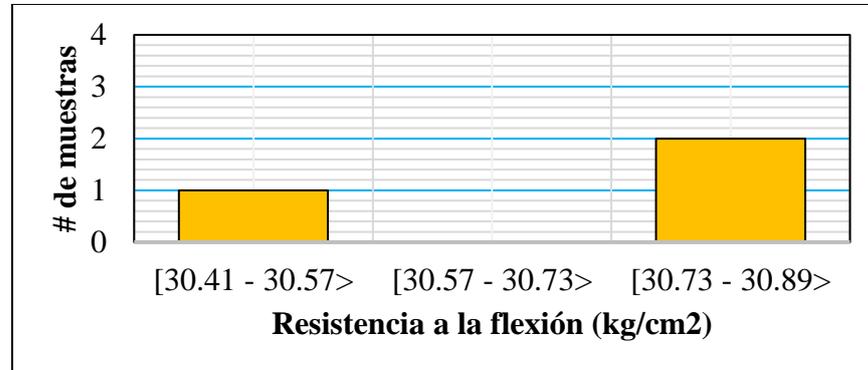
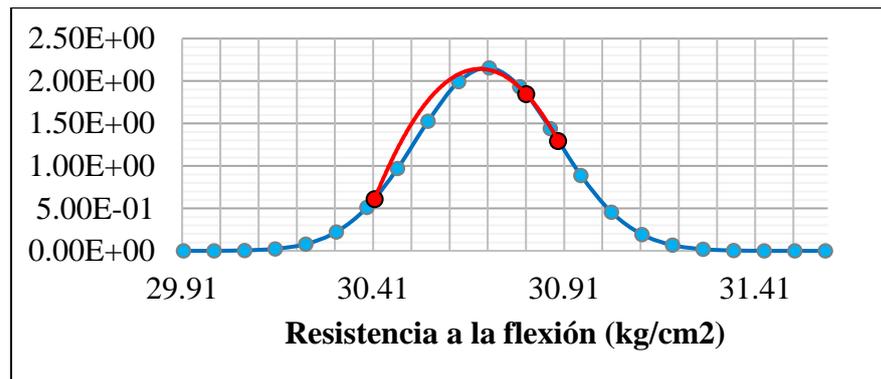


Figura 105

Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 28 días



4.4.2.2.7 Análisis Estadístico de Resistencia a la Flexión del CP con 10% de Sustitución de Cemento por POV a los 7 días

Tabla 129

Datos de resistencia a la flexión del CP con 10% de sustitución a los 7 días

Muestra	X_i
CP	16.24
CP	16.14
CP	16.77

Tabla 130

Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 7 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[16.14 - 16.35>	16.25	2	2	32.49	-0.14	0.02	0.04
[16.35 - 16.56>	16.46	0	2	0.00	0.07	0.00	0.00
[16.56 - 16.77>	16.66	1	3	16.66	0.28	0.08	0.08

Tabla 131

Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 7 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.63
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.21
Media (M)	16.39
Mediana (M_e)	16.30
Moda (M_o)	16.25
Varianza (σ^2)	0.06
Desviación estándar (σ)	0.24
Coefficiente de variación (CV)	1.47

Figura 106

Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 7 días

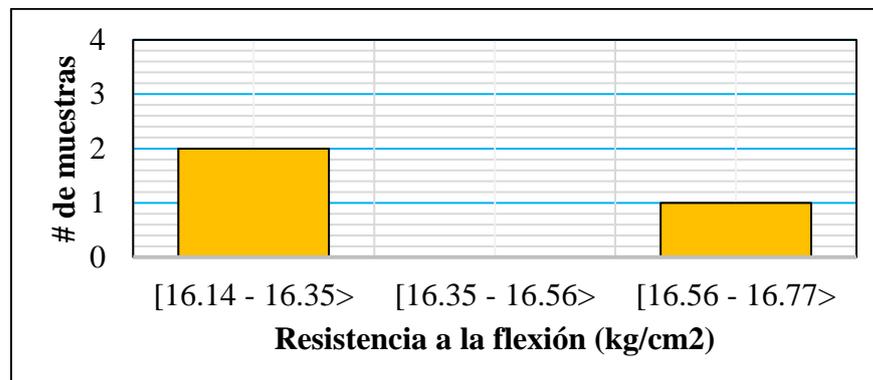
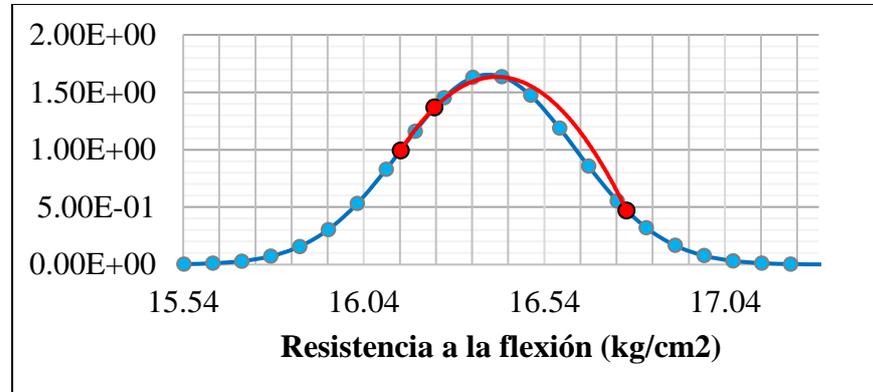


Figura 107

Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 7 días



4.4.2.2.8 Análisis Estadístico de Resistencia a la Flexión del CP con 10% de Sustitución de Cemento por POV a los 14 días

Tabla 132

Datos de resistencia a la flexión del CP con 10% de sustitución a los 14 días

Muestra	X_i
CP	28.22
CP	26.84
CP	26.99

Tabla 133

Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 14 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[26.84 - 27.84>	27.34	2	2	54.68	-0.67	0.44	0.89
[27.84 - 28.84>	28.34	0	2	0.00	0.33	0.11	0.00
[28.84 - 29.84>	29.34	1	3	29.34	1.33	1.78	1.78

Tabla 134

Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 14 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	1.38
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	1.00
Media (M)	28.01
Mediana (M_e)	27.59
Moda (M_o)	27.34
Varianza (σ^2)	1.33
Desviación estándar (σ)	1.15
Coefficiente de variación (CV)	4.12

Figura 108

Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 14 días

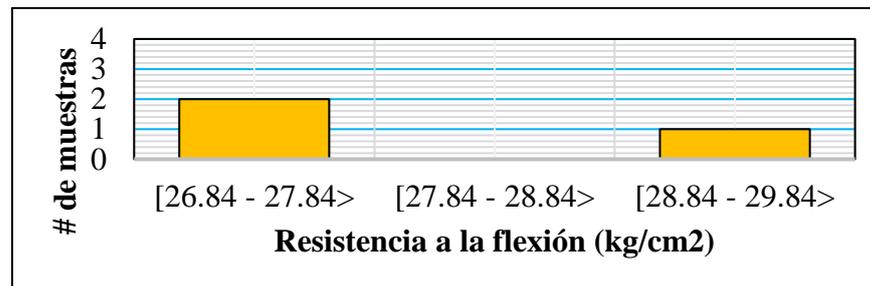
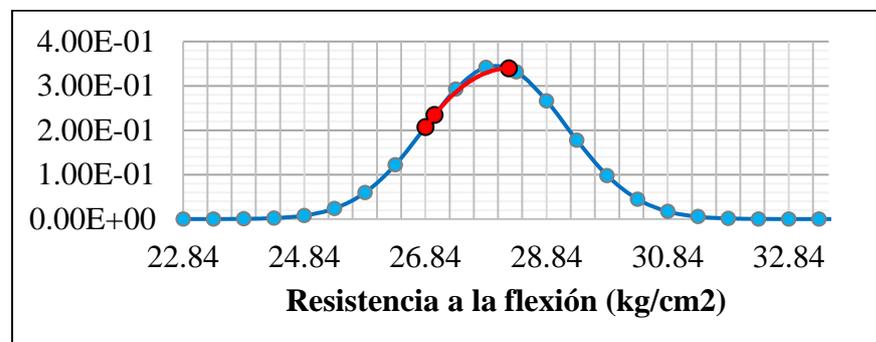


Figura 109

Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 14 días



4.4.2.2.9 Análisis Estadístico de Resistencia a la Flexión del CP con 10% de Sustitución de Cemento por POV a los 28 días

Tabla 135

Datos de resistencia a la flexión del CP con 10% de sustitución a los 28 días

Muestra	X_i
CP	32.38
CP	31.99
CP	31.83

Tabla 136

Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 28 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[31.83 - 32.01>	31.92	2	2	63.84	-0.12	0.01	0.03
[32.01 - 32.19>	32.10	0	2	0.00	0.06	0.00	0.00
[32.19 - 32.38>	32.28	1	3	32.28	0.24	0.06	0.06

Tabla 137

Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 28 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.55
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.18
Media (M)	32.04
Mediana (M_e)	31.97
Moda (M_o)	31.92
Varianza (σ^2)	0.04
Desviación estándar (σ)	0.21
Coefficiente de variación (CV)	0.66

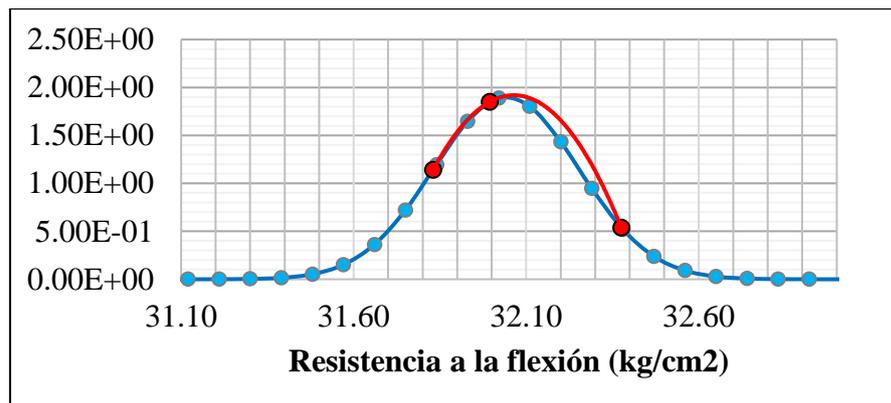
Figura 110

Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 28 días



Figura 111

Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 28 días



4.4.2.2.10 Análisis Estadístico de Resistencia a la Flexión del CP con 15% de Sustitución de Cemento por POV a los 7 días

Tabla 138

Datos de resistencia a la flexión del CP con 15% de sustitución a los 7 días

Muestra	X_i
CP	15.79
CP	15.83
CP	15.85

Tabla 139

Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 7 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[15.79 - 15.81>	15.80	1	1	15.80	-0.02	0.00	0.0004
[15.81 - 15.83>	15.82	1	2	15.82	0.00	0.00	0.0000
[15.83 - 15.85>	15.84	1	3	15.84	0.02	0.00	0.0004

Tabla 140

Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 7 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.06
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.02
Media (M)	15.82
Mediana (M_e)	15.82
Moda (M_o)	-
Varianza (σ^2)	0.0004
Desviación estándar (σ)	0.02
Coefficiente de variación (CV)	0.13

Figura 112

Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 7 días

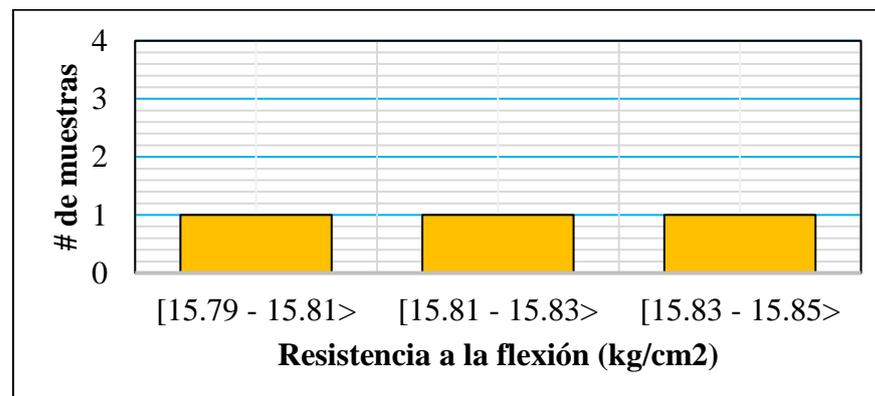
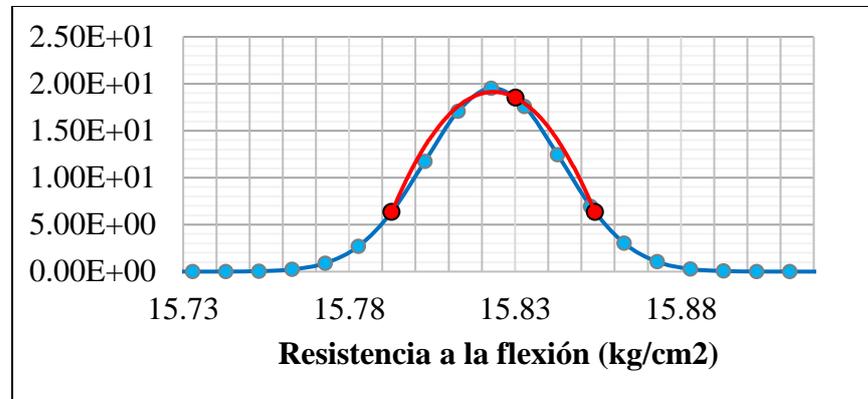


Figura 113

Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 7 días



4.4.2.2.11 Análisis Estadístico de Resistencia a la Flexión del CP con 15% de Sustitución de Cemento por POV a los 14 días

Tabla 141

Datos de resistencia a la flexión del CP con 15% de sustitución a los 14 días

Muestra	X_i
CP	27.19
CP	26.42
CP	26.10

Tabla 142

Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 14 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[26.10 - 26.46>	26.28	2	2	52.57	-0.24	0.06	0.12
[26.46 - 26.82>	26.64	0	2	0.00	0.12	0.01	0.00
[26.82 - 27.19>	27.01	1	3	27.01	0.48	0.23	0.23

Tabla 143

Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 14 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	1.08
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.36
Media (M)	26.52
Mediana (M_e)	26.37
Moda (M_o)	26.28
Varianza (σ^2)	0.17
Desviación estándar (σ)	0.42
Coefficiente de variación (CV)	1.57

Figura 114

Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 14 días

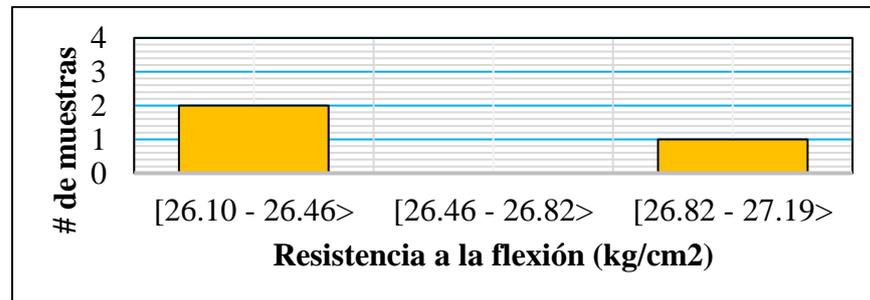
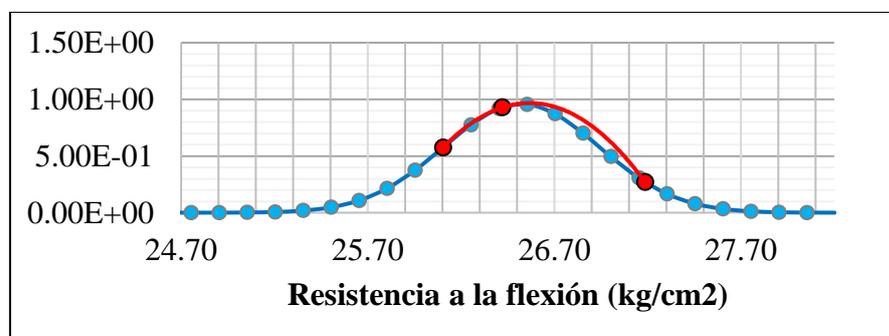


Figura 115

Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 14 días



4.4.2.2.12 Análisis Estadístico de Resistencia a la Flexión del CP con 15% de Sustitución de Cemento por POV a los 28 días

Tabla 144

Datos de resistencia a la flexión del CP con 15% de sustitución a los 28 días

Muestra	\bar{X}_i
CP	27.87
CP	27.84
CP	27.24

Tabla 145

Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 28 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[27.24 - 27.45>	27.34	1	1	27.34	-0.28	0.08	0.08
[27.45 - 27.66>	27.55	0	1	0.00	-0.07	0.00	0.00
[27.66 - 27.87>	27.77	2	3	55.53	0.14	0.02	0.04

Tabla 146

Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 28 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.63
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.21
Media (M)	27.62
Mediana (M_e)	27.71
Moda (M_o)	27.77
Varianza (σ^2)	0.06
Desviación estándar (σ)	0.24
Coefficiente de variación (CV)	0.88

Figura 116

Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 28 días

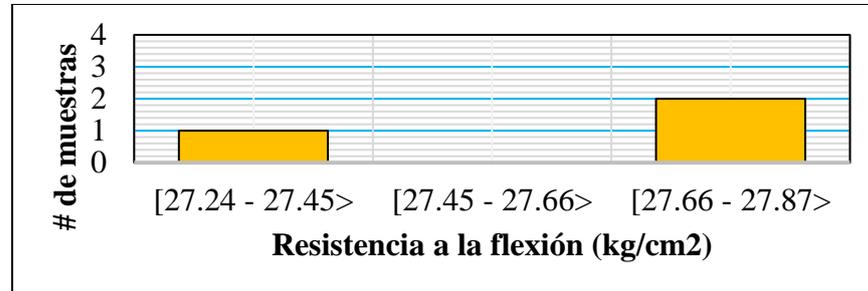
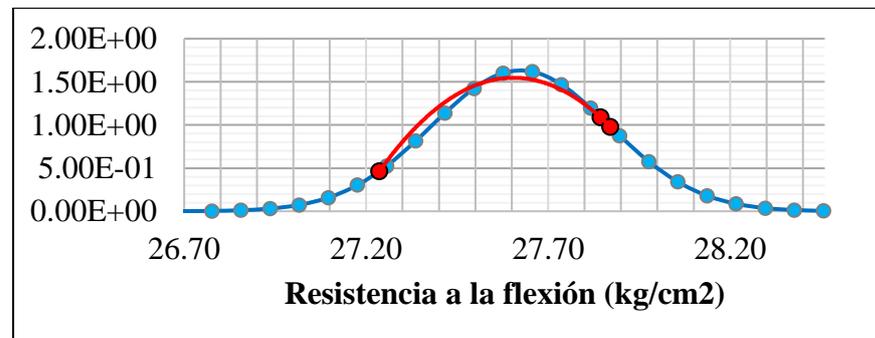


Figura 117

Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 28 días



4.4.2.3 Análisis Estadístico Para los Resultados de Resistencia a la Tracción

4.4.2.3.1 Análisis Estadístico de Resistencia a la Tracción del CP a los 7 días

Tabla 147

Datos de resistencia a la tracción del CP a los 7 días

Muestra	X_i
CP	14.21
CP	15.57
CP	14.68

Tabla 148

Tabla de distribución frecuencias del CP a los 7 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[14.21 - 15.21>	14.71	2	2	29.41	-0.33	0.11	0.22
[15.21 - 16.21>	15.71	1	3	15.71	0.67	0.44	0.44
[16.21 - 17.21>	16.71	0	3	0.00	1.67	2.78	0.00

Tabla 149

Medidas de centralización y dispersión del CP a los 7 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	1.36
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	1.00
Media (M)	15.04
Mediana (M_e)	14.96
Moda (M_o)	14.87
Varianza (σ^2)	0.33
Desviación estándar (σ)	0.58
Coefficiente de variación (CV)	3.84

Figura 118

Histograma de frecuencias del CP a los 7 días

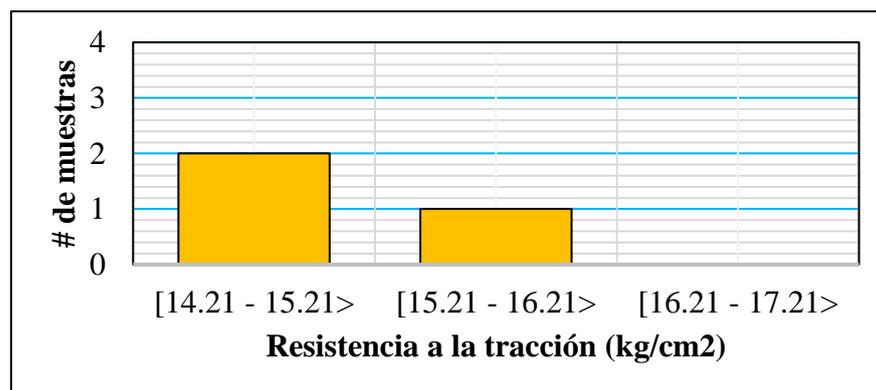
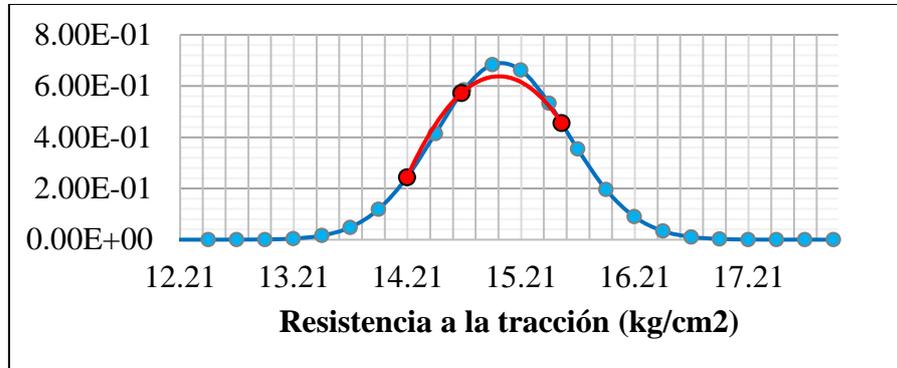


Figura 119

Distribución normal del CP a los 7 días



4.4.2.3.2 Análisis Estadístico de Resistencia a la Tracción del CP a los 14 días

Tabla 150

Datos de resistencia a la tracción del CP a los 14 días

Muestra	X_i
CP	16.62
CP	16.73
CP	16.67

Tabla 151

Tabla de distribución frecuencias del CP a los 14 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[16.62 - 16.66>	16.64	1	1	16.64	-0.03	0.00	0.001
[16.66 - 16.69>	16.68	1	2	16.68	0.00	0.00	0.000
[16.69 - 16.73>	16.71	1	3	16.71	0.03	0.00	0.001

Tabla 152

Medidas de centralización y dispersión del CP a los 14 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.10
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.03
Media (M)	16.68
Mediana (M_e)	16.68
Moda (M_o)	-
Varianza (σ^2)	0.001
Desviación estándar (σ)	0.03
Coefficiente de variación (CV)	0.21

Figura 120

Histograma de frecuencias del CP a los 14 días

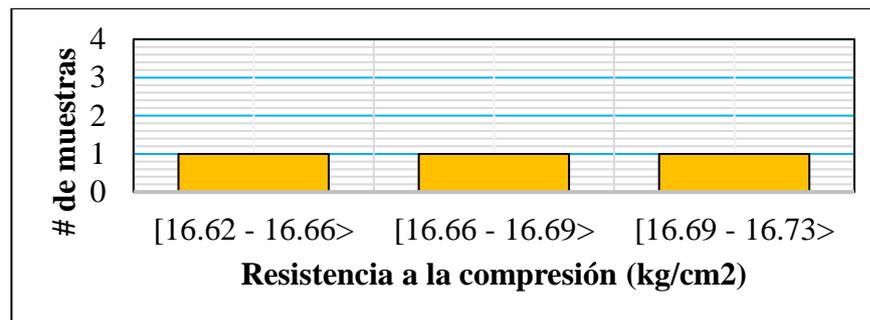
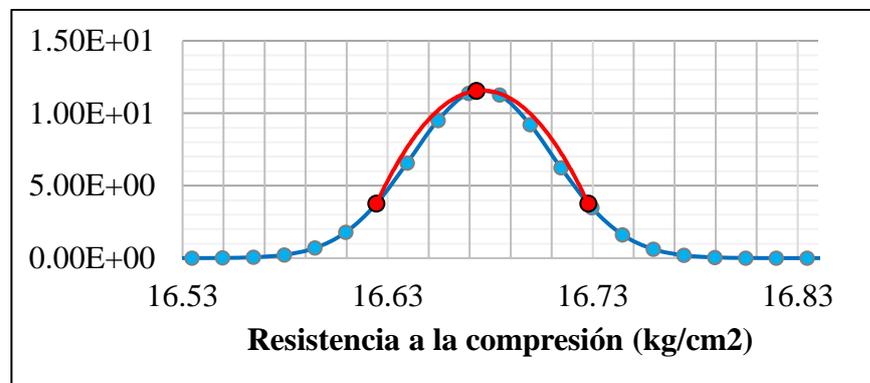


Figura 121

Distribución normal del CP a los 14 días



4.4.2.3.3 Análisis Estadístico de Resistencia a la Tracción del CP a los 28 días

Tabla 153

Datos de resistencia a la tracción del CP a los 28 días

Muestra	X_i
CP	18.61
CP	18.95
CP	18.92

Tabla 154

Tabla de distribución frecuencias del CP a los 28 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[18.61 - 18.72>	18.66	1	1	18.66	-0.15	0.02	0.02
[18.72 - 18.83>	18.78	0	1	0.00	-0.04	0.00	0.00
[18.83 - 18.95>	18.89	2	3	37.78	0.08	0.01	0.01

Tabla 155

Medidas de centralización y dispersión del CP a los 28 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.34
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.11
Media (M)	18.81
Mediana (M_e)	18.86
Moda (M_o)	18.89
Varianza (σ^2)	0.02
Desviación estándar (σ)	0.13
Coeficiente de variación (CV)	0.70

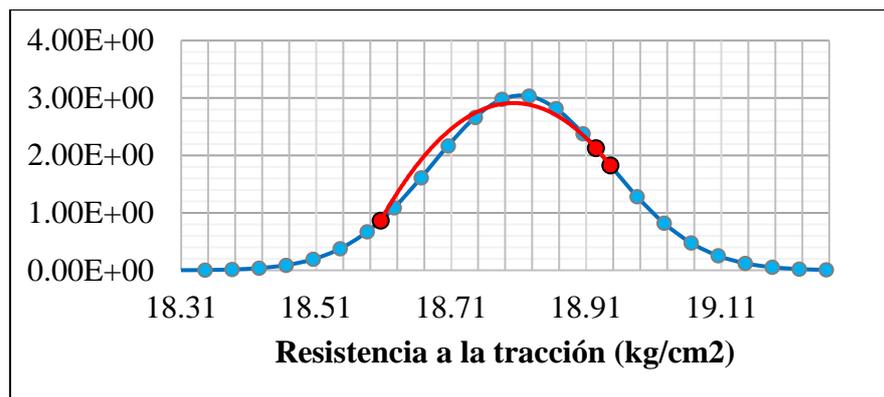
Figura 122

Histograma de frecuencias del CP a los 28 días



Figura 123

Distribución normal del CP a los 28 días



4.4.2.3.4 Análisis Estadístico de Resistencia a la Tracción del CP con 5% de Sustitución de Cemento por POV a los 7 días

Tabla 156

Datos de resistencia a la tracción del CP con 5% de sustitución a los 7 días

Muestra	X_i
CP	13.37
CP	13.02
CP	13.22

Tabla 157

Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 7 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[13.02 - 13.14>	13.08	1	1	13.08	-0.12	0.01	0.01
[13.14 - 13.25>	13.20	1	2	13.20	0.00	0.00	0.00
[13.25 - 13.37>	13.31	1	3	13.31	0.12	0.01	0.01

Tabla 158

Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 7 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.35
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.12
Media (M)	13.20
Mediana (M_e)	13.20
Moda (M_o)	-
Varianza (σ^2)	0.01
Desviación estándar (σ)	0.12
Coefficiente de variación (CV)	0.89

Figura 124

Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 7 días

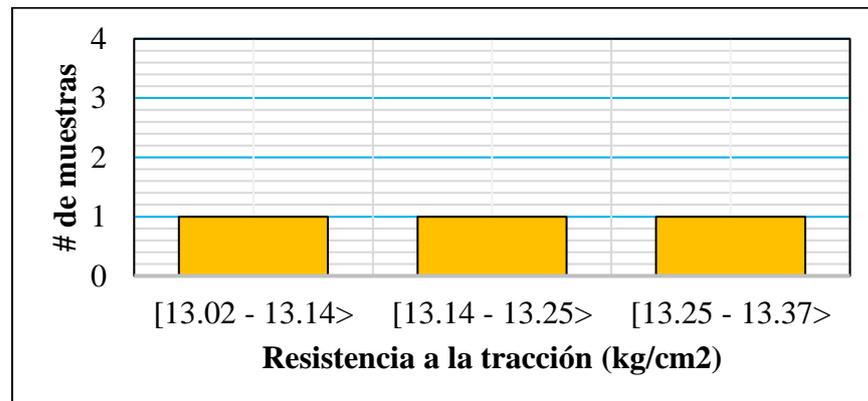
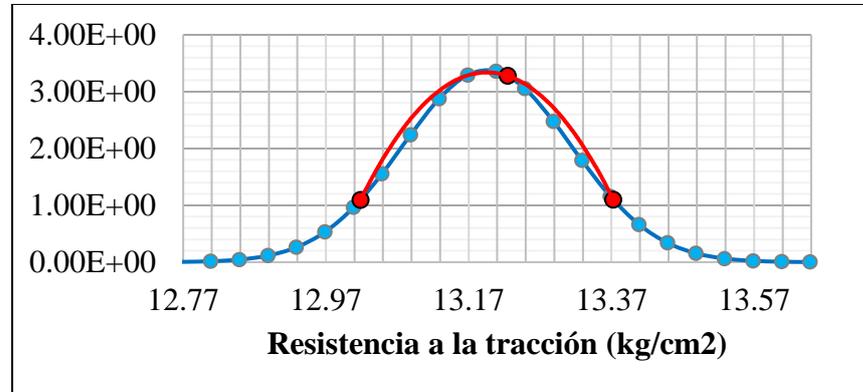


Figura 125

Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 7 días



4.4.2.3.5 Análisis Estadístico de Resistencia a la Tracción del CP con 5% de Sustitución de Cemento por POV a los 14 días

Tabla 159

Datos de resistencia a la tracción del CP con 5% de sustitución a los 14 días

Muestra	X_i
CP	17.54
CP	17.99
CP	17.77

Tabla 160

Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 14 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[17.54 - 17.69>	17.61	1	1	17.61	-0.15	0.02	0.02
[17.69 - 17.84>	17.76	1	2	17.76	0.00	0.00	0.00
[17.84 - 17.99>	17.92	1	3	17.92	0.15	0.02	0.02

Tabla 161

Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los

14 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.46
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.15
Media (M)	17.76
Mediana (M_e)	17.76
Moda (M_o)	-
Varianza (σ^2)	0.02
Desviación estándar (σ)	0.15
Coefficiente de variación (CV)	0.86

Figura 126

Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 14 días

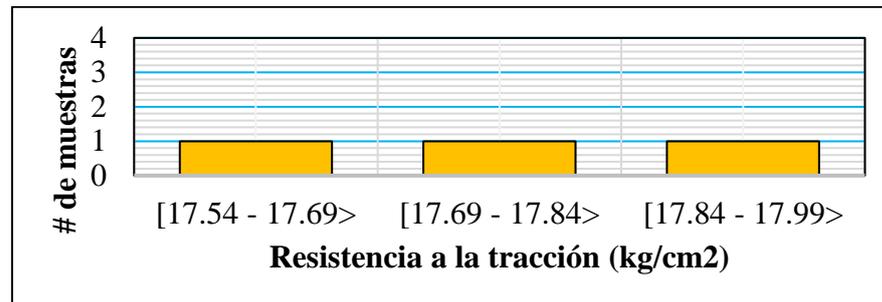
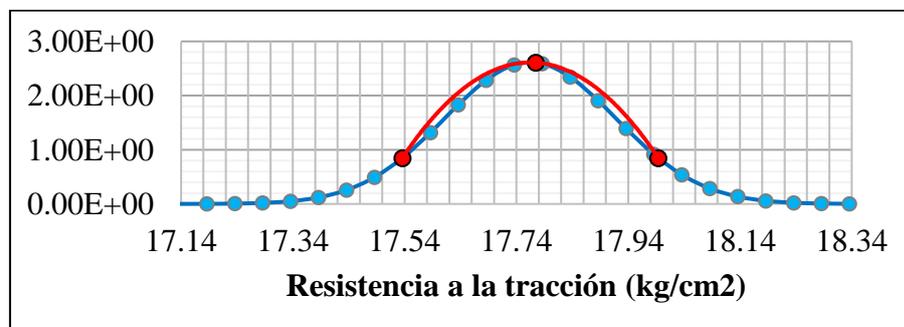


Figura 127

Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 14 días



4.4.2.3.6 Análisis Estadístico de Resistencia a la Tracción del CP con 5% de Sustitución de Cemento por POV a los 28 días

Tabla 162

Datos de resistencia a la tracción del CP con 5% de sustitución a los 28 días

Muestra	X_i
CP	19.05
CP	19.38
CP	18.84

Tabla 163

Tabla de distribución frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 28 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[18.84 - 19.02>	18.93	1	1	18.93	-0.18	0.03	0.03
[19.02 - 19.20>	19.11	1	2	19.11	0.00	0.00	0.00
[19.20 - 19.38>	19.29	1	3	19.29	0.18	0.03	0.03

Tabla 164

Medidas de centralización y dispersión del CP con 5% de sustitución a los 28 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.54
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.18
Media (M)	19.11
Mediana (M_e)	19.11
Moda (M_o)	-
Varianza (σ^2)	0.03
Desviación estándar (σ)	0.18
Coefficiente de variación (CV)	0.95

Figura 128

Histograma de frecuencias del CP con 5% de sustitución a los 28 días

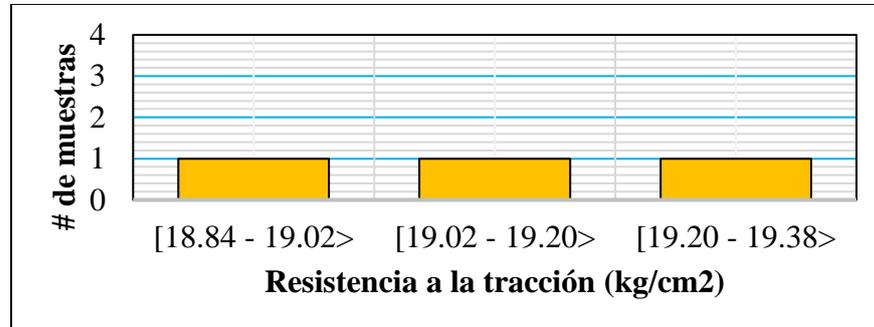
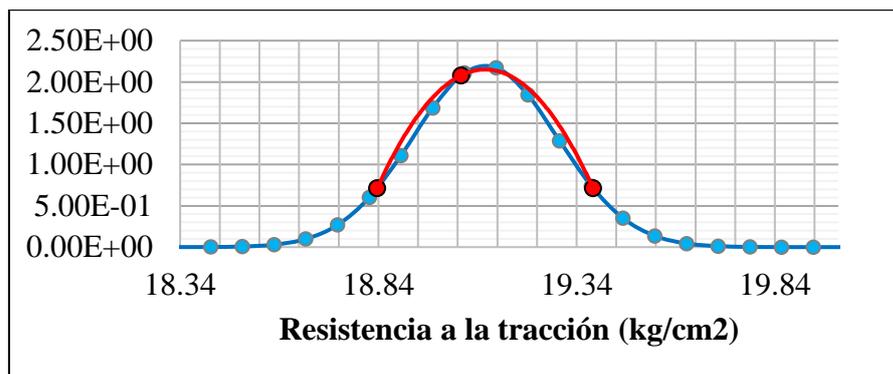


Figura 129

Distribución normal del CP con 5% de sustitución a los 28 días



4.4.2.3.7 Análisis Estadístico de Resistencia a la Tracción del CP con 10% de Sustitución de Cemento por POV a los 7 días

Tabla 165

Datos de resistencia a la tracción del CP con 10% de sustitución a los 7 días

Muestra	X_i
CP	12.71
CP	12.61
CP	11.42

Tabla 166

Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 7 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[11.42 - 11.85>	11.63	1	1	11.63	-0.57	0.33	0.33
[11.85 - 12.28>	12.06	0	1	0.00	-0.14	0.02	0.00
[12.28 - 12.71>	12.49	2	3	24.99	0.29	0.08	0.16

Tabla 167

Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 7 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	1.29
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.43
Media (M)	12.21
Mediana (M_e)	12.38
Moda (M_o)	12.49
Varianza (σ^2)	0.25
Desviación estándar (σ)	0.50
Coefficiente de variación (CV)	4.07

Figura 130

Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 7 días

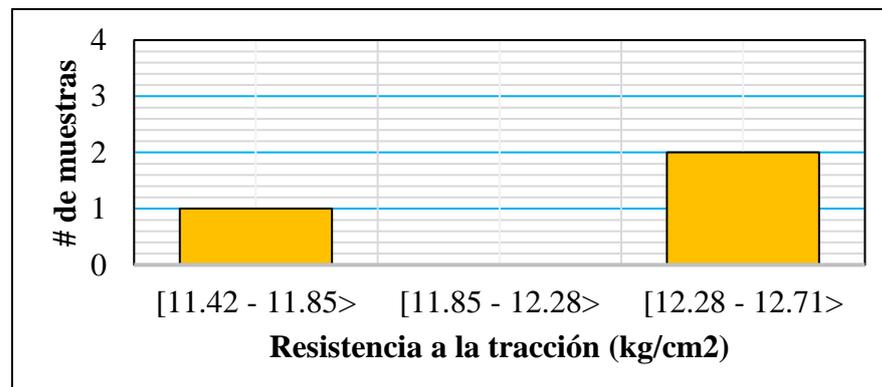
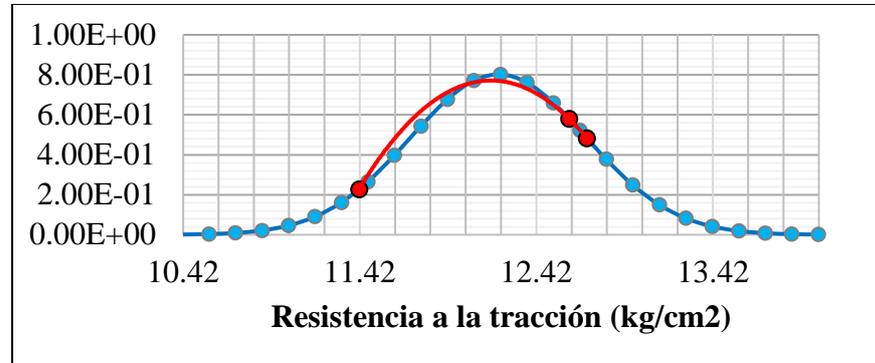


Figura 131

Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 7 días



4.4.2.3.8 Análisis Estadístico de Resistencia a la Tracción del CP con 10% de Sustitución de Cemento por POV a los 14 días

Tabla 168

Datos de resistencia a la tracción del CP con 10% de sustitución a los 14 días

Muestra	X_i
CP	18.27
CP	18.47
CP	18.49

Tabla 169

Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 14 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[18.27 - 18.34>	18.31	1	1	18.31	-0.10	0.01	0.009
[18.34 - 18.41>	18.38	0	1	0.00	-0.02	0.00	0.000
[18.41 - 18.49>	18.45	2	3	36.90	0.05	0.00	0.005

Tabla 170

Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 14 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.22
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.07
Media (M)	18.40
Mediana (M_e)	18.43
Moda (M_o)	18.45
Varianza (σ^2)	0.01
Desviación estándar (σ)	0.08
Coefficiente de variación (CV)	0.45

Figura 132

Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 14 días

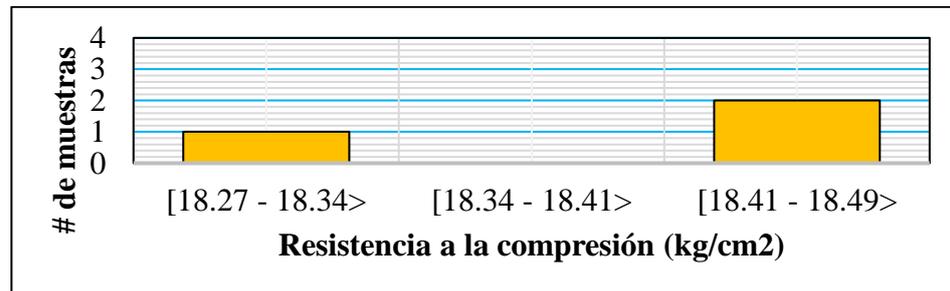
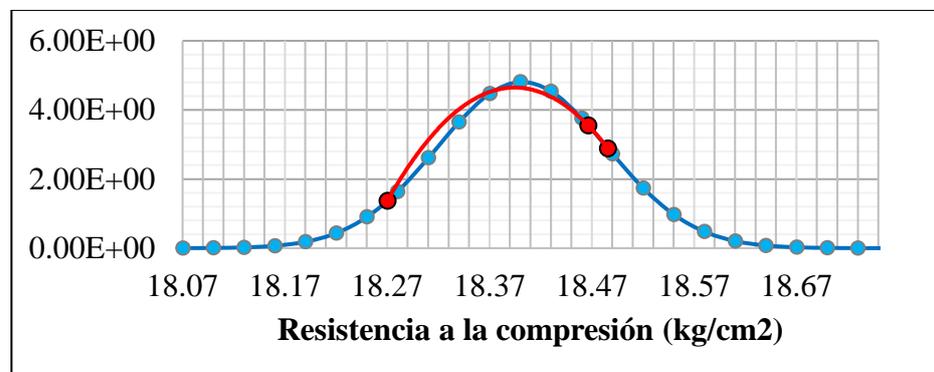


Figura 133

Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 14 días



4.4.2.3.9 Análisis Estadístico de Resistencia a la Tracción del CP con 10% de Sustitución de Cemento por POV a los 28 días

Tabla 171

Datos de resistencia a la tracción del CP con 10% de sustitución a los 28 días

Muestra	X_i
CP	22.00
CP	22.18
CP	22.47

Tabla 172

Tabla de distribución frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 28 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[22.00 - 22.16>	22.08	1	1	22.08	-0.16	0.02	0.02
[22.16 - 22.32>	22.24	1	2	22.24	0.00	0.00	0.00
[22.32 - 22.47>	22.39	1	3	22.39	0.16	0.02	0.02

Tabla 173

Medidas de centralización y dispersión del CP con 10% de sustitución a los 28 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.47
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.16
Media (M)	22.24
Mediana (M_e)	22.24
Moda (M_o)	-
Varianza (σ^2)	0.02
Desviación estándar (σ)	0.16
Coefficiente de variación (CV)	0.71

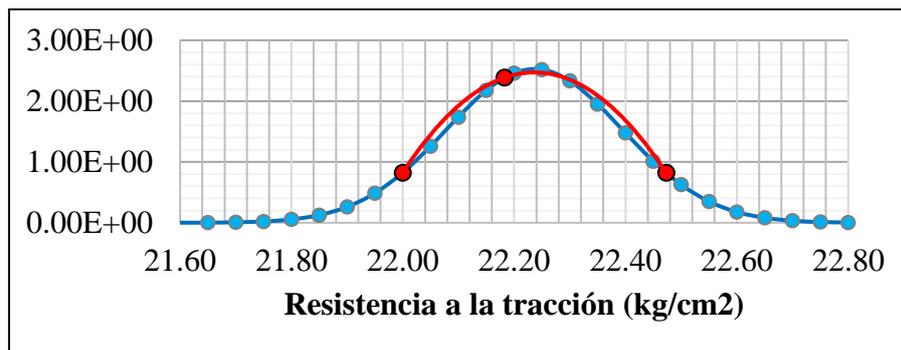
Figura 134

Histograma de frecuencias del CP con 10% de sustitución a los 28 días



Figura 135

Distribución normal del CP con 10% de sustitución a los 28 días



4.4.2.3.10 Análisis Estadístico de Resistencia a la Tracción del CP con 15% de Sustitución de Cemento por POV a los 7 días

Tabla 174

Datos de resistencia a la tracción del CP con 15% de sustitución a los 7 días

Muestra	X_i
CP	11.37
CP	11.38
CP	11.04

Tabla 175

Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 7 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[11.04 - 11.15>	11.10	1	1	11.10	-0.15	0.02	0.02
[11.15 - 11.27>	11.21	0	1	0.00	-0.04	0.00	0.00
[11.27 - 11.38>	11.33	2	3	22.65	0.08	0.01	0.01

Tabla 176

Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 7 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.35
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.12
Media (M)	11.25
Mediana (M_e)	11.30
Moda (M_o)	11.33
Varianza (σ^2)	0.02
Desviación estándar (σ)	0.13
Coeficiente de variación (CV)	1.18

Figura 136

Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 7 días

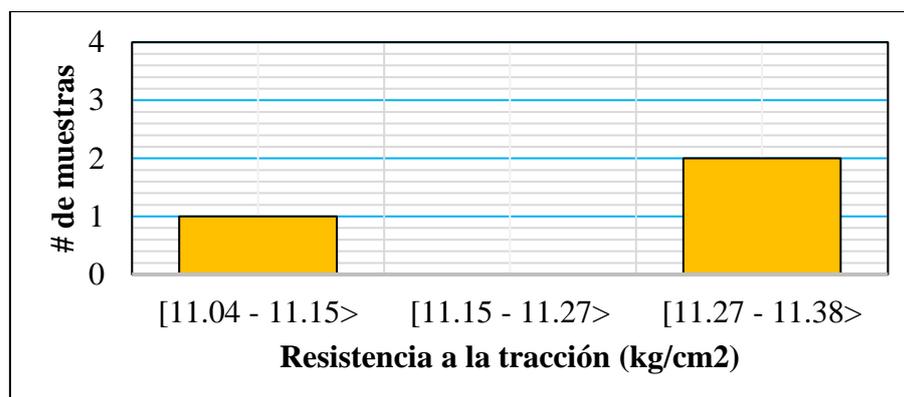
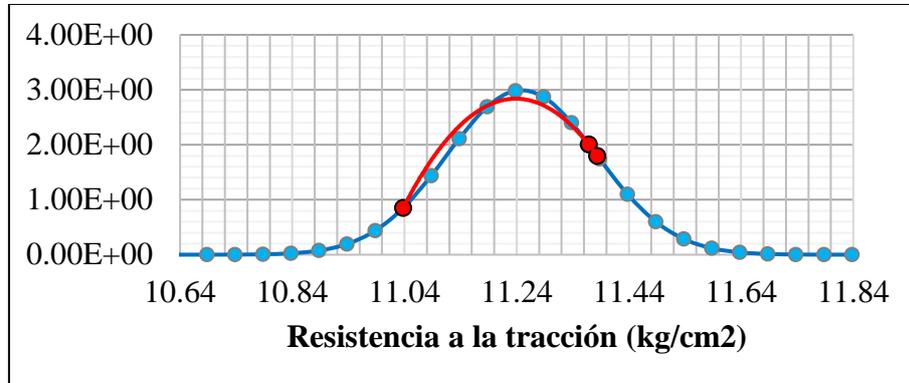


Figura 137

Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 7 días



4.4.2.3.11 Análisis Estadístico de Resistencia a la Tracción del CP con 15% de Sustitución de Cemento por POV a los 14 días

Tabla 177

Datos de resistencia a la tracción del CP con 15% de sustitución a los 14 días

Muestra	X_i
CP	17.60
CP	16.97
CP	17.31

Tabla 178

Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 14 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[16.97 - 17.18>	17.07	1	1	17.07	-0.21	0.04	0.04
[17.18 - 17.39>	17.28	1	2	17.28	0.00	0.00	0.00
[17.39 - 17.60>	17.50	1	3	17.50	0.21	0.04	0.04

Tabla 179

Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los

14 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.64
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.21
Media (M)	17.28
Mediana (M_e)	17.28
Moda (M_o)	-
Varianza (σ^2)	0.04
Desviación estándar (σ)	0.21
Coefficiente de variación (CV)	1.23

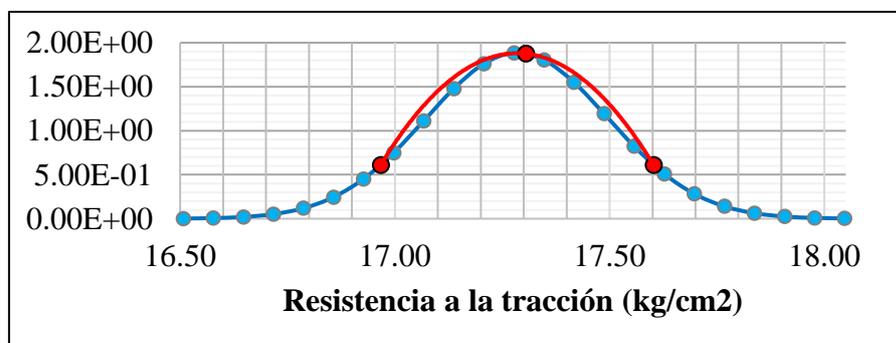
Figura 138

Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 14 días



Figura 139

Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 14 días



4.4.2.3.12 Análisis Estadístico de Resistencia a la Tracción del CP con 15% de Sustitución de Cemento por POV a los 28 días

Tabla 180

Datos de resistencia a la tracción del CP con 15% de sustitución a los 28 días

Muestra	X_i
CP	18.16
CP	18.55
CP	18.42

Tabla 181

Tabla de distribución frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 28 días

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot x_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[18.16 - 18.29>	18.22	1	1	18.22	-0.13	0.02	0.02
[18.29 - 18.42>	18.35	1	2	18.35	0.00	0.00	0.00
[18.42 - 18.55>	18.48	1	3	18.48	0.13	0.02	0.02

Tabla 182

Medidas de centralización y dispersión del CP con 15% de sustitución a los 28 días

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.39
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.13
Media (M)	18.35
Mediana (M_e)	18.35
Moda (M_o)	-
Varianza (σ^2)	0.02
Desviación estándar (σ)	0.13
Coefficiente de variación (CV)	0.70

Figura 140

Histograma de frecuencias del CP con 15% de sustitución a los 28 días

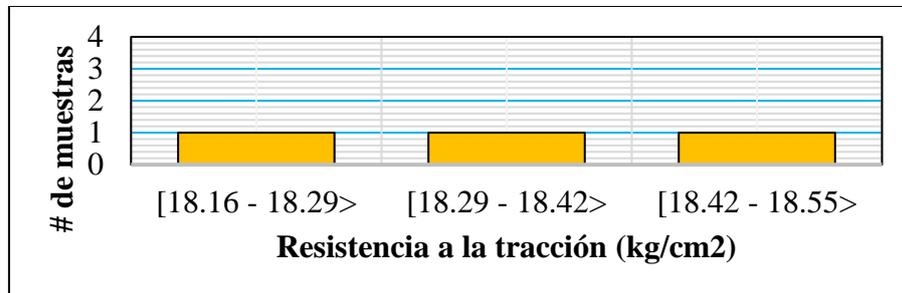
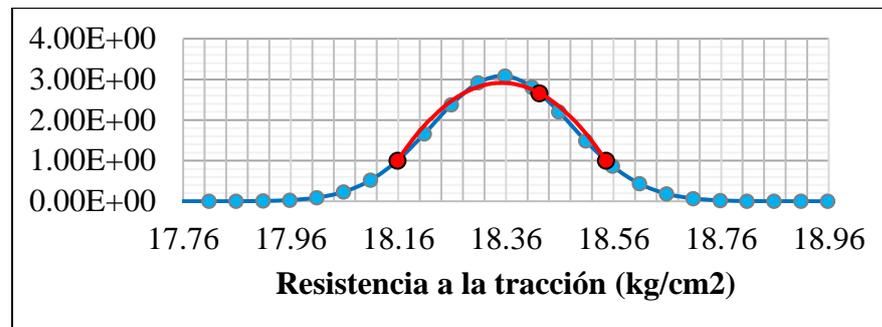


Figura 141

Distribución normal del CP con 15% de sustitución a los 28 días



4.4.3 Prueba de Hipótesis Para los Resultados de Resistencia a la Compresión, Flexión y Tracción

4.4.3.1 Prueba de Hipótesis Para los Resultados de Resistencia a la Compresión

4.4.3.1.1 1er paso: Planteamiento de Hipótesis

- H_0 : La sustitución parcial del cemento por POV, no incrementa la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.

$$(H_0: \mu_{M_{POV}} \leq \mu_{M_{CP}} - \text{Test de una cola})$$

- H_a : La sustitución parcial del cemento por POV, incrementa la resistencia a la compresión del concreto $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$.

$$(H_a: \mu_{M_{POV}} > \mu_{M_{CP}} - \text{Test de una cola a la derecha})$$

Donde:

- $\mu_{M_{POV}}$ = Media de los datos de resistencia a la compresión del concreto, con distintos porcentajes de sustitución de cemento por POV.
- $\mu_{M_{CP}}$ = Media de los datos de resistencia a la compresión del CP.

4.4.3.1.2 2do paso: Nivel de Significancia

El nivel de significación es de $\alpha = 0.05$ o 5%.

4.4.3.1.3 3er paso: Seleccionar el Modelo Estadístico de Prueba Idóneo

Tabla 183

Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la compresión del concreto a los 7 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	121.70	129.86	136.70	116.05
Ensayo 2	122.20	129.27	135.54	115.13
Ensayo 3	114.30	135.48	137.48	115.88
# de muestras	3	3	3	3
M	119.80	132.77	136.70	115.69
S^2	12.00	12.00	0.33	0.13
$M_{POV}-M_{CP}$		12.97	16.90	-4.11
S_c		3.464	2.483	2.462
$T_{calculado}$		4.585	8.335	-2.043

Tabla 184

Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la compresión del concreto a los 14 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	155.74	153.51	159.52	140.03
Ensayo 2	145.54	153.73	159.38	139.96
Ensayo 3	137.33	156.26	159.89	141.25
# de muestras	3	3	3	3
M	146.54	154.68	159.57	140.46
S ²	37.66	1.33	0.04	0.25
M _{POV} -M _{CP}		8.14	13.04	-6.07
S _c		4.415	4.341	4.353
T _{calculado}		2.258	3.678	-1.709

Tabla 185

Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la compresión del concreto a los 28 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	207.61	214.58	222.00	210.21
Ensayo 2	209.51	217.42	221.27	214.67
Ensayo 3	216.58	213.57	224.26	209.46
# de muestras	3	3	3	3
M	211.10	216.07	222.43	211.79
S ²	11.93	3.00	1.33	5.33
M _{POV} -M _{CP}		4.97	11.33	0.70
S _c		2.732	2.575	2.938
T _{calculado}		2.230	5.391	2.191

4.4.3.1.4 4to paso: Formular Regla de Decisión

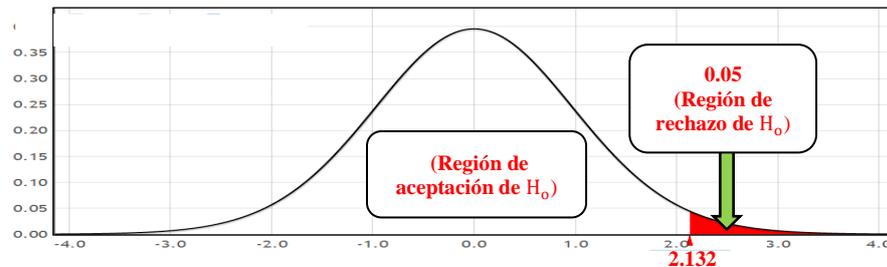
- Si $T_{\text{calculado}} > T_{\text{tabla}}$, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a .

- Si $T_{\text{calculado}} < T_{\text{tabla}}$, se acepta la H_0 y se rechaza la H_a .

Para un nivel de significación de 5% y para un grado de libertad de 4 corresponde $T_{\text{tabla}}=2.132$ el cual fue obtenido de la tabla estadística de distribución de “t de student” (ver anexo 16), teniendo en consideración de que se trata de una prueba de una cola a la derecha.

Figura 142

Gráfico general de la distribución “t de student” para datos de resistencia a la compresión ($\alpha=0.05$ y 4 grados de libertad)



Nota: Figura adaptada de Theoretical Distribution, por StatKey.com.

4.4.3.1.5 5to paso: Toma de Decisión

Tabla 186

Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la compresión a los 7 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
α	0.05	0.05	0.05	0.05
n_1+n_2-2	4.00	4.00	4.00	4.00
T_{tabla}	2.132	2.132	2.132	2.132
$T_{\text{calculado}}$		4.585	8.335	-2.043
Toma de decisión		Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a	Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a	Se acepta la H_0 y se rechaza la H_a

Tabla 187

Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la compresión a los 14 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
α	0.05	0.05	0.05	0.05
n_1+n_2-2	4.00	4.00	4.00	4.00
T_{tabla}	2.132	2.132	2.132	2.132
$T_{\text{calculado}}$		2.258	3.678	-1.709
Toma de decisión		Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a	Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a	Se acepta la H_0 y se rechaza la H_a

Tabla 188

Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la compresión a los 28 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
α	0.05	0.05	0.05	0.05
n_1+n_2-2	4.00	4.00	4.00	4.00
T_{tabla}	2.132	2.132	2.132	2.132
$T_{\text{calculado}}$		2.230	5.391	2.191
Toma de decisión		Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a	Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a	Se rechaza la H_0 y se acepta la H_a

4.4.3.1.6 6to paso: Decisión Respecto a la Hipótesis de Investigación

Con sustento en los resultados de las tablas 186, 187 y 188 se concluye que: se admite la hipótesis de la investigación la cual afirma que la sustitución parcial del cemento por puzolana de origen volcánico (POV), incrementa la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de

curado, además es importante resaltar que el porcentaje idóneo de sustitución en peso de cemento por puzolana de origen volcánico es del 10%.

4.4.4 Prueba de Hipótesis Para los Resultados de Resistencia a la Flexión

4.4.4.1 1er paso: Planteamiento de Hipótesis

Se va realizar la prueba de hipótesis sobre la diferencia de promedios, si la resistencia a la flexión del concreto incrementa con la sustitución parcial de cemento por puzolana de origen volcánico, en diferentes porcentajes (5%, 10% y 15%) del peso de cemento; en contraste a un CP, en tal sentido, es indispensable plantear tanto la hipótesis nula como la hipótesis alterna, dichas hipótesis se postularon de la siguiente manera:

- **H₀**: La sustitución parcial del cemento por puzolana de origen volcánico, no incrementa la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210$ **kg/cm²**.

$$(H_0: \mu_{M_{POV}} \leq \mu_{M_{CP}} - \text{Test de una cola})$$

- **H_a**: La sustitución parcial del cemento por puzolana de origen volcánico, incrementa la resistencia a la flexión del concreto $f'c=210$ **kg/cm²**.

$$(H_a: \mu_{M_{POV}} > \mu_{M_{CP}} - \text{Test de una cola a la derecha})$$

Donde:

- $\mu_{M_{POV}}$ = Media de los datos de resistencia a la flexión del concreto, con distintos porcentajes de sustitución de cemento por puzolana de origen volcánico.
- $\mu_{M_{CP}}$ = Media de los datos de resistencia a la flexión del concreto patrón.

4.4.4.2 2do paso: Nivel de Significancia

El nivel de significación es de $\alpha = 0.05$ o 5%.

4.4.4.3 3er paso: Seleccionar el Modelo Estadístico de Prueba Idóneo

Tabla 189

Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la flexión del concreto a los 7 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	19.13	17.88	16.24	15.79
Ensayo 2	18.85	17.83	16.14	15.83
Ensayo 3	18.93	18.08	16.77	15.85
# de muestras	3	3	3	3
M	18.96	17.93	16.39	15.82
S ²	0.01	0.01	0.06	0.00
M _{POV} -M _{CP}		-1.03	-2.58	-3.14
S _c		0.100	0.186	0.076
T _{calculado}		-12.593	-16.942	-50.339

Tabla 190

Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la flexión del concreto a los 14 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	23.90	26.89	28.22	27.19
Ensayo 2	25.54	26.26	26.84	26.42
Ensayo 3	26.39	26.97	26.99	26.10
# de muestras	3	3	3	3
M	25.15	26.69	28.01	26.52
S ²	0.69	0.07	1.33	0.17
M _{POV} -M _{CP}		1.55	2.86	1.38
S _c		0.618	1.006	0.657
T _{calculado}		3.067	3.487	2.569

Tabla 191

Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la flexión del concreto a los 28 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	28.90	30.89	32.38	27.87
Ensayo 2	30.59	30.81	31.99	27.84
Ensayo 3	29.25	30.41	31.83	27.24
# de muestras	3	3	3	3
M	29.74	30.71	32.04	27.62
S ²	0.33	0.03	0.04	0.06
M _{POV} -M _{CP}		0.97	2.31	-2.11
S _c		0.429	0.434	0.443
T _{calculado}		2.774	6.500	-5.838

4.4.4.4 4to paso: Formular Regla de Decisión

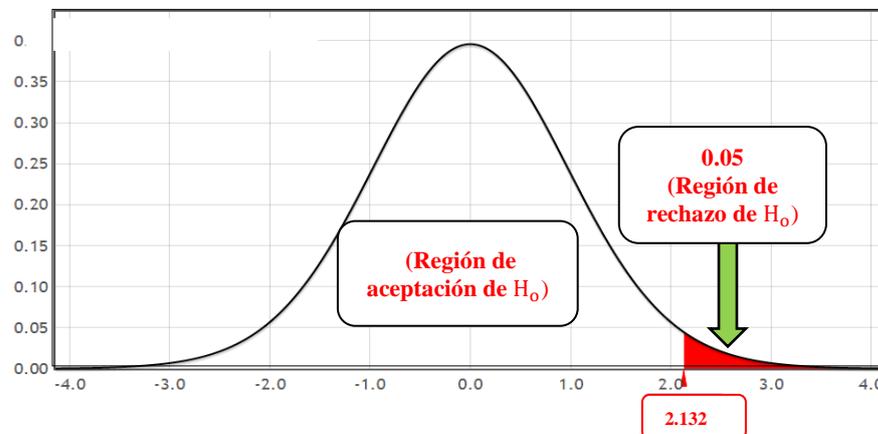
- Si $T_{\text{calculado}} > T_{\text{tabla}}$, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a .

- Si $T_{\text{calculado}} < T_{\text{tabla}}$, se acepta la H_0 y se rechaza la H_a .

En ese mismo contexto, para el nivel de significación de 5% y para un grado de libertad de 4 corresponde un valor de “ $T_{\text{tabla}}=2.132$ ”, el cual fue obtenido de la tabla estadística de distribución de “t de student” (ver anexo 16), teniendo en consideración de que se trata de una prueba unilateral o de una cola a la derecha, en ese contexto, se presenta el gráfico general de la distribución “t de student” para los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la flexión ($\alpha=0.05$ y 4 grados de libertad).

Figura 143

Gráfico general de la distribución “t de student” para datos de resistencia a la flexión ($\alpha=0.05$ y 4 grados de libertad)



Nota: Figura adaptada de Theoretical Distribution, por StatKey.com.

4.4.4.5 5to paso: Toma de Decisión

Tabla 192

Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la flexión del concreto a los 7 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
α	0.05	0.05	0.05	0.05
n_1+n_2-2	4.00	4.00	4.00	4.00
T_{tabla}	2.132	2.132	2.132	2.132
$T_{\text{calculado}}$		-12.593	-16.942	-50.339
Toma de decisión		Se acepta la Ho y se rechaza la Ha	Se acepta la Ho y se rechaza la Ha	Se acepta la Ho y se rechaza la Ha

Tabla 193

Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la flexión del concreto a los 14 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
α	0.05	0.05	0.05	0.05
n_1+n_2-2	4.00	4.00	4.00	4.00
T_{tabla}	2.132	2.132	2.132	2.132
$T_{\text{calculado}}$		3.067	3.487	2.569
Toma de decisión		Se rechaza la Ho y se acepta la Ha	Se rechaza la Ho y se acepta la Ha	Se rechaza la Ho y se acepta la Ha

Tabla 194

Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la flexión del concreto a los 28 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
α	0.05	0.05	0.05	0.05
n_1+n_2-2	4.00	4.00	4.00	4.00
T_{tabla}	2.132	2.132	2.132	2.132
$T_{\text{calculado}}$		2.774	6.500	-5.838
Toma de decisión		Se rechaza la Ho y se acepta la Ha	Se rechaza la Ho y se acepta la Ha	Se acepta la Ho y se rechaza la Ha

4.4.4.6 6to paso: Decisión Respecto a la Hipótesis de Investigación

Con sustento en las tablas 192, 193 y 194 se concluye que: la sustitución del 10% y 15% de cemento por POV, incrementa la resistencia a la flexión del concreto $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de curado, en cambio, la sustitución del 15% de cemento por POV, no incrementa la resistencia a la flexión del concreto $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de curado.

4.4.5 Prueba de Hipótesis Para los Resultados de Resistencia a la Tracción

4.4.5.1 1er paso: Planteamiento de Hipótesis

- H_0 : La sustitución parcial del cemento por puzolana de origen volcánico, no incrementa la resistencia a la tracción del concreto $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$.

$$(H_0: \mu_{M_{\text{POV}}} \leq \mu_{M_{\text{CP}}} - \text{Test de una cola})$$



- H_a : La sustitución parcial del cemento por puzolana de origen volcánico, incrementa la resistencia a la tracción del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.

$$(H_a: \mu_{M_{POV}} > \mu_{M_{CP}} - \text{Test de una cola a la derecha})$$

Donde:

- $\mu_{M_{POV}}$ = Media de los datos de resistencia a la tracción del concreto, con distintos porcentajes de sustitución de cemento por puzolana de origen volcánico.
- $\mu_{M_{CP}}$ = Media de los datos de resistencia a la tracción del concreto patrón.

4.4.5.2 2do paso: Nivel de Significancia

El nivel de significación es de $\alpha = 0.05$ o 5%.

4.4.5.3 3er paso: Seleccionar el Modelo Estadístico de Prueba Idóneo

Para probar la hipótesis se ha empleado el método paramétrico “t de student”, ya que se tiene variables independientes cuantitativas y menores a 30.

Tabla 195

Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la tracción del concreto a los 7 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	14.21	13.37	12.71	11.37
Ensayo 2	15.57	13.02	12.61	11.38
Ensayo 3	14.68	13.22	11.42	11.04
# de muestras	3	3	3	3
M	15.04	13.20	12.21	11.25
S ²	0.33	0.01	0.25	0.02
M _{POV} -M _{CP}		-1.84	-2.83	-3.79
S _c		0.417	0.539	0.419
T _{calculado}		-5.418	-6.441	-11.079

Tabla 196

Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la tracción del concreto a los 14 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	16.62	17.54	18.27	17.60
Ensayo 2	16.73	17.99	18.47	16.97
Ensayo 3	16.67	17.77	18.49	17.31
# de muestras	3	3	3	3
M	16.68	17.76	18.40	17.28
S ²	0.00	0.02	0.01	0.04
M _{POV} -M _{CP}		1.09	1.73	0.61
S _c		0.111	0.063	0.152
T _{calculado}		12.051	33.288	4.914

Tabla 197

Cálculos de estadísticos de prueba para datos de resistencia a la tracción del concreto a los 28 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	18.61	19.05	22.00	18.16
Ensayo 2	18.95	19.38	22.18	18.55
Ensayo 3	18.92	18.84	22.47	18.42
# de muestras	3	3	3	3
M	18.81	19.11	22.24	18.35
S ²	0.02	0.03	0.02	0.02
M _{POV} -M _{CP}		0.30	3.42	-0.46
S _c		0.158	0.145	0.130
T _{calculado}		2.292	28.917	-4.341

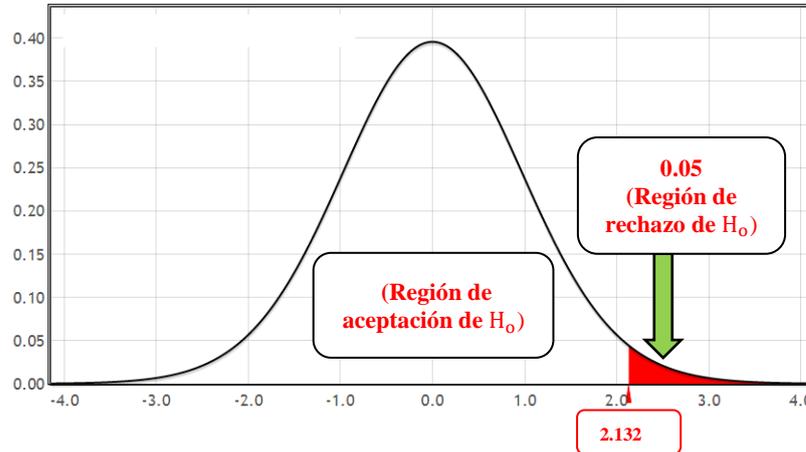
4.4.5.4 4to paso: Formular Regla de Decisión

- Si $T_{\text{calculado}} > T_{\text{tabla}}$, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a .
- Si $T_{\text{calculado}} < T_{\text{tabla}}$, se acepta la H_0 y se rechaza la H_a .

En ese mismo contexto, para el nivel de significación de 5% y para un grado de libertad de 4 corresponde un valor de " $T_{\text{tabla}}=2.132$ ", el cual fue obtenido de la tabla estadística de distribución de "t de student" (ver anexo 16), teniendo en consideración de que se trata de una prueba unilateral o de una cola a la derecha, en ese contexto, se presenta el gráfico general de la distribución "t de student" para los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la flexión ($\alpha=0.05$ y 4 grados de libertad).

Figura 144

Gráfico general de la distribución “t de student” para datos de resistencia a la tracción ($\alpha=0.05$ y 4 grados de libertad)



Nota: Figura adaptada de Theoretical Distribution, por StatKey.com.

4.4.5.5 5to paso: Toma de Decisión

Tabla 198

Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la tracción del concreto a los 7 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
α	0.05	0.05	0.05	0.05
n_1+n_2-2	4.00	4.00	4.00	4.00
T_{tabla}	2.132	2.132	2.132	2.132
$T_{\text{calculado}}$		-5.418	-6.441	-11.079
Toma de decisión		Se acepta la Ho y se rechaza la Ha	Se acepta la Ho y se rechaza la Ha	Se acepta la Ho y se rechaza la Ha

Tabla 199

Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la tracción del concreto a los 14 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
α	0.05	0.05	0.05	0.05
n_1+n_2-2	4.00	4.00	4.00	4.00
T_{tabla}	2.132	2.132	2.132	2.132
$T_{\text{calculado}}$		12.051	33.288	4.914
Toma de decisión		Se rechaza la Ho y se acepta la Ha	Se rechaza la Ho y se acepta la Ha	Se rechaza la Ho y se acepta la Ha

Tabla 200

Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de resistencia a la tracción del concreto a los 28 días

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
α	0.05	0.05	0.05	0.05
n_1+n_2-2	4.00	4.00	4.00	4.00
T_{tabla}	2.132	2.132	2.132	2.132
$T_{\text{calculado}}$		2.292	28.917	-4.341
Toma de decisión		Se rechaza la Ho y se acepta la Ha	Se rechaza la Ho y se acepta la Ha	Se acepta la Ho y se rechaza la Ha

4.4.5.6 6to paso: Decisión Respecto a la Hipótesis de Investigación

Con sustento en los resultados de las tablas 198, 199 y 200 se concluye que: la sustitución del 10% y 15% de cemento por puzolana de origen volcánico, incrementa la resistencia a la tracción del concreto $f'_c=210$ kg/cm² a los 28 días de curado, en cambio, la sustitución del 15% de cemento



por puzolana de origen volcánico, no incrementa la resistencia a la tracción del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de curado.

4.5 COMPROBACIÓN DE NORMALIDAD, EVALUACIÓN ESTADÍSTICA Y PRUEBA DE HIPÓTESIS DEL CONCRETO FRESCO

4.5.1 Test de Normalidad de Shapiro-Wilk Para los Resultados de Trabajabilidad

4.5.1.1 1er paso: Planteamiento de las Hipótesis

Primeramente, es indispensable plantear tanto una hipótesis nula como una hipótesis alterna, en ese entender, dichas hipótesis se postularon de la siguiente manera:

- **H₀**: Los datos de las pruebas de trabajabilidad del concreto sin/con sustitución parcial de cemento puzolana de origen volcánico, se ajustan a una distribución normal.
- **H_a**: Los datos de las pruebas de trabajabilidad del concreto sin/con sustitución parcial de cemento puzolana de origen volcánico, no se ajustan a una distribución normal.

4.5.1.2 2 do paso: Nivel de Significancia

Se optó por elegir el nivel de significación de 0.05 o 5%, en otras palabras, con un 95% de nivel de confianza, asimismo, es importante mencionar que para el nivel de significación de 5% y para tres muestras ($n=3$)

corresponde un valor de “ $W_{\text{tabla}}=0.767$ ”, el cual fue obtenido de las tablas estadísticas de Shapiro-Wilk (véase anexo 15).

4.5.1.3 3er paso: Cálculos del Estadístico de Prueba

Ahora bien, para el cálculo del estadístico de prueba de Shapiro-Wilk se utilizó las ecuaciones 1, 2, 3 y 4.

4.5.1.4 4to paso: Formular Regla de Decisión

- Si $W_{\text{calculado}} > W_{\text{tabla}}$, se acepta la H_0 y se rechaza la H_a .
- Si $W_{\text{calculado}} < W_{\text{tabla}}$, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a .

Complementariamente, se presentan la comprobación de normalidad de los datos de trabajabilidad (véase tabla 201).

Tabla 201

Comprobación de normalidad de los datos trabajabilidad del concreto sin y con sustitución de cemento por POV

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Medición 1	9.2	8.8	8.0	7.7
Medición 2	9.0	8.9	8.3	7.6
Medición 3	9.1	8.6	7.9	7.4
M	9.1	8.8	8.1	7.6
a_i	0.7071	0.7071	0.7071	0.7071
z	0.141	0.212	0.283	0.212
Q	0.020	0.047	0.087	0.047
$W_{\text{calculado}}$	1.000	0.964	0.923	0.964
W_{tabla}	0.767	0.767	0.767	0.767
H_0	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta

4.5.1.5 5to paso: Toma de Decisión

Con base a lo anteriormente expuesto, para cada grupo de concreto evaluado se cumple que el valor de $W_{\text{calculado}}$ supera al valor de W_{tabla} , por lo tanto, se acepta la H_0 y se rechaza la H_a , en definitiva, se concluye que los datos obtenidos en las pruebas de trabajabilidad del concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV, se ajustan a una distribución normal.

4.5.2 Análisis Estadístico Para los Resultados de Trabajabilidad

Se construyó el cuadro estadístico de distribución de frecuencias, las medidas de centralización y dispersión, histograma de frecuencias y la distribución normal.

4.5.2.1 Análisis Estadístico de la Trabajabilidad del CP

Tabla 202

Datos Slump del CP

Muestra	X_i
CP	9.20
CP	9.00
CP	9.10

Tabla 203

Tabla de distribución frecuencias Slump del CP

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * X_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[9.00 - 9.07>	9.03	1	1	9.03	-0.07	0.00	0.004
[9.07 - 9.13>	9.10	1	2	9.10	0.00	0.00	0.000
[9.13 - 9.20>	9.17	1	3	9.17	0.07	0.00	0.004

Tabla 204

Medidas de centralización y dispersión Slump del CP

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.20
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.07
Media (M)	9.10
Mediana (M_e)	9.10
Moda (M_o)	-
Varianza (σ^2)	0.00
Desviación estándar (σ)	0.07
Coefficiente de variación (CV)	0.73

Figura 145

Histograma de frecuencias Slump del CP

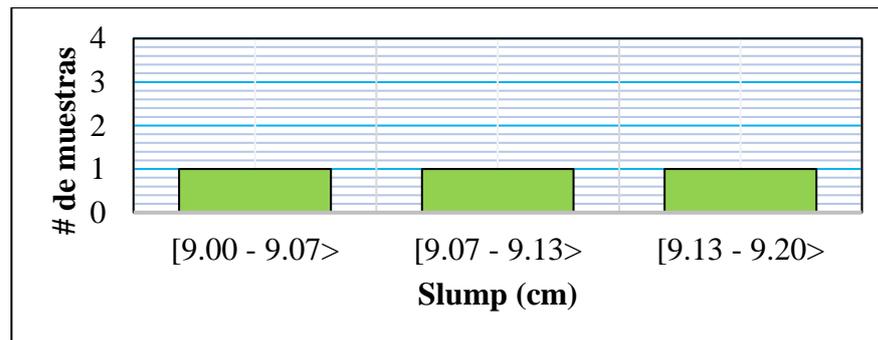
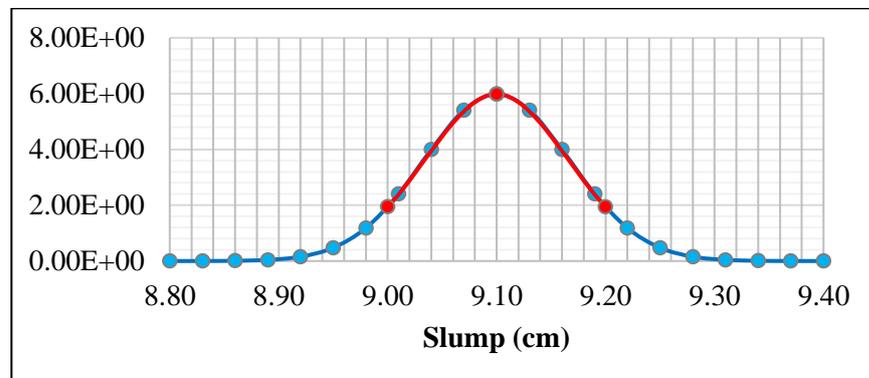


Figura 146

Distribución normal Slump del CP



4.5.2.2 Análisis Estadístico de la Trabajabilidad del CP con Sustitución del 5% de Cemento por POV

Tabla 205

Datos Slump del CP con 5% de sustitución

Muestra	X_i
CP	8.80
CP	8.90
CP	8.60

Tabla 206

Tabla de distribución frecuencias Slump del CP con 5% de sustitución

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i \cdot X_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i \cdot (x_i - M)^2$
[8.60 - 8.70>	8.65	1	1	8.65	-0.10	0.01	0.01
[8.70 - 8.80>	8.75	1	2	8.75	0.00	0.00	0.00
[8.80 - 8.90>	8.85	1	3	8.85	0.10	0.01	0.01

Tabla 207

Medidas de centralización y dispersión Slump del CP con 5% de sustitución

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.30
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.10
Media (M)	8.75
Mediana (M_e)	8.75
Moda (M_o)	-
Varianza (σ^2)	0.01
Desviación estándar (σ)	0.10
Coefficiente de variación (CV)	1.14

Figura 147

Histograma de frecuencias Slump del CP con 5% de sustitución

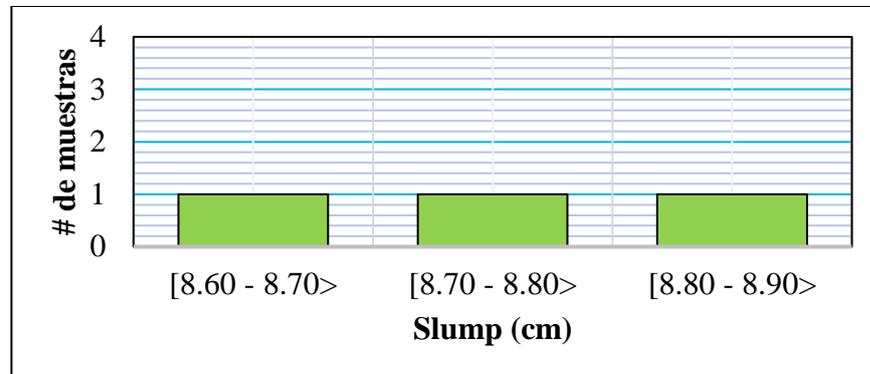
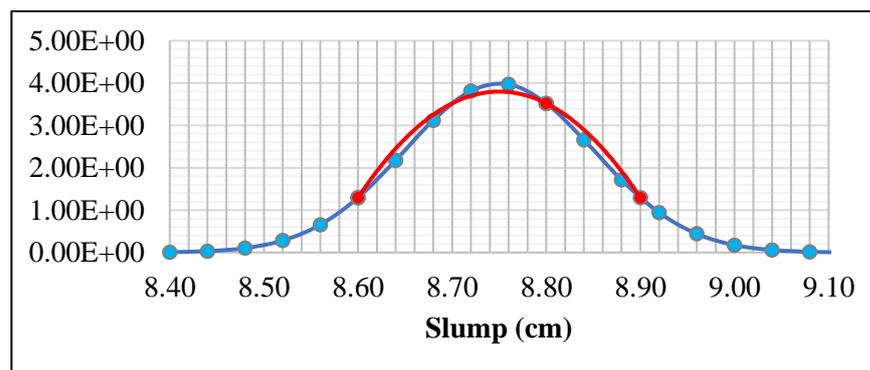


Figura 148

Distribución normal Slump del CP con 5% de sustitución



4.5.2.3 Análisis Estadístico de la Trabajabilidad del CP con Sustitución del 10% de Cemento por POV

Tabla 208

Datos Slump del CP con 10% de sustitución

Muestra	X_i
CP	8.00
CP	8.30
CP	7.90

Tabla 209

Tabla de distribución frecuencias Slump del CP con 10% de sustitución

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * X_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[7.90 - 8.03>	7.97	2	2	15.93	-0.09	0.01	0.02
[8.03 - 8.17>	8.10	0	2	0.00	0.04	0.00	0.00
[8.17 - 8.30>	8.23	1	3	8.23	0.18	0.03	0.03

Tabla 210

Medidas de centralización y dispersión Slump del CP con 10% de sustitución

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.40
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.13
Media (M)	8.06
Mediana (M_e)	8.00
Moda (M_o)	7.97
Varianza (σ^2)	0.02
Desviación estándar (σ)	0.15
Coefficiente de variación (CV)	1.91

Figura 149

Histograma de frecuencias Slump del CP con 10% de sustitución

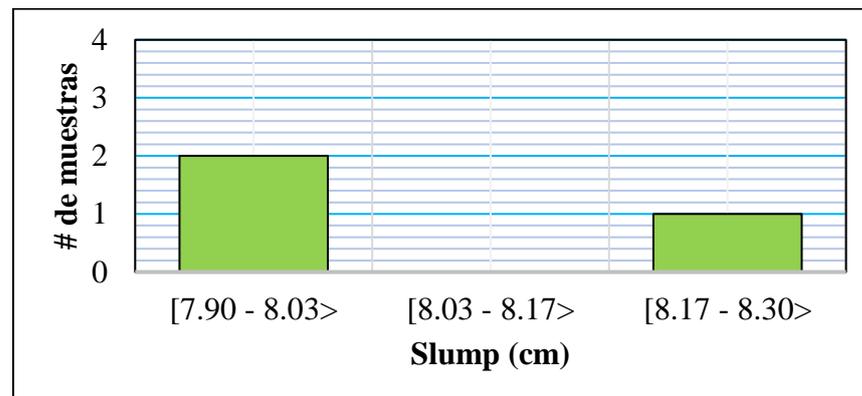
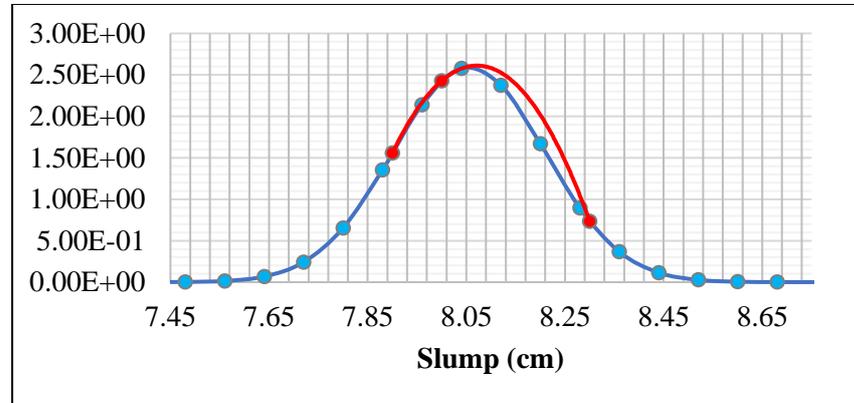


Figura 150

Distribución normal Slump del CP con 10% de sustitución



4.5.2.4 Análisis Estadístico de la Trabajabilidad del CP con Sustitución del 15% de Cemento por POV

Tabla 211

Datos Slump del CP con 15% de sustitución

Muestra	X_i
CP	7.70
CP	7.60
CP	7.40

Tabla 212

Tabla de distribución frecuencias Slump del CP con 15% de sustitución

Intervalos de clase	x_i	f_i	F_i	$f_i * X_i$	$x_i - M$	$(x_i - M)^2$	$f_i * (x_i - M)^2$
[7.94 - 7.50>	7.45	1	1	7.45	-0.10	0.01	0.01
[7.50 - 7.60>	7.55	1	2	7.55	0.00	0.00	0.00
[7.60 - 7.70>	7.65	1	3	7.65	0.10	0.01	0.01

Tabla 213

Medidas de centralización y dispersión Slump del CP con 15% de sustitución

Descripción	Resultados
# de muestras (N)	3.00
Rango (R)	0.30
Número de intervalos (K)	3.00
Amplitud (c)	0.10
Media (M)	7.55
Mediana (M_e)	7.55
Moda (M_o)	-
Varianza (σ^2)	0.01
Desviación estándar (σ)	0.10
Coefficiente de variación (CV)	1.32

Figura 151

Histograma de frecuencias Slump del CP con 15% de sustitución

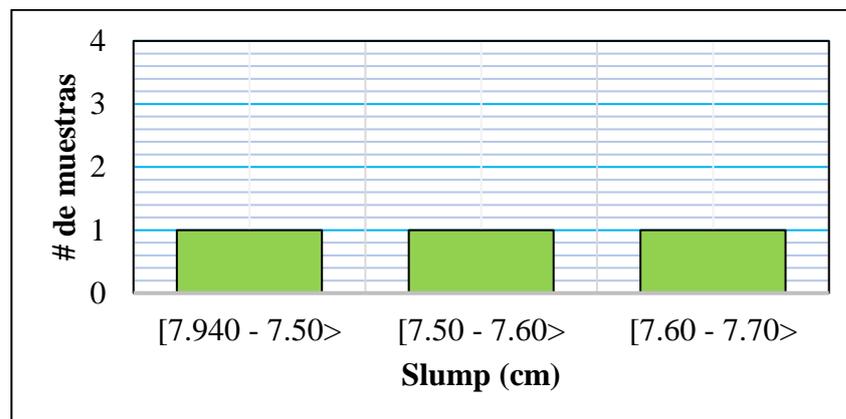
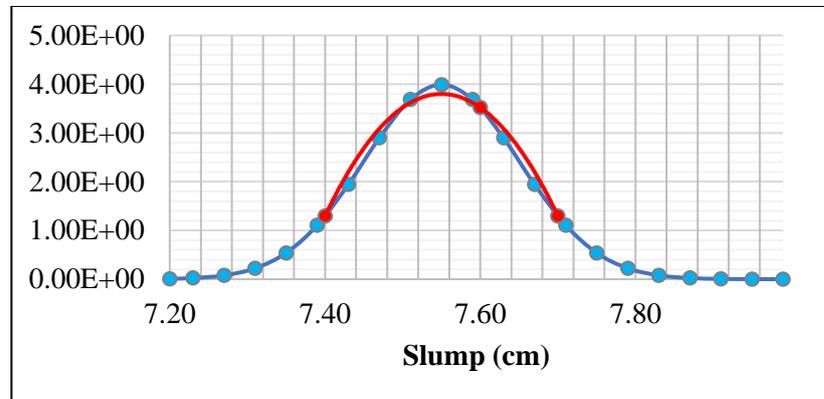


Figura 152

Distribución normal Slump del CP con 15% de sustitución



4.5.3 Prueba de Hipótesis Para los Resultados del Slump

4.5.3.1 1er paso: Planteamiento de las Hipótesis

Se va realizar la prueba de hipótesis sobre la diferencia de promedios, si la trabajabilidad del concreto en estado fresco mejora con la sustitución de cemento por POV, en diferentes porcentajes (5%, 10% y 15%) del peso de cemento; en contraste a un CP.

- **H₀**: La sustitución parcial del cemento por POV, no mejora la trabajabilidad del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en estado fresco.

$$(H_0: \mu_{M_{POV}} \leq \mu_{M_{CP}} - \text{Test de una cola})$$

- **H_a**: La sustitución parcial del cemento por POV, mejora la trabajabilidad del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en estado fresco.

$$(H_a: \mu_{M_{POV}} > \mu_{M_{CP}} - \text{Test de una cola a la derecha})$$

Donde:

- $\mu_{M_{POV}}$ = Media de los datos de trabajabilidad del concreto, con distintos porcentajes de sustitución de cemento por POV.
- $\mu_{M_{CP}}$ = Media de los datos de trabajabilidad del CP.

4.5.3.2 2do paso: Nivel de Significancia

El nivel de significación es de $\alpha = 0.05$ o 5%.

4.5.3.3 3er paso: Seleccionar el Modelo Estadístico de Prueba Idóneo

Tabla 214

Cálculos de estadísticos de prueba “t de student” para datos de trabajabilidad del concreto sin y con sustitución de cemento por POV

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
Ensayo 1	9.20	8.80	8.00	7.70
Ensayo 2	9.00	8.90	8.30	7.60
Ensayo 3	9.10	8.60	7.90	7.40
# de muestras	3	3	3	3
M	9.10	8.75	8.06	7.55
S ²	0.00	0.01	0.02	0.01
M _{POV} -M _{CP}		-0.35	-1.04	-1.55
S _c		0.085	0.119	0.085
T _{calculado}		-5.044	-10.783	-22.338

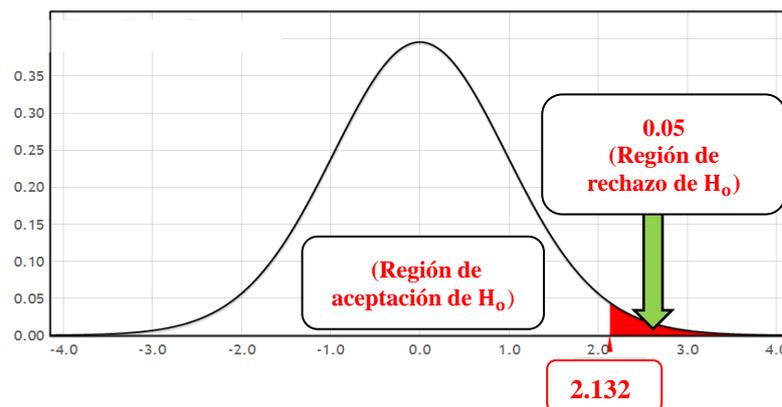
4.5.3.4 4to paso: Formular Regla de Decisión

- Si $T_{calculado} > T_{tabla}$, se rechaza la H_0 y se acepta la H_a .
- Si $T_{calculado} < T_{tabla}$, se acepta la H_0 y se rechaza la H_a .

Complementariamente, para un nivel de significación de 5% y para un grado de libertad de 4 corresponde un valor de $T_{\text{tabla}}=2.132$, el cual fue obtenido de la tabla estadística de distribución de “t de student” (ver anexo 16), teniendo en consideración de que se trata de una prueba de una cola a la derecha, a continuación, se presenta el gráfico general de la distribución “t de student” para los datos de las pruebas de trabajabilidad del concreto sin y con sustitución de cemento por POV ($\alpha=0.05$ y 4 grados de libertad).

Figura 153

Gráfico general de la distribución “t de student” para datos de trabajabilidad ($\alpha=0.05$ y 4 grados de libertad)



Nota: Figura adaptada de Theoretical Distribution, por StatKey.com.

4.5.3.5 5to paso: Toma de Decisión

Tabla 215

Toma de decisión en base a los estadísticos de prueba para datos de trabajabilidad del concreto sin y con sustitución parcial de cemento por POV

Descripción	CP	CP con 5% de sustitución	CP con 10% de sustitución	CP con 15% de sustitución
α	0.05	0.05	0.05	0.05
n_1+n_2-2	4.00	4.00	4.00	4.00
T_{tabla}	2.132	2.132	2.132	2.132
$T_{\text{calculado}}$		-5.044	-10.783	-22.338
Toma de decisión		Se acepta la H_0 y se rechaza la H_a	Se acepta la H_0 y se rechaza la H_a	Se acepta la H_0 y se rechaza la H_a

4.5.3.6 6to paso: Decisión Respecto a la Hipótesis de Investigación

Al realizar la evaluación para cada grupo de concreto se cumple que $T_{\text{calculado}} < T_{\text{tabla}}$ es por esta razón que se acepta la H_0 y se rechaza la H_a (véase tabla 97), en ese contexto, se concluye que: se admite la hipótesis de la investigación la cual afirma que la sustitución parcial del cemento por POV, no mejora la trabajabilidad del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en estado fresco.

4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.6.1 Para la Resistencia a la Compresión

En su investigación Briones (2023), señala que a los 28 días la resistencia a la compresión para concretos $f'c 280 \text{ kg/cm}^2$ con sustituciones de cemento por POV en



8%, 12% y 16% se incrementan a 301.41, 289.86 y 282.50 kg/cm² respectivamente. Por su lado, Collantes (2017) indica que a los 28 días la resistencia a la compresión para un concreto patrón $f'c$ 250 kg/cm² es 265.15 kg/cm², pero al integrarle sustituciones parciales de cemento por POV en 10%, 15% y 20% incrementó a 314.70, 287.00 y 274.71 kg/cm² correspondientemente. Asimismo, conforme a Dahiru et al. (2019) a los 28 días de curado la resistencia a la compresión para un concreto normal es de 270.22 kg/cm², pero que al sustituirle en 5% y 10% el peso del cemento por POV se alcanzaron resistencias superiores de 276.34 y 293.68 kg/cm² respectivamente. En este estudio de investigación, a los 28 días el CP $f'c$ 210 kg/cm² alcanzo una resistencia a la compresión de 211.23 kg/cm², pero al sustituir el cemento por POV en 5%, 10% y 15% con respecto al peso del cemento aumentó a 215.19, 222.51 y 211.45 kg/cm² respectivamente; se concluye que los resultados concuerdan ya que las puzolanas de origen volcánico tienen propiedades cementantes, por lo que son capaces de sustituir al cemento parcialmente, sin embargo, se observa también que existe una reducción significativa de la resistencia a la compresión para porcentajes de sustitución mayores a 10%.

4.6.2 Para la Resistencia a la Flexión

Abdulazeez et al. (2020), señala que los valores de resistencia a la flexión para concretos con sustituciones del 5%, 7.5%, 10%, y 15% superaron al concreto patrón, mientras que la sustitución del 20% presento una disminución de su resistencia en comparación con el concreto patrón. Asimismo, Collantes (2017) indica que a los 28 días de curado la resistencia a la flexión para un concreto normal alcanzó un valor



promedio de 43.34 kg/cm^2 , pero que al incluirle sustituciones porcentuales de cemento por POV en 10%, 15% y 20% aumentó a 45.89, 44.61 y 44.36 kg/cm^2 correspondientemente. De igual manera, Mendoza (2017) señala que a los 60 días de curado la resistencia a la flexión para un concreto patrón $f'c$ 210 kg/cm^2 alcanzó un valor promedio de 24 kg/cm^2 , pero que al sustituirle porcentualmente el cemento por POV en 10%, 15% y 20% se obtuvo valores de 28, 23 y 20 kg/cm^2 respectivamente. En esta investigación, a los 28 días el CP alcanzo una resistencia a la compresión de 29.58 kg/cm^2 , pero al sustituirle parcialmente el cemento por POV en 5%, 10% y 15% se alcanzaron valores de 30.71, 32.07 y 27.65 kg/cm^2 respectivamente; en función a los resultados contrastados se concluye que la resistencia a la flexión concuerda ya que las diferencias son minúsculas.

4.6.3 Para la Resistencia a la Tracción

Corimanya (2023), señala que a los 28 días la resistencia a la tracción promedio para un CP es de 23.1 kg/cm^2 , pero que al incluirle sustituciones porcentuales de cemento por POV en 5%, 10% y 15% se alcanzaron valores de 24.0, 26.33 y 21.1 kg/cm^2 respectivamente. Por su parte, Abdulazeez et al. (2020) indican que a los 28 días de curado los valores de resistencia a la tracción más altos se alcanzaron con porcentajes de sustitución de 7.5%, 10% y 12%, mientras que con 15% de sustitución se alcanzó la misma resistencia a tracción del concreto patrón. Asimismo, Dahiru et al. (2019) señalan que los mayores valores de resistencia a tracción se alcanzaron con porcentajes de sustitución de 5% y 10% en contraste con un concreto patrón, ya que la resistencia a tracción del concreto patrón fue de



26.92 kg/cm² y de los concretos con sustituciones del 5% y 10% fueron de 27.53 y 28.25 kg/cm² respectivamente. En este estudio de investigación, a los 28 días el CP alcanzó una resistencia un valor de resistencia a tracción de 18.83 kg/cm², pero al sustituir el cemento por POV en 5%, 10% y 15% se alcanzaron resistencias de 19.09, 22.22 y 18.38 kg/cm² respectivamente; en función a los resultados contrastados se concluye que la resistencia a la tracción concuerda ya que las diferencias son ínfimas, además, es importante resaltar que existe una reducción significativa con referencia a la resistencia a tracción con porcentajes mayores a 10%.

4.6.4 Para el Slump del Concreto

Corimanya (2023), en su investigación señala que el Slump para un concreto patrón es 9.8 centímetros, pero al sustituir POV en 5%, 10% y 15% con respecto al peso del cemento se reduce a 9.3, 8.5 y 7.4 centímetros respectivamente. Por su parte, Huacasi (2022) indica que el Slump para un concreto patrón es 10.16 centímetros, pero al sustituir el cemento por POV en 5%, 10% y 15% disminuye a 10.15, 8.89 y 7.62 centímetros correspondientemente. Además, Collantes (2017) señala que el Slump para un concreto normal tiene un valor de 9.88 centímetros, pero al sustituir el cemento por POV en 10%, 15% y 20% se reduce a 9.35, 9.00 y 8.77 centímetros correspondientemente. Ahora bien, en esta investigación el mayor valor del Slump fue para el concreto patrón con 9.1 centímetros, a diferencia de los concretos con sustituciones del 5%, 10% y 15% de cemento por POV los cuales presentaron un Slump de 8.80, 8.10 y 7.60 centímetros respectivamente, en general, los resultados de otras investigaciones coinciden con este estudio, ya que se observa una reducción del



Slump pero pese a ello se mantienen dentro de los límites para ser considerados trabajables; los resultados demuestran que la cantidad de agua necesaria para una hidratación completa de la mezcla se ve reducida a medida que la cantidad la cantidad de puzolana de origen volcánico sustituida en la mezcla sea mayor.

4.6.5 Para el Costo del Concreto

Teniendo en consideración que para el análisis de costos por m³ de concreto no se tuvieron en cuenta la mano de obra y el equipo empleado, en ese contexto, Huacasi (2022) en su investigación señala que el CP tuvo un costo de S/ 275.93, pero al sustituirle porcentualmente el cemento por POV en 5%, 10% y 15% se reduce a S/ 272.15, S/ 268.61 y S/ 264.73 respectivamente. De igual forma, Mendoza (2017) indica que el CP tuvo un costo de S/ 207.97, pero al sustituirle parcialmente el cemento por POV en 10%, 15% y 20% se aminora a S/ 193.07, S/ 185.62 y S/ 178.17 correspondientemente. Asimismo, Corimanya (2023) señala que el CP tuvo un costo de S/ 582.84, pero al sustituirle porcentualmente el cemento por POV en 5%, 10% y 15% se reduce a S/ 573.46, S/ 563.88 y S/ 554.50 respectivamente. En esta investigación, el costo del CP fue de S/. 272.11, mientras tanto el costo del concreto con sustitución parcial de cemento por POV en 5%, 10% y 15% fue de S/ 262.32, S/ 252.53 y S/ 242.74 respectivamente; en función a los resultados contrastados se concluye que se observa una reducción significativa del costo en la medida en que se incrementa el porcentaje de sustitución de cemento por POV, el motivo por el cual los costos se aminoran es porque las POV son económicas ya que es un material que no tiene un costo por lo que solo se toma en consideración su extracción y transporte.



V. CONCLUSIONES

- De acuerdo al objetivo general, se concluye que la sustitución parcial del cemento Portland Tipo I por POV en el concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, mejora parcialmente las propiedades del mismo, puesto que, a los 28 días para todos los porcentajes de sustitución de cemento por POV de esta investigación existe un incremento de la resistencia a la compresión. En cuanto a las demás propiedades evaluadas, así como la resistencia a la flexión y tracción se determinó que la sustitución de cemento por POV en porcentajes menores o iguales a 10% influyen de manera positiva en los mismos, por el contrario, con porcentajes mayores a 10%, existe una tendencia a la reducción de sus valores. Con respecto a la trabajabilidad, la sustitución de cemento por POV en todos los casos influye de manera negativa en el Slump. Por último, con relación al costo m^3 de concreto se llega a la conclusión de que a mayor porcentaje de sustitución de cemento por POV se aminoran los costos.
- Se concluye en base a los resultados que a los 28 días la sustitución de cemento por POV en el concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en porcentajes de 5%, 10% y 15% incrementan la resistencia a la compresión en 2.47%, 5.96% y 0.69% en comparación con la resistencia de diseño respectivamente, por ende, mejora la resistencia a la compresión, Adicionalmente, es fundamental resaltar que el porcentaje idóneo de sustitución de cemento por POV es 10%.
- Se concluye que a los 28 días la sustitución de cemento por POV en el concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en porcentajes de 5% y 10% incrementan la resistencia a la flexión en 3.80% y 8.40% en comparación con la resistencia del CP correspondientemente, por el



contrario, con el porcentaje de 15% de sustitución se presentó una disminución del 6.53% con respecto al CP, además, es importante resaltar que el porcentaje idóneo de sustitución de cemento por POV es 10%.

- Con respecto a la resistencia a la tracción, se concluye que a los 28 días la sustitución de cemento por POV en el concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en porcentajes de 5% y 10% incrementan la resistencia a la tracción en 1.40% y 18.03% en comparación con la resistencia del CP respectivamente, por el contrario, con el porcentaje de 15% de sustitución se presentó una disminución del 2.39% con respecto al CP, además, es importante resaltar que el porcentaje idóneo de sustitución de cemento por POV es 10%.
- Con referencia a la trabajabilidad, se concluye que la sustitución de cemento por POV en el concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en porcentajes de 5%, 10% y 15% tiene una influencia negativa ya que reduce el asentamiento en 3.30%, 10.99% y 16.48% con respecto al asentamiento del CP respectivamente.
- Con respecto al costo por m^3 de concreto, se concluye que la sustitución de cemento por POV del 5%, 10% y 15% en el concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ reduce notablemente el costo por m^3 en 3.60%, 7.19% y 10.79% con respecto al costo por m^3 del CP correspondientemente. Sin embargo, es necesario enfatizar que a pesar que el porcentaje de sustitución del 15% de cemento por POV es el más económico, se descarta, puesto que sus valores de resistencia a la flexión y tracción a los 28 días son menores que los valores alcanzados por el CP.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a futuras investigaciones calibrar las máquinas y equipos necesarios para todos los ensayos tanto en concreto endurecido como en estado fresco; estos dispositivos deben encontrarse en óptimas condiciones, debido a que una falla o error mecánico provocará que los valores de los resultados alcanzados se alteren.
- Con respecto a la resistencia a la compresión, no se recomienda utilizar incrementos mayores al 15% de sustitución de cemento por POV en el concreto, debido a que a partir de dicho valor la resistencia a la compresión disminuye en comparación con la resistencia a la compresión de diseño.
- Con respecto a los ensayos de resistencia a la flexión, se recomienda tener mucho cuidado en la elaboración de los especímenes prismáticos, dado que dichos especímenes son muy pesados lo cual implica que son muy sensibles a la manipulación y transporte durante su elaboración y curado.
- Con respecto a los ensayos de resistencia a la tracción, se recomienda utilizar el ensayo de tracción indirecta o por compresión diametral del concreto, debido a que es posible utilizar los mismos moldes, prensas y sistemas de curado de los ensayos de resistencia a la compresión, además de que el ensayo de tracción indirecta es un ensayo más simple y económico en comparación con el ensayo de tracción directa.
- Cuando se requiera concretos con buena trabajabilidad, no se recomienda utilizar la POV como sustituto del cemento Portland Tipo I, dado que a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de la POV en el concreto, la trabajabilidad se reduce.



- En cuanto al costo, se recomienda no utilizar incrementos mayores al 10% de sustitución de cemento por POV en el concreto, dado que a pesar de que al superar dicho valor se presenta una considerable reducción en los costos, las propiedades del concreto se ven afectadas de manera negativa lo cual no es conveniente.



VII. REFERENCIAS

- Abanto, F. (2017). *Tecnología del concreto* (3ra ed.). Editorial San Marcos.
- Abdulazeez, A., Idi, M., Justin, T., & Hamza, B. (2020). *Strength Performance of Concrete Produced with Volcanic Ash as Partial Replacement of Cement*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).
- Acevedo, J. (2010). *Caracterización de la ceniza volcánica del Tungurahua para la fabricación de un aglomerante cal-puzolana*. [Monografía previa a la obtención del título, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional.
- Aguilar, M., & Mamarandi, J. (2020). *Incidencia de la adición de la ceniza volcánica en las propiedades físico-mecánicas del adoquín*. [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional.
- Alarcon, J. (2020). *Influencia de las partículas chatas y alargadas del agregado grueso en la trabajabilidad, contenido de aire y peso unitario del concreto $f'c=175, 210$ y 280 kg/cm² en estado fresco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén].
- Alea, V., Jiménez, E., Muñoz, C., & Viladomiu, N. (2016). *Estadística I (ADE): teoría y ejercicios* (1ra ed.). Facultad de Administración, Universidad de Barcelona.
- Apaza, F., Churata, R., Tupayachi, P., Almiron, J., & Velazco, F. (2018). *Estudio de la ceniza de volcanes peruanos como materia prima para la industria de la construcción*. En Libro de resúmenes: VIII Foro Internacional los Volcanes y su Impacto.
- Apaza, F., Churata, R., Tupayachy, P., Almiron, J., Perez, L., Hermosa, M., & Velazco, F. (2021). *La ceniza volcánica en la obtención de geopolímeros como alternativa en la industria de la construcción*. Sociedad Geológica del Perú - SGP.
- Arias, J. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. (1ra ed.). Enfoques Consulting EIRL.



- Beltran, B., & Gutierrez, K. (2024). *Mejoramiento de las propiedades del concreto en condiciones climáticas frías mediante la adición de ceniza volcánica - Puno, 2023* [Tesis de pregrado, UCV]. Repositorio Institucional.
- Beltrán, K., & Ccama, F. (2017). *Análisis comparativo de concretos adicionados con puzolanas artificiales de ceniza de cascarilla de arroz (CCA), fly ash y puzolana natural*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].
- Briones, D. (2023). *Influencia del reemplazo de cemento por puzolana volcánica en la resistencia a compresión del concreto compactado $f'c$ 280 kg/cm² en la ciudad de Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Caiza, C. (2022). *Puzolanidad de las cenizas del volcán cumbre vieja de la Palma*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Catalunya]. Repositorio Institucional.
- Callohuanca, J. (2023). *Optimización de las propiedades del concreto usando zeolitas naturales en Pavimentos rígidos, Jr. Asillo, Ayaviri, Puno, 2023* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional.
- Campos, E. (2017). *Determinación de las propiedades físico mecánicas de los agregados extraídos de las canteras “Josecito” y “Manuel Olano” y su influencia en la calidad de concreto $f'c = 250$ kg/cm², en la ciudad de Jaén* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional.
- Carrera, C., & Lino, J. (2021). *Efectos de la ceniza volcánica en la resistencia a la compresión y en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable $f'c$ 210 kg/cm², Lima 2021* [Tesis de pregrado, UCV]. Repositorio Institucional.
- Casadevall, T. (1994). *Volcanic ash and aviation safety; proceedings of the First international symposium on Volcanic ash and aviation safety*. USA: U.S. Geological Survey Bulletin 2047. doi:<https://doi.org/10.3133/b2047>



- Castro, E. (2020). *Estudio de la sustitución parcial de cemento de alta resistencia inicial por puzolana de ceniza volcánica en el diseño de hormigón*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional.
- Çolak, A. (2003). *Characteristics of pastes from a Portland cement containing different amounts of natural pozzolan..* ScienceDirect.
- Collantes, E. (2017). *Estudio de las propiedades del concreto con adición de puzolana volcánica en Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Corimanya, R. (2023). *Influencia de la ceniza volcánica en el concreto f'c 210 kg/cm2, de la Cantera la Poderosa, Arequipa, 2022* [Tesis de pregrado, UCV].
- Corominas, O., & Martí, J. (2015). *Estudio comparativo de los planes de actuación frente al riesgo volcánico (Chile, Costa Rica, El Salvador, Ecuador, España, México y Nicaragua)*. Revista Geológica de América Central.
- Cruz, E. (2018). *Caracterización físico química de la puzolana de la localidad de Tacna para determinar su poder cementante*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman de Tacna]. Repositorio Institucional.
- Dahiru, D., Ibrahim, M., & Gado, A. (2019). *Evaluation of the Effect of Volcanic Ash on the Properties of concrete*. African Journals Online (AJOL), Vol. 12.
- Díaz, M. (2010). *Correlación entre la porosidad y la resistencia del concreto* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional.
- Flores, C., & Flores, K. (2021). *Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov*. Societas (Revista de ciencias sociales y humanísticas), Vol. 23.
- Fragoso, J., & Visbal, J. (2021). *El uso de la puzolana de origen natural en concreto hidráulico*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cartagena].



- Galeas, E., & Guzmán, F. (2019). *Propuesta de dosificación de hormigón reemplazando el cemento en diferentes porcentajes de peso, con ceniza volcánica del Tungurahua*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional.
- Gamarra, G., Wong, F., Pujay, O., & Rivera, T. (2015). *Estadística e Investigación con aplicaciones de SPSS* (1ra ed.). Editorial San Marcos.
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción* (2da ed.). Editorial Universidad Nacional de Colombia - Manizales.
- Harmsen, T. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado* (4ta ed.). Fondo Editorial.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). MCGRAW-HILL / Interamericana editores S.A.
- Hossain, K. (2005). *Performance of Volcanic Ash Based Precast and In Situ Blended Cement Concretes in Marine Environment*. Journal of Materials in Civil Engineering.
- Huacasi, R. (2022). *Influencia de puzolana toba volcánica en la resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 210kg/cm², Juliaca 2022* [Tesis de pregrado, UCV].
- Instituto Nacional de Calidad. (2011). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen y los vacíos en agregados* (NTP 400.017).
- Instituto Nacional de Calidad-INACAL. (2012). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo* (NTP 339.079) (3ra ed.).
- Instituto Nacional de Calidad-INACAL. (2012). *CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo* (NTP 339.033).
- Instituto Nacional de Calidad-INACAL. (2013). *AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)* [NTP 400.011].
- Instituto Nacional de Calidad-INACAL. (2013). *CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos*. (NTP 334.009) (5ta ed.).



- Instituto Nacional de Calidad-INACAL. (2015). *AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo* (NTP 400.043) (2da ed.).
- Instituto Nacional de Calidad-INACAL. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland* (NTP 339.035).
- Instituto Nacional de Calidad-INACAL. (2016). *AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras* (NTP 400.010) (3ra ed.).
- Instituto Nacional de Calidad-INACAL. (2017). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica* (NTP 339.084) (3ra ed.).
- Instituto Nacional de Calidad-INACAL. (2018). *AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos* (NTP 400.037) (4ta ed.).
- Instituto Nacional de Calidad-INACAL. (2018). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global* (NTP 400.012) (3ra ed.).
- Instituto Nacional de Calidad. (2018). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa y absorción del agregado fino* (NTP 400.022).
- Instituto Nacional de Calidad. (2018). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa y absorción del agregado grueso* (NTP 400.021).
- Instituto Nacional de Calidad-INACAL. (2019). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Pórtland. Requisitos* (NTP 339.088) (3ra ed.).
- Instituto Nacional de Calidad-INACAL. (2020). *CEMENTOS. Cementos hidráulicos adicionados. Requisitos* (NTP 334.090) (8va ed.).
- Instituto Nacional de Calidad. (2021). *AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. (NTP 339.185).
- Instituto Nacional de Calidad. (2021). *CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo*. (NTP 339.034).



- Jarre, C., Howland, J., Guerrero, M., & Brito, S. (2017). *Impacto de la utilización de puzolanas naturales ecuatorianas*. Revista de Investigaciones en Energía Medio Ambiente y Tecnología RIEMAT, Vol. 2. doi:10.33936/riemat.v2i1.931
- Juárez, B. (2012). *La utilización de cáscaras de arroz bajo el proceso de calcinación controlada como puzolana artificial en el diseño de morteros para acabados*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto* (1ra ed.). Portland Cement Association.
- LLumigusin, L., & Pallango, M. (2022). *Utilización de la ceniza volcánica, con diferentes métodos de activación puzolánica, para la estabilización de suelos con resistencia a compresión menor a 80 kn/m²*. [Tesis de pregrado, Escuela Politecnica Nacional].
- López, M., & Castro, J. (2010). *Effect of natural pozzolans on porosity and pore connectivity of concrete with time*. Revista Ingeniería de Construcción.
- Martínez, C. (2012). *Estadística y muestreo* (13ava ed.). Ecoe Ediciones.
- Mendoza, A. (2017). *Determinación de las propiedades físico-mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm² con adición de puzolana volcánica en Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones* (Norma E.060 - Concreto Armado).
- Molina, T. (2021). *Análisis comparativo de las cenizas volcánicas provenientes de los volcanes Cotopaxi, Pululahua, Chalupas, Guagua Pichincha y Tungurahua; para su uso en la fabricación de concreto*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional.



- Mollo, B., & Rosas, J. (2019). *Influencia del agregado grueso sobre las propiedades del concreto de resistencia $f'c=210$ kg/cm²* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional.
- Muñoz, R. (2017). *Estudio comparativo de concreto elaborado con puzolana natural y concreto con cementos puzolánicos atlas en la ciudad de Huancayo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional.
- Nilson, A. (2001). *Diseño de estructuras de concreto* (11ava ed.). McGRAW-HILL. O
- Niño, J. (2010). *Tecnología del concreto (materiales, propiedades y diseño de mezclas)* (3ra ed.). Asociación Colombiana de Productores de Concreto.
- Novales, A. (2010). *Análisis de regresión*. Universidad Complutense de Madrid.
- Olawuyi, B., & Olusola, K. (2010). *Compressive Strength of Volcanic Ash/Ordinary Portland Cement Laterized Concrete*. Civil Engineering Dimension, Vol. 12.
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto* (2da ed.). Ediciones Colegio de Ingenieros del Perú.
- Posada, G. (2016). *Elementos básicos de estadística descriptiva para el análisis de datos* (1ra ed.). Fondo Editorial Luis Amigó.
- Ramos, J., Del Aguila, V., & Bazalar, A. (2017). *Estadística básica para los negocios* (1ra ed.). Fondo editorial Universidad de Lima.
- Rivera, G. (2002). *Concreto simple* (1ra ed.). Universidad del Cauca - Colombia.
- Rivva Lopez, E. (2005). *Diseño de mezclas* (2da ed.). Editorial Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Rochel, R. (2007). *Hormigón reforzado* (1ra ed.). Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Salazar, A. (2001). *Estudio y transformación de puzolanas naturales en productos de alta actividad para uso en la industria de la construcción*. (1ra ed.). ECOMAT S.A.



- Sánchez, Á. (2022). *Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir el cemento por ceniza volcánica*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato].
- Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (5ta ed.). Bhandar Editores.
- Sánchez, E., Mejía, F., Vizcaíno, G., & Cipriani, I. (2017). *Ánalisis mineralógico y multielemental de la ceniza volcánica, producto de la erupción del Cotopaxi en 2015*.
- Sobrevilla, B. (2016). *El cemento como material esencial para edificaciones que purifiquen el aire, absorbiendo gases de efecto invernadero*. Grupo Civilizate.
- Stewart, C., Horwell, C., Plumlee, G., Cronin, S., Delmelle, P., Baxter, P., Oppenheimer, C. (2013). *Protocol for analysis of volcanic ash samples for assessment of hazards from leachable elements*. USGS Planetary Science.
- Susanti, R., Tambunan, R., Waruwu, A., & Syamsuddin, M. (2018). *Studies on concrete by partial replacement of cement with volcanic ash*. Journal of Applied Engineering.
- Taylor, H., & Lichte, F. (1980). *Chemical composition of Mount St. Helens volcanic ash*. USA: Geophysical Research Letters. doi: <https://doi.org/10.1029/GL007i011p00949>
- Toapanta, S., Gamez, E., & Jimpikit, N. (2021). *Utilización de ceniza volcánica en la fabricación de materiales de construcción*. Revista Polo del Conocimiento.
- Tobon, J. (2001). *Puzolanas en los alrededores de Irra*. [Artículo científico, Universidad Nacional de Colombia]. Departamento de Recursos Minerales.
- Villasís, M., Miranda, M., & Arias, J. (2016). *El protocolo de investigación III: la población de estudio*. Revista Alergia México, Vol. 63.
- Villegas, C. (2012). *Utilización de puzolanas naturales en la elaboración de prefabricados con base cementicia destinados a la construcción de viviendas de bajo costo*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional.
- Yáñez, P. (2016). *Biometría y Bioestadística fundamentales*. Universidad Iberoamericana del Ecuador, Vol. 1. doi:<https://doi.org/10.23857/pc.v8i3.5284>.



ANEXOS

- ANEXO 1:** Ficha técnica de cemento Portland tipo I de marca “Wari” (42.5 kg).
- ANEXO 2:** Certificado de los ensayos ejecutados en laboratorio de construcciones.
- ANEXO 3:** Certificados de calibración de las máquinas y equipos utilizados en laboratorio.
- ANEXO 4:** Resultados de los ensayos de contenido de humedad de los agregados y POV.
- ANEXO 5:** Resultados de ensayos de peso específico y absorción de los agregados y POV.
- ANEXO 6:** Resultados de peso unitario suelto/compactado de los agregados y POV.
- ANEXO 7:** Resultados del análisis granulométrico del A°G°.
- ANEXO 8:** Resultados del análisis granulométrico del A°F°.
- ANEXO 9:** Resultados del análisis granulométrico de la POV.
- ANEXO 10:** Resultados del diseño de mezcla por el método ACI 211 para concreto $f'c=210$ kg/cm² sin y con sustitución de cemento por POV.
- ANEXO 11:** Resultados de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto $f'c=210$ kg/cm² sin/con sustitución de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días.
- ANEXO 12:** Resultados de resistencia a la flexión de especímenes prismáticos de concreto $f'c=210$ kg/cm² sin y con sustitución de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días.
- ANEXO 13:** Resultados de resistencia a la tracción de especímenes cilíndricos de concreto $f'c=210$ kg/cm² sin y con sustitución de cemento por POV a los 7, 14 y 28 días.
- ANEXO 14:** Cotización de transporte de la POV puesta en la ciudad de Puno.
- ANEXO 15:** Coeficientes y niveles de significación para el contraste de Shapiro-Wilk.
- ANEXO 16:** Tabla de distribución “t” de Student.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo HAROLD JOAQUÍN SANDOVAL MAYTA,
identificado con DNI 703 66 591 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
“ INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO
POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO EN LAS PROPIEDADES
DEL CONCRETO $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ EN LA CIUDAD DE PUNO, 2023 ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 13 de DICIEMBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo HAROLD JOAQUIN SANDOVAL MAYTA,
identificado con DNI 70366591 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO
POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO EN LAS PROPIEDADES
DEL CONCRETO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ EN LA CIUDAD DE PUNO, 2023”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 13 de DICIEMBRE del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella