



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



**INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE ESCORIA NEGRA SOBRE
PORCENTAJES DEL AGREGADO GRUESO EN LAS
PROPIEDADES DEL CONCRETO DE $F'C = 210 \text{ KG/CM}^2$ PARA
PAVIMENTOS RÍGIDOS DE LA CIUDAD DE PUNO, 2020**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. WASHINGTON JORGE CHILI VILCA

Bach. RICHARD ELIO PINEDA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO - PERÚ

2023



NOMBRE DEL TRABAJO

**INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE ESCORIA
A NEGRA SOBRE PORCENTAJES DEL AG
REGADO GRUESO EN LAS PROPIEDADES
DEL CONCRETO DE F'C = 210 KG/CM² P
ARA PAVIMENTOS RÍGIDOS DE LA CIUD
AD DE PUNO - 2020**

AUTOR

**CHILI VILCA WASHINGTON JORGE - PIN
EDA QUISPE RICHARD ELIO**

RECuento de palabras

70888 Words

RECuento de caracteres

330919 Characters

RECuento de páginas

324 Pages

Tamaño del archivo

15.0MB

Fecha de entrega

Jun 15, 2023 1:08 PM GMT-5

Fecha del informe

Jun 15, 2023 1:12 PM GMT-5

● **11% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Firmado digitalmente por CASTILLO
ARONI Emilio FAU 20145496170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 15.06.2023 13:20:52 -05:00

V°B°

Firmado digitalmente por CASTILLO
ARONI Emilio FAU 20145496170
soft
Motivo: Doy V°B°
Fecha: 15.06.2023 13:21:23 -05:00

Resumen



DEDICATORIA

A mis padres Antonia y Cornelio y hermanos Alfredo y Wilberth son las personas que me han ofrecido el amor y la calidez de la familia, quienes siempre me animaron, apoyaron y me contagiaron su fe cuando dudaba y me mostraron la senda de la vida; a mis maestros, a mis amigas(os), que me ayudaron y alentaron a lo largo de estos años, sé que estas palabras no son suficientes para expresar mi profundo agradecimiento, pero espero que con ellas, se den a entender mis sentimientos de afecto, aprecio y cariño a todos ellos. (Washy)



*A Dios por su gracia y bendiciones, a mis padres, Marcelino que me ilumina desde arriba y Teodora por su confianza, compañía, consejos y apoyo incondicional en mi formación profesional; a mis hermanos Roxana y Edgar quienes con sus palabras de aliento me ayudan a seguir adelante. A todos ellos les ofrezco mi agradecimiento por ser mi soporte en todo. ¡Gracias por todo! **Richard Elio Pineda Quispe***



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a Dios todopoderoso, a nuestra alma mater Universidad Nacional del Altiplano Puno en particular a la Escuela Profesional de ingeniería civil. En especial a la plana docente por impartir sus conocimientos, orientaciones y consejos en la formación profesional, para aportar trabajo responsable, seguro y de calidad.

Nuestra sincera gratitud a los integrantes del honorable jurado calificador presidido por el Mg.Sc. Walter Hugo Lipa Condori e integrado por Mg.Sc. Yasmani Teófilo Vitulas Quille y Mtr.C. Silvia Leonor Ingaluque Arapa; por las recomendaciones y correcciones brindadas al trabajo de investigación.

Agradecemos al excelentísimo Mtr. Ing. Emilio Castillo Aroni, por su asesoría, dirección y apoyo constante; finalmente a nuestros compañeros y amigos, por su apoyo desinteresado, por compartir sus conocimientos experiencias y anécdotas inolvidables.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 42

ABSTRACT..... 43

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 44

1.1.1 Problema general 46

1.1.2 Problemas específicos 46

1.2 JUSTIFICACIÓN 47

1.3 OBJETIVOS..... 49

1.3.1 Objetivo general 49

1.3.2 Objetivos específicos..... 49

1.4 HIPÓTESIS 50

1.4.1 Hipótesis general 50

1.4.2 Hipótesis específicas 50

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... 51

2.1.1 Antecedentes internacionales 51

2.1.2 Antecedentes nacionales..... 54



2.2 DEFINICIÓN DEL CONCRETO.....	55
2.2.1 Componentes del concreto	56
2.2.2 Cemento.....	57
2.2.3 Agregados.....	58
2.2.3.1 Clasificación de los agregados.....	58
2.2.3.2 Según su procedencia.....	59
2.2.3.2.1 Agregados naturales.....	59
2.2.3.2.2 Agregados artificiales.....	59
2.2.3.2.3 Según su textura y forma superficial.....	59
2.2.3.2.4 Según su tamaño.....	61
2.2.3.2.5 Según su densidad.....	62
2.2.4 Agregado fino.....	62
2.2.5 Agregado grueso.....	62
2.2.6 Agua para el concreto.....	62
2.2.7 Aditivos	63
2.2.8 Propiedades del concreto.....	63
2.2.8.1 Propiedad de concreto fresco.....	63
2.2.8.1.1 Trabajabilidad o manejabilidad.....	64
2.2.8.1.2 Segregación.....	64
2.2.8.1.3 Exudación.....	65
2.2.9 Propiedades del concreto en estado endurecido	65
2.2.9.1 Resistencia.....	65
2.2.9.1.1 Resistencia a la compresión.....	66
2.2.9.1.2 Resistencia a la tracción.....	66
2.2.9.1.3 Resistencia a flexión.....	67
2.2.10 Diseño de mezclas de concreto	67
2.3 ESCORIAS SIDERÚRGICAS	68



2.3.1 Antecedentes históricos de la utilización de escorias.....	68
2.3.2 Definición del acero	68
2.3.3 Clasificación del acero	69
2.3.4 Definición de las escorias siderúrgicas.....	69
2.3.5 Procesos de obtención de escorias.....	70
2.3.6 Tipos de escorias siderúrgicas	72
2.3.6.1 Escoria de horno eléctrico de arco (EAF).....	73
2.3.6.1.1 Proceso de obtención de la E°N°	74
2.3.6.1.2 Composición mineralógica E°N°.....	75
2.3.6.1.3 Composición química de E°N°	76
2.3.6.1.4 Caracterización física de la E°N°	77
2.3.6.1.5 Propiedades físicas E°N°	77
2.4 PAVIMENTOS RÍGIDOS	78

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA	80
3.1.1 Tipo de investigación	80
3.1.2 Nivel de investigación	80
3.1.3 Diseño de investigación.....	80
3.1.4 Población y muestra	80
3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	83
3.2.1 Datos y variables	84
3.2.2 Distribución de frecuencias	85
3.2.3 Representaciones gráficas	85
3.2.4 Rango de datos (R)	86
3.2.5 Número de intervalos de clase (NI).....	86
3.2.6 Medidas de centralización o de tendencia central	87



3.2.6.1 Media aritmética (u).....	87
3.2.6.2 Mediana (u_m).....	88
3.2.6.3 Moda (u_o).	88
3.2.7 Medidas de dispersión	89
3.2.7.1 Varianza (σ^2).....	89
3.2.7.2 Desviación estándar (σ).	90
3.2.7.3 Coeficiente de variación (CV).	90
3.2.8 Diseño de prueba de hipótesis.	91
3.2.9 Medidas de asimetría.....	92
3.2.9.1 Coeficiente de asimetría de Pearson.	94
3.2.9.2 Distribución normal o distribución de Gauss.	94
3.2.10 Distribución t de Student.....	95
3.2.10.1 Media aritmética (u).....	95
3.2.10.2 Desviación estándar (σ).	95
3.3 MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	96
3.3.1 Cemento.....	97
3.3.2 Agregados.....	97
3.3.2.1 Descripción y ubicación de la cantera.	98
3.3.2.2 Determinación de la potencia o capacidad de la cantera.	99
3.3.3 Escoria negra (E°N°).....	101
3.3.3.1 Ubicación.	102
3.3.3.2 Volumen.....	103
3.3.4 Agua	104
3.4 ENSAYOS REALIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	104
3.4.1 Ensayos realizados en los agregados y E°N°	105
3.4.1.1 Contenido de humedad de A°G°, A°F° y E°N°.....	106
3.4.1.1.1 Normas técnicas.	107



3.4.1.1.2 Resultados obtenidos.....	108
3.4.1.2 Peso específico y absorción del A°G° y E°N°.....	109
3.4.1.2.1 Normas técnicas.	110
3.4.1.2.2 Resultados obtenidos.....	112
3.4.1.3 Peso específico y absorción del A°F°.....	113
3.4.1.3.1 Normas técnicas.	114
3.4.1.3.2 Resultados obtenidos.....	116
3.4.1.4 Peso unitario y porcentaje de vacíos del A°G°, E°N° y A°F°.....	116
3.4.1.4.1 Normas técnicas.	117
3.4.1.4.2 Resultados obtenidos A°G° y E°N°.....	117
3.4.1.4.3 Agregado fino.	121
3.4.2 Ensayo y análisis de granulometría de los agregados y E°N°.....	122
3.4.2.1 Granulometría de A°G° y E°N°.....	123
3.4.2.1.1 Tamaño máximo de los agregados (TM).	123
3.4.2.1.2 Tamaño máximo nominal (TMN).....	124
3.4.2.1.3 Normas técnicas.	124
3.4.2.1.4 Resultados obtenidos del análisis granulométrico del A°G°.	126
3.4.2.1.5 Resultados obtenidos de la granulometría de la E°N°.	127
3.4.2.2 Granulometría del agregado fino.	128
3.4.2.2.1 Normas técnicas.	128
3.4.2.2.2 Resultados obtenidos de A°F°.	128
3.4.3 Módulo de fineza de los A°G°, E°N° y A°F°.....	129
3.4.3.1 Normas técnicas.....	130
3.4.3.2 Módulo de fineza del A°G°.	130
3.4.3.3 Módulo de fineza de la E°N°.	130
3.4.3.4 Módulo de fineza del A°F°.	130
3.5 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO.....	130



3.5.1	Diseño de mezcla para un concreto convencional por método ACI 211	131
3.5.1.1	Consideraciones de diseño.....	131
3.5.1.2	Información de los resultados de los ensayos de los agregados y E°N°.	132
3.5.1.3	Elección de la resistencia media a partir de la resistencia especificada.	133
3.5.1.4	Selección del asentamiento.....	134
3.5.1.5	Determinación del agua para el diseño de mezclas.	135
3.5.1.6	Elección del contenido de aire.	135
3.5.1.7	Determinación de la relación agua - cemento por resistencia.	136
3.5.1.8	Determinación del factor cemento.....	138
3.5.1.9.	Determinación del contenido de A°G°.	138
3.5.1.10	Cálculo del volumen absoluto del cemento, agua, aire y A°G°.	139
3.5.1.11	Cálculo de volumen absoluto del agregado fino.....	140
3.5.1.12	Cálculo de los pesos secos del A°F° y demás componentes de la pasta.	141
3.5.1.13	Corrección de los agregados por humedad y absorción.	141
3.5.1.13.1	Agregado fino.	142
3.5.1.13.2	Agregado grueso.	142
3.5.1.13.3	Cálculo de agua efectiva.	142
3.5.1.14	Corrección de los agregados por humedad y absorción del diseño de mezcla del concreto con y sin adición de E°N° sobre porcentajes de A°G°	143
3.6	ELABORACIÓN DEL CONCRETO F’C = 210 KG/CM² SIN Y CON ADICIÓN DE E°N°	144
3.6.1	Elaboración de probetas cilíndricas.....	144
3.6.1.1	Normas técnicas.....	145
3.6.1.2	Equipos requeridos para el ensayo.....	145
3.6.1.3	Descripción para el procedimiento de ensayo.	145



3.6.2 Elaboración probetas prismáticas	146
3.6.2.1 Normas técnicas.....	147
3.6.2.2 Equipos requeridos para el ensayo.....	147
3.6.2.3 Descripción para el procedimiento de ensayo.	147
3.7 ENSAYO DE CONSISTENCIA DEL CONCRETO FRESCO SIN Y CON ADICIÓN DE E°N°	148
3.7.1 Normas técnicas	149
3.7.2 Equipos requeridos para el ensayo	149
3.7.3 Descripción para el procedimiento de ensayo	149
3.7.4 Resultados obtenidos de prueba Slump.....	150
3.8 ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO DEL CC SIN Y CON ADICIÓN DE E°N°.....	151
3.8.1 Ensayo para la determinación de la densidad del CC con y sin adición de E°N°.....	151
3.8.1.1 Normas técnicas.....	152
3.8.1.2 Equipos requeridos para el ensayo.....	152
3.8.1.3 Descripción para el procedimiento de ensayo.	152
3.8.1.4 Resultados obtenidos de la densidad del CC y del CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N°	152
3.8.2 Prueba de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas.....	153
3.8.2.1 Normas técnicas.....	154
3.8.2.2 Equipos requeridos para el ensayo.....	154
3.8.2.3 Descripción para el procedimiento de ensayo.	154
3.8.2.4 Cálculo de f^c de las probetas cilíndricas.	155
3.8.3 Prueba de resistencia a la flexión, con carga puntual de la probeta prismática	156
3.8.3.1 Normas técnicas.....	156
3.8.3.2 Equipos requeridos para el ensayo.....	156



3.8.3.3 Descripción para el procedimiento de ensayo a flexión.	156
3.9 DISEÑO DEL ESPESOR DE LA LOSA DEL PAVIMENTO RÍGIDO POR AASHTO 93	158
3.9.1 Periodo de diseño del pavimento.....	158
3.9.2 Determinación de índice de serviciabilidad para pavimento rígido	159
3.9.3 Factor de confiabilidad para el diseño estructural del pavimento	160
3.9.4 Error estándar combinado (So) para el diseño estructural del pavimento....	161
3.9.5 Coeficiente de transferencia de carga (J) para el diseño estructural del pavimento	162
3.9.6 Coeficiente de drenaje (Cd) para el diseño estructural del pavimento	163
3.9.7 Determinación del tránsito (ESALs) para el pavimento rígido	164
3.9.7.1 Selección crecimiento anual de tránsito (r).....	165
3.9.7.2 Cálculo de número de ejes equivalentes (ESAL).	166
3.9.8 Cálculo del módulo de reacción de la subrasante (k).....	167
3.9.9 Cálculo del módulo de elasticidad del concreto (E _c).....	169
3.9.10 Módulo de rotura del concreto (S'C)	169
3.9.11 Determinación del espesor de losa de pavimento rígido (D)	170
3.10 ANÁLISIS DE CU DEL PAVIMENTO RÍGIDO SIN Y CON ADICIÓN DE E°N° PARA LOS DIFERENTES ESPESORES.....	173

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ASPECTOS GENERALES DE DISCUSIÓN	179
4.2 RESULTADOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS DE CANTERA CUTIMBO	179
4.3 RESULTADOS DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL A°G°, A°F° Y E°N°	180
4.4 RESULTADOS DE PESO UNITARIO SUELTO DE A°G°, A°F° Y E°N°	182



4.5 RESULTADOS DE PESO UNITARIO COMPACTADO DE A°G°, A°F° Y E°N°	184
.....	
4.6 RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA DE A°G°, A°F° Y E°N°	185
4.6.1 Interpretación de análisis granulométrico del A°G° y E°N°	185
4.7 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL A°F°	186
4.8 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE MÓDULO DE FINEZA DE A°G°, A°F° Y E°N°	187
.....	
4.9 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL CC EN ESTADO FRESCO	189
4.9.1 Revenimiento del concreto adicionado con E°N° sobre porcentajes del A°G°	189
.....	
4.9.1.1 Interpretación de resultados.	189
4.9.1.2 Comprobación de normalidad de las muestras de trabajabilidad.	191
4.9.1.3 Evaluación estadístico y comprobación de hipótesis de trabajabilidad.	192
4.9.1.3.1 Evaluación estadístico de la trabajabilidad del CC con 10% de E°N°.	192
.....	
4.9.1.3.2 Comprobación de hipótesis de trabajabilidad del CC con 10% de E°N°.	193
.....	
4.9.1.3.3 Evaluación estadístico de la trabajabilidad del CC con 20% de E°N°.	195
.....	
4.9.1.3.4 Comprobación de hipótesis de trabajabilidad del CC con 20% de E°N°	195
.....	
4.9.1.3.5 Evaluación estadístico de la trabajabilidad del CC con 30% de E°N°.	196
.....	
4.9.1.3.6 Comprobación de hipótesis de trabajabilidad del CC con 30% de E°N°.	197
.....	
4.9.1.3.7 Evaluación estadístico de la trabajabilidad del CC con 40% de E°N°.	198
.....	
4.9.1.3.8 Comprobación de hipótesis de trabajabilidad del CC con 40% de E°N°.	199
.....	



4.10.2.2.5 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 10% de E°N° a los 14 días.	225
4.10.2.2.6 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 10% de E°N° a los 28 días.	227
4.10.2.2.7 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 20% de E°N° a los 7 días.	229
4.10.2.2.8 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 20% de E°N° a los 14 días.	231
4.10.2.2.9 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 20% de E°N° a los 28 días.	233
4.10.2.2.10 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 30% de E°N° a los 7 días.	235
4.10.2.2.11 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 30% E°N° a los 14 días.	237
4.10.2.2.12 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 30% E°N° a los 28 días.	239
4.10.2.2.13 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 40% de E°N° a los 7 días.	241
4.10.2.2.14 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 40% de E°N° a los 14 días.	243
4.10.2.2.15 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 40% de E°N° a los 28 días.	245
4.10.2.3 Comprobación de hipótesis de la resistencia a la compresión por distribución normal.	247
4.10.2.3.1 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 10% de E°N° a 7 días.	247
4.10.2.3.2 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 10% de E°N° a 14 días.	248
4.10.2.3.3 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 10% de E°N° a 28 días.	249



4.10.2.3.4 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 20% de E°N° a 7 días	250
4.10.2.3.5 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 20% de E°N° a 14 días	250
4.10.2.3.6 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 20% de E°N° a 28 días	251
4.10.2.3.7 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 30% de E°N° a 7 días	252
4.10.2.3.8 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 30% de E°N° a 14 días	253
4.10.2.3.9 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 30% de E°N° a 28 días	253
4.10.2.3.10 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 40% de E°N° a 7 días	254
4.10.2.3.11 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 40% de E°N° a 14 días	255
4.10.2.3.12 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 40% de E°N° a 28 días	256
4.10.2.4 Comprobación de hipótesis de la resistencia a la compresión por t de Student	256
4.10.2.4.1 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 10% de E°N° a los 7 días	257
4.10.2.4.2 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 10% de E°N° a los 7 días	258
4.10.2.4.3 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 20% de E°N° a los 7 días	259
4.10.2.4.4 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 20% de E°N° a los 7 días	260
4.10.2.4.5 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 30% de E°N° a los 7 días	261



4.10.2.4.6 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 30% de E°N° a los 7 días.....	261
4.10.2.4.7 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 40% de E°N° a los 7 días.....	262
4.10.2.4.8 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 40% de E°N° a los 7 días.....	263
4.10.2.4.9 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 10% de E°N° a los 14 días.....	264
4.10.2.4.10 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 10% de E°N° a los 14 días	265
4.10.2.4.11 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 20% de E°N° a los 14 días.....	266
4.10.2.4.12 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 20% de E°N° a los 14 días	267
4.10.2.4.13 Análisis estadístico para resistencia a la compresión con 30% de E°N° a los 14 días.....	268
4.10.2.4.14 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 30% de E°N° a los 14 días.....	268
4.10.2.4.15 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 40% de E°N° a los 14 días.....	269
4.10.2.4.16 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 40% de E°N° a los 14 días.	270
4.10.2.4.17 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 10% de E°N° a los 28 días.....	271
4.10.2.4.18 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 10% de E°N° a los 28 días.	272
4.10.2.4.19 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 20% de E°N° a los 28 días.....	273
4.10.2.4.20 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 20% de E°N° a los 28 días.	274



4.10.2.4.21 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 30% de E°N° a los 28 días	275
4.10.2.4.22 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 30% de E°N° a los 28 días.....	275
4.10.2.4.23 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 40% de E°N° a los 28 días.....	276
4.10.2.4.24 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 40% de E°N° a los 28 días.....	277
4.10.3 Comparación de la resistencia a la flexión de las viguetas prismáticas	278
4.10.3.1 Comprobación de normalidad de los resultados del ensayo de flexión.	281
4.10.3.2 Evaluación estadístico de resistencia al esfuerzo de flexión.	282
4.10.3.2.1 Evaluación estadístico de resistencia a la flexión del CC a los 28 días.	283
4.10.3.2.2 Evaluación estadístico de resistencia a la flexión del CC con 10% de E°N° a los 28 días.....	285
4.10.3.2.3 Evaluación estadístico de resistencia a la flexión del CC con 20% de E°N° a los 28 días.....	287
4.10.3.2.4 Evaluación estadístico de resistencia a la flexión del CC con 30% de E°N° a los 28 días.....	289
4.10.3.2.5 Análisis estadístico de resistencia a la flexión del CC con 40% de E°N° a los 28 días.....	291
4.10.3.3 Comprobación de hipótesis de resistencia a la flexión.....	293
4.10.3.3.1 Comprobación de hipótesis de resistencia a la flexión de CC con 10% de E°N° a 28 días.....	293
4.10.3.3.2 Comprobación de hipótesis de resistencia a la flexión de CC con 20% de E°N° a 28 días.....	294
4.10.3.3.3 Comprobación de hipótesis de resistencia a la flexión de CC con 30% de E°N° a 28 días.....	294



4.10.3.3.4 Comprobación de hipótesis de resistencia a la flexión de CC con 40% de E°N° a 28 días.	295
4.10.3.4 Evaluación estadístico y comprobación de hipótesis con t de Student	296
4.10.3.4.1 Evaluación estadístico de resistencia a la flexión de CC con 10% de E°N° a los 28 días.	296
4.10.3.4.2 Comprobación de hipótesis de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 10% de E°N° a los 28 días.	297
4.10.3.4.3 Evaluación estadístico de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 20% de E°N° a los 28 días.	298
4.10.3.4.4 Comprobación de hipótesis de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 20% de E°N° a los 28 días.	299
4.10.3.4.5 Evaluación estadístico de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 30% de E°N° a los 28 días.	300
4.10.3.4.6 Comprobación de hipótesis de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 30% de E°N° a los 28 días.	301
4.10.3.4.7 Evaluación estadístico de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 40% de E°N° a los 28 días.	302
4.10.3.4.8 Comprobación de hipótesis de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 40% de E°N° a los 28 días.	302
4.11 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESPESOR DE PAVIMENTO CON Y SIN ADICIÓN DE E°N°	303
4.12 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE C.U DEL PAVIMENTO SIN Y CON ADICIÓN DE E°N°	305
4.13 CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS	309
4.13.1 Cumplimiento del primer objetivo específico planteado.	309
4.13.2 Cumplimiento del segundo objetivo específico planteado.	311
4.13.3 Cumplimiento del tercer objetivo específico planteado	311
4.13.4 Cumplimiento del cuarto objetivo específico planteado	312
4.13.5 Cumplimiento del quinto objetivo específico planteado	313



4.14 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO GENERAL PLANTEADO.....	314
V. CONCLUSIONES	315
5.1 CONCLUSIÓN GENERAL.....	315
5.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS	315
VI RECOMENDACIONES	318
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	319
ANEXOS.....	325

Línea de investigación: Construcciones y Gerencia.

Área: Tecnología de los materiales en la construcción.

Tema: Influencia de la E°N° en las propiedades del concreto.

Fecha de sustentación: 24 de julio del 2023



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Características técnicas del cemento Portland tipo IP de Rumi.....	58
Tabla 2	Sistematización de las características de los agregados según su forma.	60
Tabla 3	Sistematización de las características de los agregados según su textura.....	60
Tabla 4	Sistematización de las características de los agregados pétreos en función de su tamaño.	61
Tabla 5	Parámetros preestablecidos de consistencia para mezclas de concreto.	64
Tabla 6	Resistencia de un concreto a los 28 y 90 días.....	66
Tabla 7	Muestra la composición mineralógica de E°N°.....	75
Tabla 8	Composición química de la E°N°.....	76
Tabla 9	Resultados de ensayos realizados a la E°N° acorde a las normas ASTM.	77
Tabla 10	Muestra las propiedades físicas de E°N°.....	78
Tabla 11	Cantidad de probetas cilíndricas de CC sin y con adición E°N° para compresión.	82
Tabla 12	Cantidad de viguetas prismáticas de CC sin y con adición de E°N° para la flexión.....	82
Tabla 13	Cantidad de ensayos para medir la trabajabilidad del concreto fresco.	83
Tabla 14	Localización de la cantera Cutimbo – Puno en coordenadas UTM.....	98
Tabla 15	Datos necesarios para calcular la potencia de cantera.	99
Tabla 16	Coordenadas UTM de ubicación de la planta Nro. 02 de Aceros Arequipa S.A.	102
Tabla 17	Lista de todas las pruebas realizados en laboratorio de construcciones.	105
Tabla 18	Resultados del ensayo de w (%) del A°G°.	108
Tabla 19	Resultados del ensayo de w (%) de la E°N°.	108
Tabla 20	Resultados del ensayo de w (%) del A°F°.	109
Tabla 21	Datos obtenidos del ensayo de peso específico y absorción del A°G°.	112
Tabla 22	Resultados del ensayo de peso específico y absorción del A°G°.	112
Tabla 23	Datos obtenidos del ensayo de peso específico y absorción de la E°N°.	112
Tabla 24	Resultados del ensayo de peso específico y absorción de la E°N°.	113
Tabla 25	Datos obtenidos del ensayo de peso específico y absorción del A°F°.	116
Tabla 26	Resultados del ensayo de peso específico y absorción del A°F°.	116
Tabla 27	Procedimiento para calcular el volumen del molde C.	117



Tabla 28	Procedimiento para calcular el volumen del molde C ₁	117
Tabla 29	Resultados del ensayo de peso unitario suelto del A°G°.....	119
Tabla 30	Resultados del ensayo de peso unitario suelto de la E°N°.....	119
Tabla 31	Resultados del ensayo de peso unitario compactado del A°G°.....	120
Tabla 32	Resultados del ensayo de peso unitario compactado de la E°N°.....	120
Tabla 33	Resultados del ensayo de peso unitario suelto del A°F°.....	122
Tabla 34	Resultados del ensayo de peso unitario compactado del A°F°.....	122
Tabla 35	Cantidad de muestra de A°G° necesaria para el análisis granulométrico....	123
Tabla 36	Resultados de la granulometría del A°G°.....	126
Tabla 37	Resultados de la granulometría de la EN°.....	127
Tabla 38	Resultados de granulometría del A°F°.....	128
Tabla 39	Determinación de TMN y tamaño máximo del A°G°.....	132
Tabla 40	Propiedades de los agregados y E°N° obtenidos en laboratorio.....	133
Tabla 41	Resistencia promedio requerida a la compresión.....	133
Tabla 42	Asentamiento máximo y mínimo según el tipo de construcción.....	134
Tabla 43	Requerimiento aproximado de agua para diversos asentamientos y TMNs.	135
Tabla 44	Contenido de aire atrapado.....	136
Tabla 45	Tabla para determinar la relación a/c.....	136
Tabla 46	Relación a/c para condiciones especiales de exposición.....	137
Tabla 47	Para determinar el peso del A°G° por unidad de volumen del concreto.	139
Tabla 48	Resumen de los resultados de los volúmenes unitarios sin considerar del A°F°.	140
Tabla 49	Resumen de los resultados de los volúmenes unitarios de los componentes del concreto.....	141
Tabla 50	Resultados del diseño final de la mezcla según ACI 211.....	141
Tabla 51	Diseño de mezcla final corregido por humedad y absorción.....	142
Tabla 52	Resumen de diseño de mezclas para CC sin y con adición de E°N° en diferentes %.....	143
Tabla 53	Resultados de los 15 ensayos de Slump para CC, CC ₁ , CC ₂ , CC ₃ y CC ₄	151
Tabla 54	Resumen de densidad de las probetas cilíndricas del CC, CC ₁ , CC ₂ , CC ₃ y CC ₄	153
Tabla 55	Periodo de diseño en función del tipo de vía.....	158
Tabla 56	Niveles de confiabilidad sugeridos por AASHTO 93.....	160
Tabla 57	Valores de Zr en función de la confiabilidad.....	161



Tabla 58	Valores de error de estándar combinado para diseño del pavimento.	162
Tabla 59	Coefficiente de transferencia de carga.	163
Tabla 60	Niveles de drenaje para pavimentos.	163
Tabla 61	Valores recomendados del Cd para el diseño del pavimento rígido.....	164
Tabla 62	Proyecciones del parque vehicular estimado por departamentos - Perú según MTC.	165
Tabla 63	Cálculo de ESAL de diseño para un periodo de diseño 25 años en la ciudad de Puno.....	167
Tabla 64	Resumen del S'C con y sin adición de E°N°.	170
Tabla 65	Resultados del (D) según los SC del concreto con y sin adición de E°N°. .	172
Tabla 66	Análisis de CU para un CC.....	174
Tabla 67	Análisis de CU para un CC con 10% de E°N°.	175
Tabla 68	Análisis de CU para un CC con 20% de E°N°.	175
Tabla 69	Análisis de CU para un CC con 30% de E°N° de f'c= 210 kg/cm ²	176
Tabla 70	Análisis de CU para un CC con 40% de E°N° de f'c= 210 kg/cm ²	176
Tabla 71	Análisis de CU por m ² para pavimento con CC de f'c = 210 kg/cm ² con D = 20.51 cm.	177
Tabla 72	Análisis de CU por m ² para pavimento con CC de f'c= 210 kg/cm ² con D = 19.62 cm.	177
Tabla 73	Análisis de CU por m ² para pavimento con CC de f'c= 210 kg/cm ² con D = 18.62 cm.	178
Tabla 74	Análisis de CU por m ² para pavimento con CC de f'c= 210 kg/cm ² con D = 17.56 cm.	178
Tabla 75	Análisis de CU por m ² de pavimento con CC de f'c = 210 kg/cm ² con D = 16.24 cm.	178
Tabla 76	Resumen de los resultados de W(%) de agregados y E°N°.	180
Tabla 77	Resultados de los ensayos de peso específico y absorción de A°G°, A°F° y E°N°.	180
Tabla 78	Resultados de los ensayos de peso unitario suelto de los A°G°, A°F° y E°N°.	183
Tabla 79	Resultados de los pesos unitarios compactados de los A°G°, A°F° y de la E°N°.	184
Tabla 80	Verificación de los límites permitidos por ASTM de la gradación del A°G° y E°N°.	186



Tabla 81	Verificación de los límites permitidos por ASTM de la gradación del agregado fino.	187
Tabla 82	Resultados del cálculo de módulo de fineza de $A^{\circ}G^{\circ}$, $A^{\circ}F^{\circ}$ y $E^{\circ}N^{\circ}$	188
Tabla 83	Cuadro comparativo de resultados de la prueba de Slump de CC, CC ₁ , CC ₂ , CC ₃ y CC ₄	190
Tabla 84	Prueba de normalidad del ensayo de trabajabilidad.....	191
Tabla 85	Evaluación estadístico de los resultados de Slump del CC.	192
Tabla 86	Evaluación estadístico de los resultados Slump del CC con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$	193
Tabla 87	Variables de interés para comprobar la hipótesis de Slump.	193
Tabla 88	Evaluación estadístico de los resultados del Slump del CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$	195
Tabla 89	Variables de interés para comprobar la hipótesis de Slump.	195
Tabla 90	Evaluación estadístico de los resultados del Slump del CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$	197
Tabla 91	Variables de interés para comprobar la hipótesis de Slump.	197
Tabla 92	Evaluación estadístico de los resultados del Slump del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	198
Tabla 93	Variables de interés para comprobar la hipótesis de Slump.	199
Tabla 94	Resumen de densidad de las probetas cilíndricas del CC, CC ₁ , CC ₂ , CC ₃ y CC ₄	201
Tabla 95	Prueba de normalidad de ensayo de densidad.	203
Tabla 96	Evaluación estadística de los resultados de la densidad del CC.	204
Tabla 97	Evaluación estadístico de los resultados de la densidad del CC con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$	204
Tabla 98	Variables de interés para comprobar la hipótesis de densidad.	205
Tabla 99	Evaluación estadístico de los resultados de la densidad del CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$	206
Tabla 100	Variables de interés para comprobar la hipótesis de densidad.	206
Tabla 101	Evaluación estadístico de los resultados de la densidad del CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$	207
Tabla 102	Variables de interés para comprobar la hipótesis de densidad.	208
Tabla 103	Evaluación estadístico de los resultados de la densidad del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	209
Tabla 104	Variables de interés para comprobar la hipótesis de densidad.	209



Tabla 105 Resultados de prueba de compresión con y sin adición de E°N° a los 7 días.	211
Tabla 106 Resultados de prueba a compresión con y sin adición de E°N° a los 14 días.	212
Tabla 107 Resultados de prueba a compresión con y sin adición de E°N° a los 28 días.	213
Tabla 108 Resultados de prueba a compresión con y sin adición de E°N° a los 7, 14 y 28 días.	214
Tabla 109 Prueba de normalidad a compresión del CC sin y con adición de E°N° a 7 días.	216
Tabla 110 Prueba de normalidad a compresión del CC sin y con adición de E°N° a 14 días.	216
Tabla 111 Prueba de normalidad a compresión del CC sin y con adición de E°N° a 28 días.	216
Tabla 112 Datos de la resistencia a la compresión del CC obtenidas a los 7 días.....	217
Tabla 113 Medidas de centralización y dispersión del CC a los 7 días.....	217
Tabla 114 Cuadro estadístico de distribución de frecuencias del CC a los 7 días.....	217
Tabla 115 Datos de resistencia a la compresión del CC obtenidas a los 14 días.....	219
Tabla 116 Cuadro estadístico de distribución de frecuencias del CC a los 14 días....	219
Tabla 117 Medidas de centralización y dispersión del CC a los 14 días.....	219
Tabla 118 Datos de resistencia a la compresión del CC obtenidas a los 28 días.....	221
Tabla 119 Cuadro estadístico de distribución de frecuencias del CC a los 28 días....	221
Tabla 120 Medidas de centralización y dispersión del CC a los 28 días.....	221
Tabla 121 Datos de resistencia a la compresión del CC con 10% de E°N° a los 7 días.	223
Tabla 122 Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 7 días.	223
Tabla 123 Medidas de centralización y dispersión del CC con 10% de E°N°.	223
Tabla 124 Datos de resistencia a la compresión del CC con 10% de E°N° a los 14 días.	225
Tabla 125 Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 14 días.	225
Tabla 126 Medidas de centralización y dispersión del CC con 10% de E°N°.	225



Tabla 127 Datos de resistencia a la compresión del CC con 10% de E°N° a los 28 días.	227
Tabla 128 Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 28 días.	227
Tabla 129 Medidas de centralización y dispersión del CC con 10% de E°N°.	227
Tabla 130 Datos de resistencia a la compresión del CC con 20% de E°N° a los 7 días.	229
Tabla 131 Cuadro estadístico de distribución de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 7 días.....	229
Tabla 132 Medidas de centralización y dispersión del CC con 20% de E°N°.	229
Tabla 133 Datos de resistencia a la compresión del CC con 20% de E°N° a los 14 días.	231
Tabla 134 Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 14 días.	231
Tabla 135 Medidas de centralización y dispersión del CC con 20% de E°N°.	231
Tabla 136 Datos de resistencia a la compresión del CC con 20% de E°N° a los 28 días.	233
Tabla 137 Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 28 días.	233
Tabla 138 Medidas de centralización y dispersión del CC con 20% de E°N°.	233
Tabla 139 Datos de resistencia a la compresión del CC con 30% de E°N° a los 7 días.	235
Tabla 140 Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 7 días.	235
Tabla 141 Medidas de centralización y dispersión del CC con 30% de E°N°.	235
Tabla 142 Datos de resistencia a la compresión del CC con 30% de E°N° a los 14 días.	237
Tabla 143 Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 14 días.	237
Tabla 144 Medidas de centralización y dispersión del CC con 30% de E°N°.	237
Tabla 145 Datos de resistencia a la compresión del CC con 30% de E°N° a los 28 días.	239
Tabla 146 Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 28 días.	239



Tabla 147 Medidas de centralización y dispersión del CC con 30% de E°N° a los 28 días.	239
Tabla 148 Datos de resistencia a la compresión del CC con 40% de E°N° a los 7 días.	241
Tabla 149 Cuadro estadístico de distribución de frecuencias del CC con 40% de E°N° a los 7 días.....	241
Tabla 150 Medidas de centralización y dispersión del CC con 40% de E°N° a los 7 días.	241
Tabla 151 Datos de resistencia a la compresión del CC con 40% de E°N° a los 14 días.	243
Tabla 152 Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 40% de E°N° a los 14 días.	243
Tabla 153 Medidas de centralización y dispersión del CC con 40% de E°N° a los 14 días.	243
Tabla 154 Datos de resistencia a la compresión del CC con 40% de E°N° a los 28 días.	245
Tabla 155 Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 40% de E°N° a los 28 días.	245
Tabla 156 Medidas de centralización y dispersión del CC con 40% de E°N° a los 28 días.	245
Tabla 157 Resultados estadísticos de CC y CC con 10% de E°N° a los 7 días.....	247
Tabla 158 Resultados estadísticos de CC y CC con 10% de E°N° a los 14 días.....	248
Tabla 159 Resultados estadísticos de CC y CC con 10% de E°N° a los 28 días.....	249
Tabla 160 Resultados estadísticos de CC y CC con 20% de E°N° a los 7 días.....	250
Tabla 161 Resultados estadísticos de CC y CC con 20% de E°N° a los 14 días.....	250
Tabla 162 Resultados estadísticos de CC y CC con 20% de E°N° a los 28 días.....	251
Tabla 163 Resultados estadísticos de CC y CC con 30% de E°N° a los 7 días.....	252
Tabla 164 Resultados estadísticos de CC y CC con 30% de E°N° a los 14 días.....	253
Tabla 165 Resultados estadísticos de CC y CC con 30% de E°N° a los 28 días.....	253
Tabla 166 Resultados estadísticos de CC y CC con 40% de E°N° a los 7 días.....	254
Tabla 167 Resultados estadísticos de CC y CC con 40% de E°N° a los 14 días.....	255
Tabla 168 Resultados estadísticos de CC y CC con 40% de E°N° a los 28 días.....	256
Tabla 169 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a los 7 días del CC. ..	257



Tabla 170 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 7 días del CC con 10% de E°N°.....	257
Tabla 171 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 7 días.	258
Tabla 172 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 7 días del CC con 20% de E°N°.....	259
Tabla 173 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 7 días.	260
Tabla 174 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 7 días del CC con 30% de E°N°.....	261
Tabla 175 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 7 días.	261
Tabla 176 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 7 días del CC con 40% de E°N°.....	263
Tabla 177 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 7 días.	263
Tabla 178 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a los 14 días del CC.	264
Tabla 179 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 14 días del CC con 10% de E°N°.....	265
Tabla 180 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 14 días.	265
Tabla 181 Evaluación estadístico resistencia a compresión a los 14 días del CC con 20% de E°N°.....	266
Tabla 182 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 14 días.	267
Tabla 183 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 14 días del CC con 30% de E°N°.....	268
Tabla 184 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 14 días.	268
Tabla 185 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 14 días del CC con 40% de E°N°.....	270
Tabla 186 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 14 días.	270
Tabla 187 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a los 28 días del CC.	271



Tabla 188 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 28 días del CC con 10% de E°N°.....	272
Tabla 189 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 28 días.	272
Tabla 190 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 28 días del CC con 20% de E°N°.....	273
Tabla 191 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 28 días.	274
Tabla 192 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 28 días del CC con 30% de E°N°.....	275
Tabla 193 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 28 días.	275
Tabla 194 Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 28 días del CC con 40% de E°N°.....	277
Tabla 195 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 28 días.	277
Tabla 196 Resultados del ensayo a flexión con y sin adición de E°N° a los 28 días de curado.	279
Tabla 197 Prueba de normalidad a flexión del CC sin y con adición de E°N° a los 28 días.	282
Tabla 198 Datos de resistencia a la flexión del CC a los 28 días.	283
Tabla 199 Cuadro estadístico de distribución de frecuencias del CC a los 28 días....	283
Tabla 200 Medidas de centralización y dispersión del CC a los 28 días.....	283
Tabla 201 Datos de resistencia a la flexión del CC con 10% de E°N° a los 28 días..	285
Tabla 202 Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 28 días.	285
Tabla 203 Medidas de centralización y dispersión del CC con 10% de E°N° a los 28 días.	285
Tabla 204 Datos de resistencia a la flexión del CC con 20% de E°N° a los 28 días..	287
Tabla 205 Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 28 días.	287
Tabla 206 Medidas de centralización y dispersión del CC con 20% de E°N° a los 28 días.	287
Tabla 207 Datos de resistencia a la flexión del CC con 30% de E°N° a los 28 días..	289



Tabla 208 Cuadro de distribución de frecuencias del CC+30% de E°N° a los 28 días.	289
Tabla 209 Medidas de centralización y dispersión del CC con 30% de E°N°.	289
Tabla 210 Datos de resistencia a la flexión del CC con 40% de E°N° a los 28 días..	291
Tabla 211 Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 40% de E°N° a los 28 días.	291
Tabla 212 Medidas de centralización y dispersión del CC con 40% de E°N°.	291
Tabla 213 Resultados estadísticos de CC y CC con 10% de E°N° a los 28 días.....	293
Tabla 214 Resultados estadísticos de CC y CC con 20% de E°N° a los 28 días.....	294
Tabla 215 Resultados estadísticos de CC y CC con 30% de E°N° a los 28 días.....	294
Tabla 216 Resultados estadísticos de CC y CC con 40% de E°N° a los 28 días.....	295
Tabla 217 Evaluación estadístico de resistencia a flexión a los 28 días del CC.....	296
Tabla 218 Evaluación estadístico de resistencia a flexión a los 28 días del CC con 10% de E°N°.....	297
Tabla 219 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a flexión a los 28 días.	297
Tabla 220 Evaluación estadístico de resistencia a flexión a los 28 días del CC con 20% de E°N°.....	299
Tabla 221 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a flexión a los 28 días.	299
Tabla 222 Evaluación estadístico de resistencia a flexión a los 28 días del CC con 30% de E°N°.....	300
Tabla 223 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a flexión a los 28 días.	301
Tabla 224 Evaluación estadístico de resistencia a flexión a los 28 días del CC con 40% de E°N°.....	302
Tabla 225 Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a flexión a los 28 días.	302
Tabla 226 Cuadro resumen comparativo de C.U por un m ³ para CC, CC ₁ , CC ₂ , CC ₃ y CC ₄	305
Tabla 227 Resumen comparativo de C.U por un metro cuadrado para CC, CC ₁ , CC ₂ , CC ₃ y CC ₄	306
Tabla 228 Comparación de espesor de losa para CC y CC con 30% de E°N° (espesor óptimo).	308



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	La obtención de escoria y el proceso de fabricación de acero.	71
Figura 2	Proceso de elaboración de acero con hornos EAF - LF.	72
Figura 3	Resumen de tipos de escorias siderúrgicas.	72
Figura 4	Retiro de E°N° del horno eléctrico.....	74
Figura 5	Disposición de E°N°.	74
Figura 6	Enfriamiento de E°N°.	75
Figura 7	Clasificación de las medidas estadísticas.	84
Figura 8	Descripción de la distribución simétrica.	93
Figura 9	La de izquierda tiene asimetría positiva y la derecha asimetría negativa.	93
Figura 10	Cemento Portland IP utilizado para elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas.	97
Figura 11	Equipo de investigación realizando el levantamiento topográfico en Cutimbo.	98
Figura 12	Equipo de investigación recabando datos para determinar la potencia de la cantera.	101
Figura 13	Los investigadores realizando el acopio de E°N° en la planta de Aceros Arequipa.....	101
Figura 14	Ubicación geográfica de la planta siderúrgica aceros Arequipa - Pisco. ...	102
Figura 15	Escoria negra acumulada en la planta Nro. 02 de aceros Arequipa S.A. ...	103
Figura 16	Cuarteo de E°N° para realizar los ensayos de laboratorio conforme a la NTP 400.010.....	106
Figura 17	Equipo de investigación realizando el ensayo de W (%) tanto A°G° y A°F°.	107
Figura 18	Procedimiento del contenido de humedad de la E°N°.	107
Figura 19	Muestra de A°G° en estado S.S.S.	110
Figura 20	Procedimiento de ensayo de peso específico de E°N°.	111
Figura 21	Muestra de E°N° saturada superficialmente seca.....	111
Figura 22	Procedimiento del llenado del A°F° al frasco y girado de la fiola.	114
Figura 23	Equipo de investigación realizando el ensayo y registrando los datos correspondientes.	115
Figura 24	Primer desmoronamiento del A°F° estado S.S.S.	115



Figura 25	Apisonado de E°N° por capas en el ensayo de peso unitario compactado.	118
Figura 26	Procedimiento del ensayo de peso unitario suelto y compactado de la E°N°.	118
Figura 27	Llenado del molde 15x30 cm con A°F° para calcular el peso unitario.....	121
Figura 28	Peso unitario suelto y compactado del A°F°	121
Figura 29	Tamizado de E°N° para el análisis granulométrico.	124
Figura 30	Tamizado del A°F° para el análisis granulométrico.	125
Figura 31	Tamizado de E°N° para el análisis granulométrico.	125
Figura 32	Curva granulométrica del A°G° en papel semilogarítmico.....	126
Figura 33	Curva granulométrica de la E°N° graficado en papel semilogarítmica.	127
Figura 34	Curva granulométrica del A°F° en papel semilogarítmico.	129
Figura 35	Probetas cilíndricas de CC adicionado con E°N°.	144
Figura 36	Elaboración de probetas prismáticas de 6" x 6" x 20".	146
Figura 37	Medición del Slump del concreto fresco CC, CC ₁ , CC ₂ , CC ₃ y CC ₄	149
Figura 38	Procedimiento de la rotura de probetas cilíndricas.	155
Figura 39	Procedimiento de la aplicación del esfuerzo a flexión de la viga prismática a L/2.	157
Figura 40	Grafica de transferencia de carga entre losas vecinas.....	162
Figura 41	Relaciones aproximadas entre resistencia y clasificación del suelo según al CBR.....	168
Figura 42	Comparación de resultados del (D) según SC de CC, CC ₁ , CC ₂ , CC ₃ y CC ₄	172
Figura 43	Comparación de resultados de W(%) de los agregados y E°N°.....	180
Figura 44	Comparación de resultados de peso específico de A°G°, A°F° y E°N°. ...	181
Figura 45	Comparación de resultados de absorción de los agregados y E°N°.....	182
Figura 46	Comparación de resultados de peso unitario suelto de los agregados y E°N°.	183
Figura 47	Comparación de resultados de peso unitario compactado de los A°G°, A°F° y E°N°.	184
Figura 48	Comparación de resultados de módulo de fineza de A°G°, A°F° y E°N°.	188
Figura 49	Resultados de la prueba Slump sin adición y con adición de E°N°.	190
Figura 50	Gráfico del estadístico t para trabajabilidad con 10% de E°N°.....	194
Figura 51	Gráfico del estadístico t para trabajabilidad con 20% de E°N°.....	196
Figura 52	Gráfico del estadístico t para trabajabilidad con 30% de E°N°.....	198



Figura 53	Gráfico del estadístico t para trabajabilidad con 40% de E°N°.....	199
Figura 54	Comparación de resultados de densidad del concreto con y sin adición de E°N°.....	201
Figura 55	Gráfico del estadístico t para la densidad con 10% de E°N°.....	205
Figura 56	Gráfico del estadístico para la densidad con 20% de E°N°.....	207
Figura 57	Gráfico del estadístico t para la densidad con 30% de E°N°.....	208
Figura 58	Gráfico del estadístico t para la densidad con 40% de E°N°.....	210
Figura 59	Resultados de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas a los 7 días.....	211
Figura 60	Resultados de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas a los 14 días.....	212
Figura 61	Resultados de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas a los 28 días.....	213
Figura 62	Histograma de frecuencias del CC a los 7 días de curado.....	218
Figura 63	Distribución de campana de Gauss de CC a los 7 días curado.....	218
Figura 64	Distribución normal del CC a los 7 días de curado.....	218
Figura 65	Histograma de frecuencias del CC a los 14 días.....	220
Figura 66	Distribución de campana de Gauss de CC a los 14 días.....	220
Figura 67	Distribución normal del CC a los 14 días.....	220
Figura 68	Histograma de frecuencias del CC a los 28 días de curado.....	222
Figura 69	Distribución de campana de Gauss de CC a los 28 días curado.....	222
Figura 70	Distribución normal del CC a los 28 días de curado.....	222
Figura 71	Histograma de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 7 días de curado.....	224
Figura 72	Distribución de campana de Gauss de CC con 10% de E°N° a los 7 días curado.....	224
Figura 73	Distribución normal del CC con 10% de E°N° a los 7 días de curado.....	224
Figura 74	Histograma de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 14 días de curado.....	226
Figura 75	Distribución de campana de Gauss de CC con 10% de E°N° a los 14 días curado.....	226
Figura 76	Distribución normal del CC con 10% de E°N° a los 14 días de curado.....	226
Figura 77	Histograma de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 28 días de curado.....	228



Figura 78 Distribución de campana de Gauss de CC con 10% de E°N° a los 28 días curado.....	228
Figura 79 Distribución normal del CC con 10% de EN a los 28 días de curado.....	228
Figura 80 Histograma de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 7 días de curado.	230
Figura 81 Distribución de campana de Gauss de CC con 20% de EN a los 7 días curado.	230
Figura 82 Distribución normal del CC con 20% de E°N° a los 7 días de curado.	230
Figura 83 Histograma de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 14 días de curado.	232
Figura 84 Distribución de campana de Gauss de CC con 20% de E°N° a los 14 días curado.....	232
Figura 85 Distribución normal del CC con 20% de E°N° a los 14 días de curado. ...	232
Figura 86 Histograma de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 28 días de curado.	234
Figura 87 Distribución de campana de Gauss de CC con 20% de E°N° a los 28 días curado.....	234
Figura 88 Distribución normal del CC con 20% de E°N° a los 28 días de curado. ...	234
Figura 89 Histograma de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 7 días de curado.	236
Figura 90 Distribución de campana de Gauss de CC con 30% de E°N° a los 7 días curado.....	236
Figura 91 Distribución normal del CC con 30% de E°N° a los 7 días de curado.	236
Figura 92 Histograma de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 14 días de curado.	238
Figura 93 Distribución de campana de Gauss de CC con 30% de E°N° a los 14 días curado.....	238
Figura 94 Distribución normal del CC con 30% de E°N° a los 14 días de curado. ...	238
Figura 95 Histograma de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 28 días de curado.	240
Figura 96 Distribución de campana de Gauss de CC con 30% de E°N° a los 28 días curado.....	240
Figura 97 Distribución normal del CC con 30% de E°N° a los 28 días de curado. ...	240



Figura 98 Histograma de frecuencias del CC con 40% de E°N° a los 7 días de curado.	242
Figura 99 Distribución de campana de Gauss de CC con 40% de E°N° a los 7 días curado.....	242
Figura 100 Distribución normal del CC con 40% de E°N° a los 7 días de curado. ...	242
Figura 101 Histograma de frecuencias del CC con 40% de E°N° a los 14 días de curado.	244
Figura 102 Distribución de campana de Gauss de CC con 40% de E°N° a los 14 días curado.....	244
Figura 103 Distribución normal del CC con 40% de E°N° a los 14 días de curado. .	244
Figura 104 Histograma de frecuencias del CC con 40% de E°N° a los 28 días de curado.	246
Figura 105 Distribución de campana de Gauss de CC con 40% de E°N° a los 28 días curado.....	246
Figura 106 Distribución normal del CC con 40% de E°N° a los 28 días de curado. .	246
Figura 107 Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 10% de E°N° a los 7 días.	259
Figura 108 Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 20% de E°N° a los 7 días.	260
Figura 112 Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 30% de E°N° a los 7 días.	262
Figura 110 Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 40% de E°N° a los 7 días.	264
Figura 111 Gráfico del estadístico t para la resistencia a compresión con 10% de E°N° a los 14 días.....	266
Figura 112 Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 20% de E°N° a los 14 días.	267
Figura 113 Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 30% de E°N° a los 14 días.	269
Figura 114 Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 40% de E°N° a los 14 días.	271
Figura 115 Gráfico estadístico t para la resistencia a compresión con 10% de E°N° a los 28 días.	273



Figura 116 Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 20% de E°N° a los 28 días.	274
Figura 117 Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 30% de E°N° a los 28 días.	276
Figura 118 Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 40% de E°N° a los 28 días.	278
Figura 119 Resultados de las probetas prismáticas a los 28 días.	281
Figura 120 Histograma de frecuencias del CC a los 28 días de curado.	284
Figura 121 Distribución de campana de Gauss de CC a los 28 días curado.	284
Figura 122 Distribución normal del CC a los 28 días de curado.....	284
Figura 123 Histograma de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 28 días de curado.	286
Figura 124 Distribución de campana de Gauss de CC con 10% de E°N° a los 28 días curado.....	286
Figura 125 Distribución normal del CC con 10% de E°N° a los 28 días de curado. .	286
Figura 126 Histograma de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 28 días de curado.	288
Figura 127 Distribución de campana de Gauss de CC con 20% de E°N° a los 28 días curado.....	288
Figura 128 Distribución normal del CC con 20% de E°N° a los 28 días de curado. .	288
Figura 129 Histograma de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 28 días de curado.	290
Figura 130 Distribución de campana de Gauss de CC con 30% de E°N° a los 28 días curado.....	290
Figura 131 Distribución normal del CC con 30% de E°N° a los 28 días de curado. .	290
Figura 132 Histograma de frecuencias del CC con 40% de E°N° a los 28 días de curado.	292
Figura 133 Distribución de campana de Gauss de CC con 40% de E°N° a los 28 días curado.....	292
Figura 134 Distribución normal del CC con 40% de E°N° a los 28 días de curado. .	292
Figura 135 Gráfico del estadístico t para la resistencia a flexión con 10% de E°N° a los 28 días.	298
Figura 136 Gráfico del estadístico t para la resistencia a flexión con 20% de E°N° a los 28 días.	300



Figura 137 Gráfico del estadístico t para la resistencia a flexión con 30% de E°N° a los 28 días.	301
Figura 138 Gráfico del estadístico t para la resistencia a flexión con 40% de E°N° a los 28 días.	303
Figura 139 Análisis comparativo de la variación de CU por m ³ de CC, CC ₁ , CC ₂ , CC ₃ y CC ₄	306
Figura 140 Análisis comparativo de variación de CU por m ² de CC, CC ₁ , CC ₂ , CC ₃ y CC ₄	307



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

A: 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.U: Costo unitario

CC: Concreto convencional ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$)

CBR: Ensayo de relación de soporte de California

CC₁: Concreto convencional con 10% de adición de E°N°

CC₂: Concreto convencional con 20% de adición de E°N°

CC₃: Concreto convencional con 30% de adición de E°N°

CC₄: Concreto convencional con 40% de adición de E°N°

CE: Conductividad eléctrica

CV: Coeficiente de variación

EAF: Escoria de horno de arco eléctrico

E°N°: Escoria negra

EFC: Escorias de fundición de cobre

ESAL: Equivalent Single Axle Load (Carga por eje simple equivalente)

Fi: Frecuencia absoluta

Fi: Frecuencia relativa acumulada

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

Ge: Gravedad específica



GI: Grados de libertad

GPS: Sistema de posicionamiento global

GW: Grava bien graduada

Ha: Hipótesis alternativa

Ho: Hipótesis nula

ITINTEC: Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas

J: Coeficiente de transferencia de carga

K: Cálculo del módulo de reacción de la subrasante

LF: Escoria de horno cuchara

MPa: Mega Pascal

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

NP: No plástico

Nro: Número

NTP: Norma técnica peruana

Pb: potencia bruta de cantera

PE: Potencia efectiva de la cantera

PCA: Asociación de Cemento Portland

PH: Potencial de hidrógeno

RNE E 60: Reglamento Nacional de Edificaciones - Estructuras

So: Error estándar combinado para el diseño estructural del pavimento

S.S.S: Saturado superficialmente seco

SST: Sólidos suspendidos totales

SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos

TM: Tamaño máximo del agregado

TMA: Toneladas métricas de acero bruto



TMN: Tamaño máximo nominal del agregado

Tn: Toneladas

T_p: Estadístico t

T_α: Valores predeterminados de t Student

u: Media aritmética

u_m: Mediana

u_o: Moda

UTM: Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator

W%: Contenido de humedad

Z: Distribución normal

Z_r: desviación estándar normal en función de la confiabilidad

Z_o: Estadístico de prueba

α: Nivel de significancia

σ: Desviación estándar

σ²: Varianza

σ_p: Desviación común



RESUMEN

En la región de Puno es necesario investigar la influencia de la adición de E°N° sobre porcentajes del agregado grueso en el CC, por lo que los objetivos de la investigación fueron analizar la influencia de la adición de E°N° en las propiedades del CC como la resistencia a compresión y flexión, trabajabilidad, densidad, espesor de la losa y comparar la variación de CU por m² entre CC y concreto adicionado con E°N° en pavimentos. Se ha postulado que el concreto con adición de E°N° sobre porcentajes del agregado grueso influye positivamente en las propiedades del concreto de $f'c = 210$ kg/cm² ya que tiene propiedades significativamente mejores en comparación con CC. En cuanto a materiales se han utilizado E°N°, cemento IP y agregados de Cutimbo. El diseño de mezclas se ha realizado con el método del ACI 211 y el diseño del espesor del pavimento con AASHTO 1993. Los variables son la adición de E°N° y las propiedades del CC, el tipo de investigación es cuantitativa, el nivel de investigación es correlacional, el muestreo es no probabilístico y en el diseño de investigación se ha utilizado la estadística analítica y la prueba de hipótesis se han evaluado con distribución normal y t de Student. Se concluye que la adición de la E°N° influye inversamente en la trabajabilidad, espesor de la losa del pavimento y CU ya que se ha demostrado una disminución que varían entre 16.67 a 75.00%, 4.34 a 20.82%, y 1.34 a 7.61% respectivamente y directamente proporcional sobre la resistencia de compresión, flexión, y la densidad ya que existe un incremento entre 2.05 a 13.91%, 7.43 a 43.88%, 0.59 a 2.07% respectivamente con respecto al CC.

Palabras clave: Resistencia, trabajabilidad, densidad, costos, diseño y pavimento rígido.



ABSTRACT

In the Puno region it is necessary to investigate the influence of the addition of $E^{\circ}N^{\circ}$ on percentages of coarse aggregate in the CC, so the objectives of the research were to analyze the influence of the addition of $E^{\circ}N^{\circ}$ on the properties of CC such as compressive and flexural strength, workability, density, slab thickness and to compare the variation of CU per m^2 between CC and concrete added with $E^{\circ}N^{\circ}$ in pavements. It has been postulated that concrete with the addition of $E^{\circ}N^{\circ}$ over percentages of coarse aggregate has a positive influence on the properties of concrete of $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ since it has significantly better properties compared to CC. The mix design was carried out with the ACI 211 method, and the pavement thickness design with AASHTO 1993. The variables are the addition of $E^{\circ}N^{\circ}$ and the properties of the CC, the type of research is quantitative, the level of research is correlational, the sampling is non-probabilistic and in the research design the analytical statistics has been used and the hypothesis test have been evaluated with normal distribution and Student's t. The results of the study are as follows It is concluded that the addition of $E^{\circ}N^{\circ}$ has an inverse influence on the workability, thickness of the pavement slab and CU since it has been demonstrated a decrease that varies between 16.67 to 75.00%, 4.34 to 20.82%, and 1.34 to 7.61% respectively and directly proportional on the compressive and flexural strength, and density since there is an increase between 2.51 to 13.6%, 7.43 to 43.88%, 0.59 to 2.07% respectively with respect to the CC.

Key words: strength, workability, density, cost, design and rigid pavement.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según Santamaría (2015), afirma que la cantidad de acero producida en todo el mundo pasó de 28 millones de toneladas en 1900 a 851 millones de toneladas en 2001 y 1665 millones de toneladas en 2014. Este aumento de la producción está claramente relacionado con el crecimiento de la economía y la población mundial, lo que significa que la cantidad de escoria y residuos producidos como resultado de la producción de acero seguirá aumentando y constituyendo este como un pasivo ambiental (p. 11).

Ahora bien, según Figueroa y Mamani (2019) afirman que el acero corrugado grado 60 es uno de los materiales más utilizados en la construcción de obras civiles en el Perú. Es importante señalar que actualmente existen dos acerías importantes en el Perú: Sider Perú en la región de Chimbote Ancash y Aceros Arequipa en la ciudad de Pisco en la región de Ica. Esta última produce alrededor de 1.4 millones de Tn de acero al año. Las instalaciones de Aceros Arequipa contienen actualmente más de 250 mil Tn acumulados de residuos de E°N°, los mismos no se reutilizan (p. 6).

Debido que la E°N° desechado por las industrias siderúrgicas en el Perú durante la última década son ingentes, ya que según Choque (2012), en su trabajo de investigación afirma que Sider Perú produce de 120 a 150 kilogramos por tonelada métrica (kg/TM) de escoria de acero por día, y en esa misma línea Marquina (2008, p. 03) en su trabajo de investigación concluye que Aceros Arequipa en Ilo produce 143 kg/TM de escoria por día por los motivos indicados la acumulación de la E°N° va seguir aumentando en el devenir de los años causando contaminación paisajística y ambiental, por tales consideraciones es imperativo investigar en aras de salvaguardar un medio ambiente, saludable, equilibrado y adecuado, la maneras de reutilizar y dar valor agregado a los



residuos de E°N° de acero en obras civiles y una forma de reutilizar sería en la elaboración de concreto nuevo para pavimentos rígidos.

Por otro lado, según Ruiz (2011, p. 210) concluye en su investigación realizado en la región interandina de Ecuador; que después de haber supervisado, monitoreado y analizado varios proyectos de pavimentos rígidos, ha verificado y constatado diferentes clases de patologías, las que se producen por deficiencias en la proyección, construcción y funcionamiento. Además, que en la mayoría de los proyectos de inversión pública de pavimentos rígidos no se toman en cuenta la topografía del terreno y condiciones climáticas, las cuales afectan de manera negativo durante el proceso constructivo y operación del pavimento.

En la misma línea Fiallos (2017) concluye en su investigación, que el problema de las fallas en los pavimentos son múltiples entre los más resaltantes, es el sobrecarga de tráfico con respecto al proyecto primigenio prevista, también por deficiencias en el proceso constructivo; errores en los diseños al no evaluar correctamente los parámetros que intervienen factores climáticos desfavorables que producen expansión y contracción causando agrietamiento de la losa de concreto, otro causal es el deficiente mantenimiento del pavimento por otro lado otra causa del deterioro prematuro del pavimento es la mala calidad del drenaje (pp. 77-78).

El problema que se da en la capital de Puno es el prematuro deterioro de los pavimentos rígidos por factores climatológicos, factores de diseño ya que según Fernández (2018, p. 17) concluye en su investigación realizada en la región de Puno, que el deterioro prematuro de los pavimentos flexibles y rígidos se dan por causas de precipitaciones pluviales excesivas que producen falla estructural, superficial del pavimento y el alto volumen de vehículos que superan la cantidad proyectado, las mencionadas causas acortan la vida útil del pavimento y la serviciabilidad, es por eso, los

factores para el deterioro prematuro y poca duración de la losa de pavimentos rígidos en la ciudad lago Puno es por las precipitaciones pluviales excesivas que acumulan volúmenes de agua y deficiente sistema de drenaje produciendo daños en el concreto, como también las bajas temperaturas que causan fisuras convirtiéndose posteriormente en grietas.

En este contexto es necesario investigar la influencia de la inclusión de E°N° en porcentajes como sustituto del A°G° en el CC, con la finalidad de analizar si la adición del mencionado material influye en algunas de las propiedades mecánicas del concreto, tales como la resistencia al esfuerzo de compresión y flexión del mismo, densidad y trabajabilidad y si la influencia afecta en sentido favorable se puede lograr pavimentos rígidos más resistentes, diseños de pavimentos más económicos y de esa manera hacer un eficiente manejo de los recursos privados y públicos.

1.1.1 Problema general

- ¿Cómo influye la adición de E°N° sobre porcentajes del agregado grueso en las propiedades del concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en pavimentos rígidos de la ciudad de Puno – 2020?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cómo influye la adición de E°N° sobre porcentajes del agregado grueso, en la resistencia a la compresión simple y flexión del concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$?
- ¿Cómo influye la adición de E°N° en la trabajabilidad del concreto fresco de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en pavimentos rígidos?
- ¿Cuál es la densidad del concreto en estado endurecido a diferentes porcentajes con adición de E°N° en el concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$?
- ¿Cómo influye la adición de E°N° en el diseño del espesor del pavimento rígido con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$?



- ¿Cuál es la variación de costos unitarios por m^2 de losa de concreto adicionado con E^oN^o y concreto convencional de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en pavimentos rígidos?

1.2 JUSTIFICACIÓN

La producción mundial de acero va en aumento debido a las demandas crecientes de este producto para dar uso en obras civiles y para otras actividades, en el Perú la producción de acero en el último decenio también sigue en ascenso ya que según la revista Asociación Mundial de Acero (2022, p. 09), la fabricación mundial de acero en el año 2014 fue 1665 millones de Tn y en el año 2021 asciende a 1951.20 millones de Tn y China ocupó el primer lugar produciendo 1032.80 millones de Tn y Perú produjo 1.60 millones de Tn de acero. Por las consideraciones expuestas como consecuencia del incremento de la producción del acero en el mundo, los desechos o residuos de producción conocidos como escorias también van incrementándose a lo largo del tiempo, ya que al no ser reutilizados se están acumulando en grandes cantidades causando contaminación paisajística y además de convertirse en un pasivo ambiental.

Para solucionar este problema de acumulación de los residuos de las plantas siderúrgicas diversas investigaciones han concluido que las escorias pueden ser reutilizados en obras civiles tal como concluye en su investigación Ortega (2011) dice que, si es posible usar las escorias de la industria del acero para la estabilizar suelos, como también para bases y sub bases en pavimentos y además añade que la reutilización de los residuos disminuye la sobre explotación de canteras (pp. 333-335).

En esa misma línea Choque (2012), concluye en su investigación que la escoria de acería del Sider Perú, si se puede utilizar como material de conformación de la sub base, y en pavimentos flexibles como sub base, base y carpeta de rodadura del pavimento, y la ventaja de emplear la E^oN^o ofrece la posibilidad de reutilizar un residuo que ocupa



un espacio (p. 90). En concordancia Marquina (2008), concluye que la E°N° de la planta de Aceros Arequipa sirve como agregado para base y sub base del pavimento (p. 167).

Ahora bien, según Zelada (2016) en su trabajo de tesis concluye que la E°N° puede ser usado como material de A°G° o A°F°, para ser aplicado a sub base de carreteras, así mismo indica que contribuye a la protección del ambiente, esto debido al valor agregado que se da a las escorias; así como por la disminución de la extracción de los agregados de cantera (p. 28). Por lo tanto la pretensión de la investigación es aportar información que resulte útil al proponer la adición de E°N° en la fabricación de un concreto nuevo para losa de pavimentos rígidos en la ciudad lacustre Puno, debido a que no existen investigaciones sobre este tema en específico, ya que se analizará si la adición E°N° influye en algunas de las propiedades mecánicas del CC, tales como la resistencia al esfuerzo de compresión y flexión, la densidad y revenimiento y si la influencia afecta en sentido favorable se va lograr pavimentos rígidos más resistentes para controlar el deterioro prematuro y el cumplimiento de la vida útil proyectada, además de cautelar el medio ambiente al reducir el deterioro del ecosistema y la disminución de la explotación de las canteras.

En mérito a la exposición de motivos descritas hay razones plausibles para investigar si el concreto con adición de E°N° sobre porcentajes del agregado grueso tiene propiedades significativamente mejores en comparación con el CC en pavimentos rígidos de la ciudad de Puno.

Ya que en el trabajo de tesis se va adicionar E°N° de Aceros Arequipa S.A. planta número dos ubicado en Pisco, en 10, 20, 30 y 40% respectivamente, estos porcentajes se postulan debido a que Serrato (2014, p. 95), concluye en su investigación que con inclusión de 5 y 10 % en peso de E°N°, reemplazando al A°G° en un CC se logra una resistencia a la compresión análogo a la de un CC por lo que no es conveniente adicionar



E°N° no menor a 10% y no es conveniente agregar o adicionar más de 40% debido a que la densidad del concreto aumentaría considerablemente ya que según Veles (2013, pp. 150-151), concluye que la escoria siderúrgica es alrededor de 1.5 veces más pesada que un agregado natural, es por ello que el concreto con escoria de acero presenta mayor densidad en comparación con el CC.

Y desde la perspectiva de contaminación ambiental en obra durante su manipulación y manejo, no va generar mayor problema ya que conforme concluye Veles (2013), que la escoria siderúrgica no contiene sulfuros, sulfatos, azufre y cloruros, ya que son elementos nocivos para el concreto. Por tanto, no es nocivo para la salud, en la misma línea concuerda Figueroa y Mamani (2019, p. 175) en su tesis de la reutilización de la E°N° para carreteras afirmadas de zonas rurales que la misma no posee metales pesados, salvo un ligero incremento de Cromo (Cr) y Cobre (Cu).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Analizar la influencia de la adición de E°N° sobre porcentajes del agregado grueso en las propiedades del concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en pavimentos rígidos de la ciudad de Puno - 2020.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar la influencia de la adición de E°N° sobre porcentajes del agregado grueso, en la resistencia a la compresión simple y flexión del concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Determinar la influencia de la adición de E°N° en la trabajabilidad del concreto fresco de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Determinar la densidad del concreto en estado endurecido a diferentes porcentajes con adición E°N° en el concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.



- Determinar la influencia de la adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en el diseño del espesor del pavimento rígido con $f^{\circ}c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Comparar la variación de costos unitarios por m^2 de losa con concreto adicionado con $E^{\circ}N^{\circ}$ y concreto convencional de $f^{\circ}c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en pavimentos rígidos.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general

- El concreto con adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ sobre porcentajes del agregado grueso influye positivamente en las propiedades del concreto de $f^{\circ}c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ya que tiene propiedades significativamente mejores en comparación con el concreto convencional en pavimentos rígidos de la ciudad de Puno -2020.

1.4.2 Hipótesis específicas

- El concreto con adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ sobre porcentajes del agregado grueso influye positivamente en la resistencia a compresión y flexión ya que es más resistente que el concreto convencional de $f^{\circ}c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- A mayor adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en el concreto convencional de $f^{\circ}c = 210 \text{ kg/cm}^2$ menor trabajabilidad.
- Que la adición de $E^{\circ}N$ en un concreto convencional de $f^{\circ}c = 210 \text{ kg/cm}^2$ influye en la densidad ya que a mayor porcentaje de adición aumenta la densidad del concreto en estado endurecido.
- A mayor adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en el concreto convencional $f^{\circ}c = 210 \text{ kg/cm}^2$ disminución de espesor del pavimento rígido.
- Existe una variación en el costo unitario por m^2 entre concreto adicionado con $E^{\circ}N^{\circ}$ y concreto convencional de $f^{\circ}c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en pavimentos rígidos.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Para la investigación, se ha realizado la revisión de libros, trabajos de investigación, revistas y artículos científicos tanto como internacionales y nacionales, publicados durante la últimas décadas, teniendo en cuenta los variables y objeto de estudio de la investigación se consideraron tres aspectos la primera: estudios o investigaciones científicas relacionados de CC y con adición de algún tipo de escoria, y en segundo término las investigaciones relacionadas de la reutilización de los diferentes tipos de escoria en obras civiles, y finalmente las investigaciones relacionadas de pavimentos rígidos con concreto simple específicamente el diseño de la carpeta de rodadura.

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes internacionales

Según Cendoya (2009) concluye en su investigación realizada en el país sureño de Chile, que la incorporación de las escorias de fundición de cobre EFC no afecta la solidez de la pasta, ya que se ve un aumento de la manejabilidad del concreto con contenido de EFC en relación al CC, esto resulta debido a la textura del EFC que es más lisa de los agregados, además con EFC se obtiene un concreto más denso, con valores que superan los 2.6 gr/cm^3 al adicionar el 50% (p. 93).

En la misma línea Oyarzun (2013) concluye en su tesis realizada en el vecino país de Chile, que la escoria utilizada en la producción de hormigón tiene propiedades favorables en comparación con los hormigones elaborados con agregados tradicionales, como que al aumentar la densidad se mejora el comportamiento de los elementos estructurales, donde el mismo peso es crucial en el diseño, así como el buen uso de la escoria de cobre, ayuda al medio ambiente en el entorno de las fábricas de fundición de



acero, de la misma forma, en el área de las obras civiles, se reduce la explotación de material de cantera, que igualmente genera impacto negativo en el medio ambiente, también los proyectos desarrollados con concreto de escoria son beneficiados económicamente considerando el menor valor que poseen respecto de los agregados tradicionales (p. 48).

Por otro lado Ortega (2011) concluye en su investigación realizada en Burgos-España que es factible reutilizar los desechos de la industria del acero en obras civiles; y define dos tipos de escoria que son: E^{°N°} y blanca por lo cual indica que este último es factible utilizar en la estabilización de suelos como A^{°F°} mientras que la primera debido a su dureza y granulometría se puede usar para la conformación de sub bases y bases en pavimentos, en suma afirma que la reutilización de las escorias disminuye la sobre explotación de canteras y ayuda a tener un ecosistema saludable, en cuestión de eliminación de acopios de escoria siderúrgica (pp. 333-335).

Según Santamaría (2015) en su tesis doctoral realizado en Burgos - España realizó un análisis químico de E^{°N°}, está compuesto especialmente de los elementos óxido de calcio (CaO) , óxido férrico (FeO) y dióxido de silicio (SiO₂), la escoria blanca está formada por SiO₂ y CaO, estos residuos pueden utilizarse como cargas minerales en la producción de morteros de albañilería, con un rendimiento comparable al de los agregados naturales tradicionales, según las investigaciones sobre su composición de SiO₂ y CaO, así como sus características físicas y análisis granulométricos. Los residuos siderúrgicos también tienen una densidad superior a la de los agregados, comparable a la de los áridos naturales convencionales. La escoria negra es más densa que los áridos naturales, con una densidad de 3,65 g/cm³ La escoria blanca tiene una densidad de 2,86 g/cm³ y la arena de sílice de 2,60 g/cm³ (p. 253).



Según González (2015) en su tesis doctoral ha demostrado que es factible elaborar concretos con responsabilidad estructural, sustituyendo al 100% la porción fina y gruesa de agregados convencionales por residuos de E°N°, el comportamiento de los concretos con E°N° es similar o incluso superior al obtenido en dosificaciones equivalentes con agregados convencionales. Para asegurar un buen comportamiento es necesario añadir agregado fino correctoras a la mezcla con el fin de suplir la carencia de finos en la E°N°. Así mismo, por su alta densidad los residuos siderúrgicos son una alternativa viable y sostenible para la elaboración de concretos pesados y de acuerdo al estudio realizado muestra la posibilidad del uso del concreto adicionado con E°N° para capas de rodadura puesto que los mismos ostentan una mayor resistencia a la abrasión que los concretos convencionales y resistencia al deslizamiento (p. 124).

Contreras (2017) en su tesis doctoral realizado en Málaga - España, afirma que la E°N° convenientemente tratada, cumple las especificaciones técnicas para carreteras se puede utilizar para conformación de sub bases y bases, ergo existe la posibilidad de expansión e hinchamiento, por lo que es de suma importancia evaluar su potencial expansivo. Además, añade que la E°N° debido su angularidad y la falta de finos se deben combinar con otros agregados para mejorar y no tener inconvenientes durante la compactación.

Finalmente, Serrato (2014) en su investigación realizado en la República Federal de México, concluye que con inclusión de 5 y 10 % en peso de E°N°, en reemplazo al A°G°, se consigue una resistencia al esfuerzo de compresión análoga de un CC asimismo los ensayos de expansión indican que la E°N° no presenta propiedades expansivas al ser adicionada en la mezcla de concreto (p. 95).



2.1.2 Antecedentes nacionales

Desde el punto de vista de Zelada (2016) en su tesis titulado, valoración económica de la E°N° de Sider Perú de Chimbote, afirma que la escorias son residuos que se generan durante la fabricación del acero, que la E°N° puede ser utilizado ya sea como A°G° o A°F° en la conformación de sub bases en la construcción de carreteras. Así mismo indica que contribuye a la protección del ambiente, esto debido al valor agregado que se da a un residuo industrial; así como por la mengua de la extracción de agregados de cantera (p. 28).

Ahora bien, Corcuera y Vela (2018) concluye en su tesis realizado en la ciudad de Trujillo que debido a que los hornos eléctricos crean escoria de acero, que es un árido apropiado para mejorar la resistencia mecánica al esfuerzo de compresión, teniendo en cuenta que tiene una distribución granulométrica más fina y una permeabilidad mayor que los áridos tradicionales por lo tanto es más densa y tiene una dispersión granulométrica más fina que los áridos típicos (p. 129).

Por otro lado Choque (2012), concluye que la escoria de acería del Sider Perú, proveniente de la fundición del acero horno eléctrico, se puede utilizar como material de sub base, base y en agregado asfáltico para carpeta de rodadura del pavimento rígido y flexible, el mismo fue empleado como material de cantera, la desventaja es la falta de finos en su granulometría pero se subsana adicionando agregado fino de otra cantera, además con los ensayos que ha realizado ha demostrado que tanto la E°N° como el material de cantera tienen similares características, y añade además que la ventaja de emplear la escoria ofrece la posibilidad de reutilizar un residuo que ocupa espacio; también reduce la explotación de canteras que dañan al medio ambiente al variar el paisaje donde se encuentra la acumulación de la escoria (p. 90).



En concordancia al párrafo precedente Marquina (2008), en su tesis de uso de E°N° para cimentaciones y pavimentos; luego de haber realizado pruebas de laboratorio concluyó que la E°N° se puede utilizar como agregado para base y sub base para pavimentos flexibles y rígidos, ya que cumple casi con la totalidad de las normas ASTM y los parámetros de AASHTO con excepción de los parámetros de porcentaje de finos, motivo por el cual planteó como solución la adición de A°F° a fin de poder cumplir dichos requerimientos y darles liga a la escoria (p. 167).

Y finalmente Figueroa y Mamani (2019, p. 174), en su tesis de investigación de la reutilización de la E°N° para carreteras afirmadas de zonas rurales, concluye que es factible implementar vías de comunicación en base a E°N° procedentes de Planta Nro. dos de Pisco como parte de sus agregados para carreteras afirmadas.

2.2 DEFINICIÓN DEL CONCRETO

Según Rivera (2000), afirma que la utilización del concreto o materiales similares al concreto es antiguo, ya que la civilización egipcia utilizó el yeso calcinado, posteriormente los romanos y los griegos han mejorado la elaboración de concreto agregando cenizas volcánicas, arcilla quemada triturada producto de las tejas. (pp. 13-14).

Se define como un material de construcción producto de la mezcla de A°G° y A°F° con un agente aglutinante que generalmente es el cemento de diferentes tipos y si es necesario se agrega aditivos, por otro lado las características de un tipo de concreto varía notablemente en relación de la selección del tipo de cemento, de la proporción entre éste y el agregado y más aditivos, es por eso según Terreros y Carvajal (2016), el concreto es una mezcla de cemento, A°G°, A°F° y agua, que al fraguar forma un sólido compacto y adquiere propiedades mecánicas, físicas y químicas (p. 21). En concordancia el maestro Abanto (1995), el concreto es consecuencia de mezcla de cemento, A°F°, A°G°, aire y



agua potable en cantidades adecuadas para proporcionar las propiedades deseadas como la resistencia, trabajabilidad, constituyendo un material heterogéneo, en determinadas circunstancias se adicionan aditivos que mejoran determinadas propiedades físicas, mecánicas o químicas del concreto (p. 11).

Desde el punto de vista de Mollo y Rosas (2019), define como un material poroso hecho de agregados y un medio de unión hecho de cemento y agua, la pasta une los agregados, generalmente arena y grava, incrustándolos en una masa cohesiva (p. 7).

La facilidad con la que el hormigón se puede colocar dentro de encofrados y en cualquier forma, así como su resistencia a la compresión, lo convierten en un material de construcción universal, como lo afirma según Romero y Hernández (2014), que el concreto se encuentra en estado fresco cuando se combina en una mezcla homogénea y manejable para ser colocado en su destino final (pp. 7-8). En consecuencia, esta propiedad permite el correcto llenado de los encofrados y de los espacios alrededor del acero corrugado de refuerzo o armadura y cuando ha tenido tiempo de fraguar, cuando la mezcla obtiene resistencia, adopta la forma prevista y puede soportar fuertes presiones de compresión, se considera que el concreto ha endurecido. Por otro lado, concreto simple, armado, estructural, concreto ciclópeo, concreto ligero, CC, concreto pesado, premezclado, prefabricado y concreto bombeado son algunas de las variedades más significativas y conocidas del concreto.

2.2.1 Componentes del concreto

El cemento, el agua, A°G° y A°F° son los ingredientes activos del concreto; el aire sirve como un ingrediente pasivo, por tanto, los mencionados materiales se agrupan en pasta que le dan al concreto su fuerza. El segundo grupo se subdivide en subconjuntos finos y gruesos. Se puede usar arena natural o artificial para los granos más finos, mientras



que para los más gruesos se puede usar cualquier tipo de roca. (Mollo y Rosas 2019, p. 8).

2.2.2 Cemento

Según Romero y Hernández (2014), los minerales calcáreos y arcillosos se utilizan para fabricar cemento Portland y otros tipos de cemento; como resultado, es importante considerar las canteras de donde se extraen los materiales para producir un material homogéneo con el fin de adquirir una composición química adecuada para la producción de cemento (p. 15). Hay cinco tipos diferentes de cemento Portland en el mercado, designados como tipo I, II, III, IV y V con propiedades normadas en base a las especificaciones ASTM C150.

En ese sentido según Abanto (1995), afirma que el tipo I se usa para proyectos de hormigón siempre y cuando que no especifiquen los cuatro tipos restantes, el tipo II se usa para proyectos expuestos a acción relativo de sulfatos o donde se requiere calor de hidratación moderado y el tipo III es de alta resistencia ya que desarrolla en tres días lo que tardaría 28 días en un hormigón elaborado con cemento tipo I. El cemento de tipo IV requiere un calor bajo de hidrato y el tipo V es un cemento utilizado en concreto expuesto al sulfato (p. 17).

Para la elaboración del concreto con inclusión de E°N°, se utilizó el cemento tipo IP (marca Rumi) cuyas características describe en la tabla 1 el mismo cumple con la normativa del ASTM C-595, ya que este tipo de cemento de mayor comercialización y uso en la macro región del sur del Perú.

Tabla 1*Características técnicas del cemento Portland tipo IP de Rumi.*

Cemento portland tipo IP Rumi	
Peso específico (gr/cm ³)	2.75 a 2.85
Expansión en autoclave (%)	0.07 a 0.03
Fraguado vicat (min)	170 a 270
Contenido de aire (%)	2.50 a 8.00
F'c 1 día (kg/cm ²)	80 a 104
F'c 3 días (kg/cm ²)	175 a 200
F'c 7 días (kg/cm ²)	225 a 255
F'c 28 días (kg/cm ²)	306 a 350
% de expansión a los 6 meses	<0.04%
% de expansión a 1 año	<0.05%

Nota: Datos tomados de la ficha técnica del cemento Rumi IP. (2022, p 1).

2.2.3 Agregados

Son partículas minerales finas que brindan resistencia mecánica y textura superficial al concreto y aseguran que la pasta permanezca en su lugar durante el curado y posterior agrietamiento, es por eso en la opinión de Romero y Hernández (2014) indica que generalmente los agregados constituyen más del 70% del material en un m³ de concreto; por tanto, se reduce el costo de la misma y la calidad de los agregados depende de su gradación granulométrica, peso específico, superficie y forma (p. 10).

2.2.3.1 Clasificación de los agregados.

Según Rivera (2000), se clasifican según su origen, ya sean naturales o de subproductos industriales; por ejemplo, los agregados naturales provienen de depósitos de hielo fluvial o glacial, mientras que los agregados artificiales provienen de subproductos industriales y procesos como arcillas expandidas, escorias de alto horno, limaduras de hierro, clinker y otros (pp. 42- 45). Los agregados se clasifican en base a



una variedad de criterios incluyendo su origen, textura y forma, así como su densidad y tamaño.

2.2.3.2 Según su procedencia.

Por su procedencia los agregados son naturales o artificiales, las mismas que a continuación se describen.

2.2.3.2.1 Agregados naturales.

Desde el punto de vista de Mollo y Rosas (2019), los agregados naturales pueden extraerse de canteras o recolectarse de los ríos, y estos últimos se distinguen de los primeros por su textura más suave y su forma más redondeada como resultado de los estragos de la erosión (p. 23).

2.2.3.2.2 Agregados artificiales.

Evidentemente estos agregados son un componente necesario del concreto y se derivan de subproductos industriales como ladrillos de arcilla expandida, escoria de hornos de alta temperatura y escoria del procesamiento de mineral de hierro, así como productos de desecho orgánicos como cáscara de arroz, hojas de palma y café, para reducir el costo del mortero y contribuir a mitigar la contaminación ambiental (Gutiérrez, 2003, p. 16).

2.2.3.2.3 Según su textura y forma superficial.

Según Rivera (2000), los agregados tienen formas geométricas irregulares compuesta por caras redondas aleatorias y caras angulares, la presencia de partículas alargadas y planas puede tener un impacto negativo en su trabajabilidad, durabilidad y facilidad de mezcla (véase tablas 2 y 3). Además, la trabajabilidad y adhesión de la pasta y el agregado también se ven afectadas por la textura (p. 54).

Tabla 2

Sistematización de las características de los agregados según su forma.

Forma	Descripción	Ejemplo
Redonda	Totalmente desgastada por el agua o completamente limada por frotamiento.	Grava de río o playa, arena del desierto, playa.
Irregular	Irregularidad natural o parcialmente limitada por frotamiento y con orillas redondeadas.	Otras gravas, pedernales del suelo o de excavación.
Escamosa	Material en el cual el espesor es más pequeño en relación a las otras dos dimensiones.	Roca laminada.
Angular	Posee orillas bien definidas que se forman en la intersección de caras más o menos planas.	Rocas trituradas de todo tipo, escoria triturada.
Alongadas	Material normalmente angular en el cual la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones.	

Nota: Datos tomados de Rivera (2000, p. 54).

Tabla 3

Sistematización de las características de los agregados según su textura.

Textura	Características	Ejemplo
Vítrea	Fractura concoide.	Pedernal negro, escoria vítrea.
Lisa	Desgastada por el agua, o liso debido a la fractura de roca laminada o de grano.	Gravas, pizarras, mármol, algunas reolitas.
Granular	Fractura que muestra granos más o menos uniformemente redondeados.	Arenisca.
Áspera	Fractura áspera de roca con granos finos o medianos que contienen constituyentes cristalinos no fácilmente visibles.	Basalto, felsita, pórfido, caliza.
Cristalina	Contiene constituyentes cristalinos fácilmente visibles.	Granito, Gabro, Gneis.
Apanalada	Con poros y cavidades visibles	Pómez, escoria espumosa, arcilla expandida

Nota: Datos tomados de Rivera (2000, p 55).

2.2.3.2.4 Según su tamaño.

Según Mollo y Rosas (2019), los agregados se clasifican por su tamaño desde partículas milimétricas hasta partículas con varios centímetros a esta distribución se denomina granulometría, el A°G° es retenida en la malla 4.75 mm (Nro 4), cumpliendo con los límites NTP 400.037. El A°G° debe estar formado por partículas limpias, angulares o semiangulares, duraderas, compactas, resistentes y rugosas. En cuanto al A°F° se define como la fragmentación de roca que pasa la malla de 3/8" (9.5 mm) y se retiene en la malla N° 200 (0.074 mm), el cual cumple con los límites NTP 400.037 para mayor detalle véase tabla 4 (p. 27).

Tabla 4

Sistematización de características de los agregados pétreos en función de su tamaño.

Tamaño de las partículas en mm (tamiz)	Denominación corriente	Clasificación como agregado para concreto
< 0.002	Arcilla	Fracción muy fina
0.002 - 0.074 Nro. 200	Limo	
0.075 - 4.760 Nro. 200 - Nro. 4	Arena	Agregado fino
4.76 - 19.10 Nro. 4 - 3/4"	Gravilla	
19.10 - 50.80 3/4" - 2"	Grava	
50.80 - 152.40 2" - 6"	Piedra	Agregado grueso
> 152.40 6"	Rajón Piedra bola	

Nota: Datos tomados de Niño (2010).



2.2.3.2.5 Según su densidad.

La densidad a menudo se clasifica como normal cuando el valor de G_e está entre 2.50 y 2.75, ligera cuando el valor de G_e es inferior a 2.50 y pesada cuando el valor de G_e es superior a 2.75. Para cada uno de ellos se han establecido diferentes técnicas y métodos de diseño y aplicación porque todos producen comportamientos distintivos en relación al hormigón (Pasquel, 1998, p. 72).

2.2.4 Agregado fino

Según Abanto (1995) es un aglomerado fino de piedra natural o arena finamente triturada que pasa por la malla de 3/8" (0,95 cm) y se retiene en la malla Nro. 200 (0,074 mm) conforme lo establece la FTP - 400.037. En cambio, el manual de prueba de materiales (EM 2000) del MTC - E 204 - 2000, que se basa en ASTM - 136 y AASHTO 35 T - 27, difiere las cuales han sido adaptadas a nuestra realidad, es decir, la muestra se dividirá en dos tamaños por la malla de 4,76 mm (Nro. 04) para mezclar agregados gruesos y finos, en la investigación se utilizó la malla No. 04 para separar agregados gruesos y finos es necesario precisar que el $A^{\circ}F^{\circ}$ representa entre 35 al 45% de la masa total de los agregados (pp. 23 - 25).

2.2.5 Agregado grueso

Según Márquez (2019) argumenta que para diseñar mezclas es necesario obtener las propiedades del $A^{\circ}G^{\circ}$ por lo que se deben realizar pruebas para determinar si el material es, por ejemplo, de forma angular o semiangular y si sus partículas son de textura suave o áspera. La grava y la piedra triturada son formas aceptables de $A^{\circ}G^{\circ}$ (p. 21).

2.2.6 Agua para el concreto

Es un elemento esencial en la fabricación de mezclas de hormigón porque hidrata el cemento, permitiéndole desarrollar sus propiedades de tracción, el agua también debe ser potable para que se fabrique el concreto, ya que el agua al ser usado para la elaboración



de CC debe cumplir lo que taxativamente establece la NTP 339.088, y ASTM C 109 M, por eso según Torre (2004) afirma que se puede usar agua potable e inodora para hacer concreto, no obstante, el agua no potabilizada también puede ser usada siempre y cuando cumplan con los requisitos mínimos, en ese sentido, el agua no potable suele utilizarse en el interior de los países, especialmente en las provincias, sobre todo cuando las obras civiles se realizan fuera de las ciudades o pueblos (p. 29).

2.2.7 Aditivos

Se refiere a las sustancias añadidas a los componentes básicos del hormigón para optimizar sus propiedades, los aditivos utilizados en el hormigón deben cumplir con las especificaciones ITINTEC 339.086, es por eso en la opinión de Abanto (1995) se utiliza principalmente para hacer el concreto más trabajable, retrasar o acelerar el endurecimiento inicial, acelerar la formación de resistencias tempranas, cambiar el ritmo de producción de calor de hidratación, disminuir la segregación y minimizar la retracción y los tipos más conocidos de aditivos son plastificantes, reductor de agua, retardador que alarga el tiempo de fraguado del concreto, acelerador que acorta el tiempo de fraguado, incorporadores de aire, impermeabilizantes e inhibidores de corrosión (pp. 43- 44).

2.2.8 Propiedades del concreto

Según Mollo y Rosas (2019), para comprender mejor las propiedades del hormigón, se recomienda analizar y estudiar cada componente por separado y en combinación, en consecuencia, las propiedades del hormigón están ligadas a las propiedades relativas de los materiales que lo integran, tales como la densidad de la mezcla, la relación a/c y el $A^{\circ}G^{\circ}$ y $A^{\circ}F^{\circ}$ (p. 9).

2.2.8.1 Propiedad de concreto fresco.

Son exudación, tiempo de fraguado, calor de curado, cohesión, contenido de aire, segregación, trabajabilidad, fluidez, cohesión y peso unitario de concreto nuevo. Las

pruebas de revenimiento, contenido de aire y peso unitario se llevarán a cabo como parte de la investigación para determinar el concreto adicionado con E°N° si es trabajable.

2.2.8.1.1 Trabajabilidad o manejabilidad.

Según Abanto (1995), indica qué tan bien se puede instalar, compactar y terminar el concreto recién mezclado sin separarlo ni rezumar, actualmente no existe una prueba que pueda cuantificar esta calidad, pero se puede ver en las pruebas de asentamiento o revenimiento, que miden qué tan fluida es la mezcla cuando está fresca (p. 47). En la misma línea Terreros y Carvajal (2016), afirma que la cantidad de agua mezclada, propiedad de los agregados, el contenido de aire, la relación pasta/agregado y el clima afectan el manejo del concreto y los parámetros preestablecidos de la consistencia se muestran en la tabla 5 (p. 28).

Tabla 5

Parámetros preestablecidos de consistencia para mezclas de concreto.

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración ligera
Fluida	Mayor a 5"	Muy trabajable	Chuseado

Nota: Datos tomados de Abanto (1995 p. 49), para concretos con diferentes grados de trabajabilidad en función del tipo de obra y de las circunstancias de colocación, se indican en la tabla 5 los valores de asentamiento que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma.

2.2.8.1.2 Segregación.

Es un fenómeno perjudicial para el hormigón fresco porque conduce a la separación del material en sus componentes, que luego pueden agrietarse y romperse, por tanto, la dosificación de las mezclas de concreto debe tener en cuenta la segregación, que puede mitigarse aumentando la proporción de A°F° en la mezcla, en ese sentido en la opinión del maestro Abanto (1995) indica generalmente procedimientos inadecuados



provocan la segregación, que ocurre cuando parte del concreto se mueve más rápido que el concreto adyacente, cuando se deja correr por canaletas, especialmente si cambian de dirección y cuando la mezcla está sobrevibrada (p. 50).

2.2.8.1.3 Exudación

Según Terreros y Carvajal (2016) afirman que cuando parte del agua sube del hormigón recién colocado a un nivel superior, después de que el concreto se haya evaporado esto ocurrirá, por tanto, se puede obtener un hormigón poroso y poco duradero (p. 30).

De manera concordante según Pasquel (1998), afirma que la exudación es una característica inherente a la estructura del hormigón, es fundamental controlarla y evaluarla para minimizar sus posibles efectos nocivos, asimismo, es la propiedad por la cual parte del aditivo se separa de la masa y se eleva hacia la parte superior del concreto (p. 141).

2.2.9 Propiedades del concreto en estado endurecido

La resistencia mecánica al esfuerzo de la compresión, la tracción, la impermeabilidad, resistencia al desgaste, las propiedades elásticas, térmicas y acústicas son todas características del hormigón duradero. El comportamiento del hormigón mejorado con E^oN^o será analizado mediante ensayos de resistencia al esfuerzo de compresión y tracción realizados como parte de la investigación.

2.2.9.1 Resistencia.

Dado que la durabilidad del hormigón no se puede probar en su estado plástico, lo habitual es tomar muestras durante la mezcla y realizar pruebas de compresión después del curado. Por esto, la resistencia a la compresión del concreto se alcanza en 28 días, el hormigón está diseñado para soportar fuerzas de compresión, Rivva (2010), define la

resistencia del hormigón como la fuerza máxima que se puede aplicar sin que se agriete (p. 36).

2.2.9.1.1 Resistencia a la compresión.

Según Sánchez (1996) generalmente las estructuras de concreto se diseñan bajo el supuesto de que solo resisten compresión, por lo que la resistencia al esfuerzo de compresión es el test de calidad para el diseño estructural (p. 349).

Según E. Arredondo (2015) y L. Arredondo (2015) afirman que la resistencia del concreto inicia a desarrollarse después de que el concreto se ha endurecido y generalmente la resistencia máxima se alcanza entre los 28 y 90 días (véase tabla 6), no obstante, se puede alcanzar una resistencia a edad temprana siempre y cuando se utilicen cementos especiales (p. 35).

Tabla 6

Resistencia de un concreto a los 28 y 90 días.

Concreto	Resistencia (Mpa)
CC	≤ 42
Concreto de alta resistencia	> 42 y ≤ 100
Concreto de ultra alta resistencia	> 100

Nota: Datos tomados de Niño (2010, p. 228).

2.2.9.1.2 Resistencia a la tracción.

La debilidad del CC a las fuerzas de tracción por lo general no se tiene en cuenta en el diseño típico de la estructura por eso según E. Arredondo (2015) y L. Arredondo (2015) afirman que la resistencia a la tracción del concreto es sustancialmente menor que a la compresión, pero el hormigón puede ganar su resistencia a la tracción mucho más rápidamente (p. 36).



2.2.9.1.3 Resistencia a flexión.

Según Terreros y Carbajal (2016) los elementos de flexión tienen una zona de compresión y una zona de tracción, esto es crucial en estructuras básicas de hormigón como pavimentos rígidos (p. 32).

2.2.10 Diseño de mezclas de concreto

Se conoce también como dosificación de mezcla al procedimiento que determina la cantidad en peso o volumen de material de cemento, $A^{\circ}G^{\circ}$, $A^{\circ}F^{\circ}$, agua y aditivos, tal como lo afirman Terreros y Carvajal (2016) para determinar la proporción de los ingredientes de una mezcla de concreto existen métodos experimentales, empíricos, analíticos y semianalíticos, estos métodos han evolucionado desde inicios del presente siglo, es por eso el diseño de mezclas de concreto tiene como objetivo optimizar los materiales con el máximo rendimiento, ya que se debe entender que toda mezcla se debe diseñar tanto para estado fresco y endurecido (p. 38).

En la actualidad hay una serie de métodos de diseño de mezclas de concreto, por eso Quispe y Ortiz (2020) afirman que el diseño de mezclas consta de una serie de pasos a seguir que se guían por gráficos que estiman la cantidad de agua a utilizar en base al TMN, la geometría de los agregados y la disposición de los asientos, las relaciones entre los métodos se basan en la resistencia a la compresibilidad determinada experimentalmente; las proporciones en que deben actuar piedra y arena se basan en consideraciones teóricas y prácticas; como resultado en general no existe un método perfecto que dé una proporción exacta e inviable para satisfacer los requerimientos deseados. Por ello las ventajas de un método sobre otro radican en la preferencia del proyectista (p. 129).

Según Quispe y Ortiz (2020) el método ACI 211 se utiliza para crear concreto que debe cumplir con los estándares pertinentes, sin embargo, esto no siempre es posible



porque los áridos utilizados no siempre están en perfectas condiciones. Por la cual el método ACI 211 generalmente produce mezclas más secas de lo esperado y requerido (p. 133).

2.3 ESCORIAS SIDERÚRGICAS

La escoria siderúrgica es un subproducto obtenido de la fabricación de acero ya que en los últimos años se utilizan como agregado siderúrgico sustituyendo a los agregados naturales en obras civiles.

2.3.1 Antecedentes históricos de la utilización de escorias

Las escorias ya han sido utilizadas por los romanos como agregado siderúrgico ya que aprovecharon sus propiedades para fabricar concreto, morteros y como también para estabilizar suelos, así dejar de ser consideradas como desechos a eliminar es por eso en esa misma línea Santamaría (2015) afirma que se utilizaban en el pasado las escorias de la producción de hierro y acero, es por eso el descubrimiento por Emil Langen de las capacidades hidráulicas de la escoria en el año 1862 se inició una nueva era para el reciclaje de este residuo industrial, sin embargo, la aceleración de la producción de acero a partir del siglo XIX provocó una inestabilidad en el proceso de reutilización de las escorias, al volverse perjudicial para el medio ambiente, la técnica de reutilización de escorias se volvió inestable. Las escorias se han almacenado masivamente en acopios y vertederos adyacentes a las instalaciones de producción al no poder reutilizarse en otras operaciones industriales, lo que se considera un daño y una degradación del medio ambiente, por eso se considera que esto perjudica al ecosistema y provoca su deterioro de la misma (pp. 3 - 4).

2.3.2 Definición del acero

Según McCormac y Csernak (2012) es una mezcla de hierro y carbono, normalmente menos del 1% y contiene pequeñas cantidades de otros elementos (p. 5). De



manera similar según Bowles (1993) afirma que el acero se fabrica refinando el mineral de hierro y la chatarra usando solventes apropiados como el coque y el oxígeno para generar grandes cantidades de mineral de hierro conocido como arrabio (p. 19). En concordancia según Maldonado (1996) define que los aceros son aleaciones de Fe y C tienen aparte del carbono cantidades ínfimas de manganeso, silicio, azufre y fósforo (pp. 2-3).

2.3.3 Clasificación del acero

Según Quiroz y Salamanca (2006) clasifica los aceros de acuerdo a su composición química: Primero, acero rico en carbono son aquellos que contienen carbono y otros elementos residuales como manganeso, silicio, fósforo y azufre; en segundo lugar, los aceros de baja aleación son aquellos que tienen cantidades excesivas de elementos residuales que no se encuentran en el acero rico en carbono y finalmente acero altamente aleado son aquellos que contienen niveles extremadamente altos de elementos de aleación. La microestructura de los aceros correspondientes puede alterarse en estas condiciones, lo que requiere técnicas especializadas y cuidado en los procesos de tratamiento térmico comerciales (p. 85).

2.3.4 Definición de las escorias siderúrgicas

Manso (como se citó en De la Fuente, 2001) define como el material que queda y flota sobre los caldos líquidos de las combinaciones férricas en cualquier fase intermedia o final del proceso de fabricación se denomina escoria siderúrgica. Este producto se obtiene del enfriamiento y solidificación de este material, como resultado la escoria es una sustancia complicada compuesta por una serie de sustancias más pequeñas que en su mayoría son de naturaleza líquida, su densidad es notablemente inferior a la del propio caldo, por lo que la flotación está asegurada y que además se encuentra en forma mayoritariamente líquida a las temperaturas de la fusión ferrosa, en concordancia Choque



(2012) lo define como un subproducto granular no metálico del proceso y tiene una densidad que lo hace flotar en la superficie cuando está en estado líquido, la escoria se forma principalmente a partir de la combinación de oxidantes, fundentes, carga metálica, cenizas y un revestimiento del horno (pp. 22 - 23).

Según Suárez (2018) afirma que los residuos industriales de acero son mezclas no metálicas formadas por óxidos que se producen a altas temperaturas a partir de mezclas e impurezas que flotan sobre el baño metálico por ser menos densas e insolubles en el metal (p. 16). De forma similar, Ortega (2011) señala que las escorias siderúrgicas tienen una composición muy diversa debido a la participación de una serie de componentes más simples que a temperaturas de fusión, permanecen suspendidos en la parte superior debido a su menor densidad en comparación con las densas fusiones férricas (p. 12).

Por otro lado, López y Pinedo (2015) la definen como una sustancia fabricada que se forma durante la refinación del metal por reacciones químicas entre el material primario, otros materiales agregados al horno e impurezas oxidadas. Las escorias son provenientes de las industrias que producen acero, níquel, manganeso, cromo, cobre, y otros y los diferentes tipos de escorias tienen funciones similares, pero varían ampliamente en sus propiedades físicas y químicas (p. 18).

2.3.5 Procesos de obtención de escorias

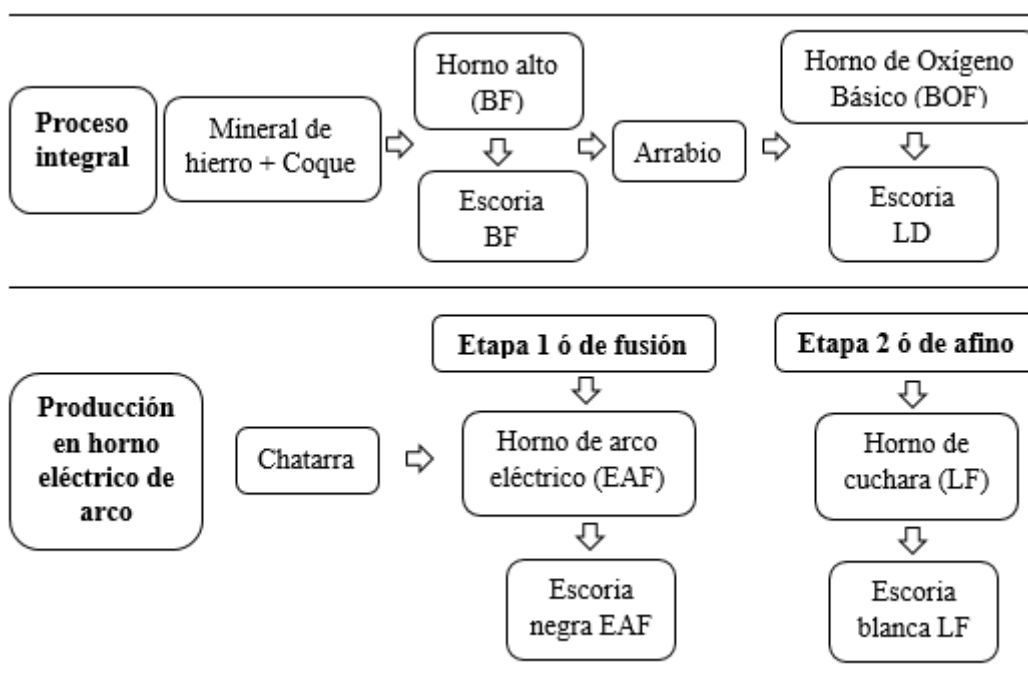
Según De la Fuente (2015) indica que los residuos producidos por la industria siderúrgica son muy diversos. La escoria y el polvo de acería constituyen la mayor parte de los residuos del proceso siderúrgico en términos de volumen y otros residuos producidos a lo largo del proceso siderúrgico son los refractarios, la arena de fundición, la cascarilla de laminación y el polvo de acería (p. 11).

Según Santamaría (2015) indica que la producción de acero es el objetivo final de las operaciones siderúrgicas es por eso obtener acero es el objetivo final, para ello se

utilizan dos métodos y tecnologías de fabricación: el primero utiliza un alto horno (proceso integral) y el segundo un horno eléctrico como se indica en la en la figura 1. De forma similar, las materias primas utilizadas en la producción de acero pueden ser arrabio, que se obtiene a partir de minerales de hierro, coque y fundentes o chatarra prerreducida de acero blando o hierro (p. 9).

Figura 1

La obtención de escoria y el proceso de fabricación de acero.



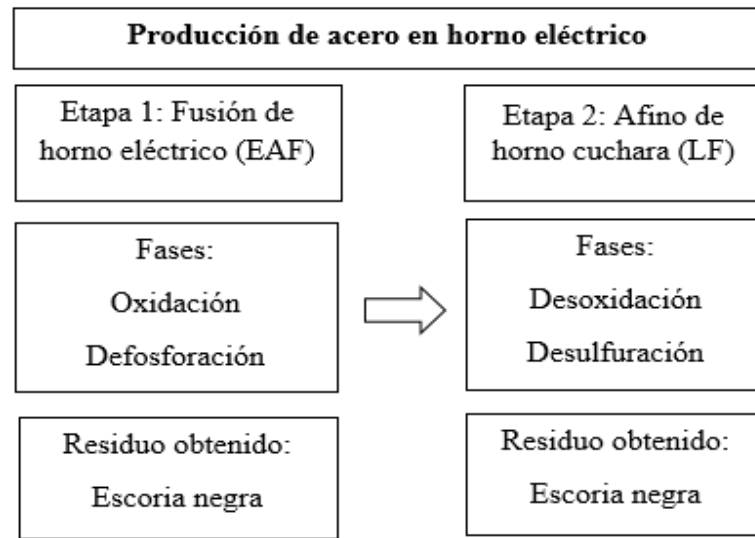
Nota: La figura muestra el procedimiento de obtención de los diferentes tipos de escoria.

Fuente: De la Fuente (2015, p. 12).

Según García (2017), la producción de acero por la vía EAF consta de dos fases: una primera donde se lleva a cabo la fusión de materias primas, principalmente chatarra, y el soplado con oxígeno esto se conoce como metalurgia primaria o de fusión, y se realiza en hornos EAF. La segunda etapa consiste en refinar el acero producido en la primera. Véase en detalle la figura 2.

Figura 2

Proceso de elaboración de acero con hornos EAF - LF.



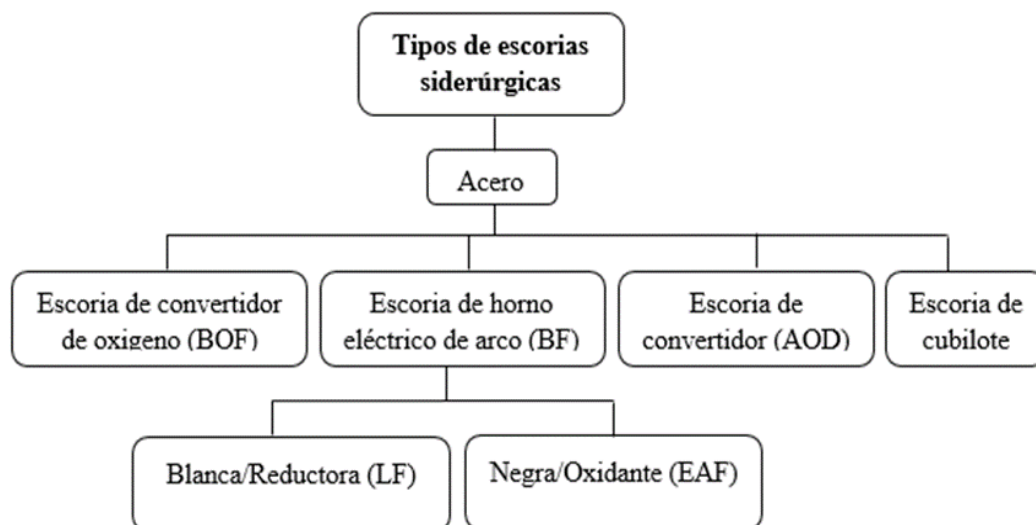
Nota: La figura muestra el procedimiento de obtención de la E^oN^o y blanca respectivamente. *Fuente:* Santamaría (2015, p. 23).

2.3.6 Tipos de escorias siderúrgicas

La figura 3 muestra las numerosas variedades de escorias en función de cómo se producen los distintos tipos de hierro y acero.

Figura 3

Resumen de tipos de escorias siderúrgicas.



Nota: La figura muestra los cuatro tipos de escoria, la escoria BF se subdivide en escoria negra y blanca. *Fuente:* Amaral y Prieto (como se citó en González, 2015, p. 9).



2.3.6.1 Escoria de horno eléctrico de arco (EAF).

Según IHOBE (como se citó en De la Fuente, 2015) define el EAF comúnmente denominada escoria negra (E°N°) es un subproducto del proceso de fusión de las materias primas en los hornos de arco eléctrico, que suelen ser cilíndricos y están recubiertos de material refractario. La materia prima esencial es la chatarra, que se coloca en el horno a través de la bóveda móvil situada en la parte superior, también pueden cargarse pequeñas cantidades de fundición prerreducida como componentes auxiliares. Además, se añaden ingredientes formadores de escoria, que retienen el revestimiento refractario del horno y que se componen principalmente de cal, sílice, magnesia y alúmina. También pueden cargarse pequeñas cantidades de hierro fundido prerreducido y ferroaleaciones como componentes auxiliares (p. 16).

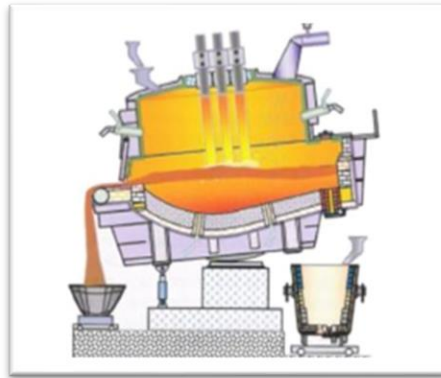
Suárez (2018) afirma que el proceso semi integrado para fabricar acero utiliza como materia prima chatarra ferrosa, que luego se funde en hornos de EAF, la chatarra también se mezcla con cales cálcicas y dolomíticas que al fundirse producen la E°N°, rico en óxidos de calcio, magnesio y silicio. Para crear la llamada escoria espumosa necesaria para proteger la maquinaria de la radiación del arco, se añaden oxígeno y antracita al proceso, esto también sirve para producir energía química. El óxido de hierro constituye entre el 20% y el 40% del E°N°, razón por la cual el óxido de hierro confiere a la sustancia su característico color negro y le da su nombre de E°N° (p. 17). De manera similar según Alonso y Puerto (2018) define la E°N° como un subproducto de la siderurgia, se crea tras la fusión del acero líquido, que tiene dos etapas de la ganga ácida del material férrico y las cenizas sulfurosas del coque, con cal y magnesia de calizas más o menos dolomíticas utilizadas como fundentes (pp. 37- 38).

2.3.6.1.1 Proceso de obtención de la E°N°.

Suárez (2018) afirma que la E°N° se retira primero del horno de arco eléctrico y se transporta a los patios donde se enfría al aire libre o con ayuda de agua y las características finales del E°N° en cuanto a composición química y mineralógica dependen del proceso metalúrgico realizado en el horno y de la rapidez de enfriamiento, como se muestra en las figuras 4, 5 y 6 (p. 18).

Figura 4

Retiro de E°N° del horno eléctrico.



Nota: La figura muestra extracción de escoria del horno eléctrico.

Fuente: Suárez (2018, p. 18).

Figura 5

Disposición de E°N°.



Nota: La figura muestra la eliminación de escoria negra del horno de arco eléctrico.

Fuente: Suárez (2018, p. 18).

Figura 6

Enfriamiento de E°N°.



Nota: La figura muestra el proceso de enfriamiento de la E°N°.

Fuente: Suárez (2018, p. 18).

2.3.6.1.2 Composición mineralógica E°N°.

En la composición mineralógica de la E°N° están presentes cantidades significativas de silicato bicálcico, cal libre, wüstita, espinela, ferrita dicálcica y las fases magnéticas Fe₃O₄ (magnetita) y Fe₂O₃ (óxido férrico), véase en detalle tabla 7.

Tabla 7

Muestra la composición mineralógica de E°N°.

Óxidos de hierro		Silicatos		Compuestos de calcio y magnesio	
FeO	Wüstita	2CaOSiO ₂	Larnita	Ca(OH) ₂	Portlandita
Fe ₂ O ₃	Hematita	CaMg(SiO ₄) ₂	Merwinita	CaCO ₂	Calcita
Fe ₃ O ₄	Magnetita	Ca ₂ Al ₃ SiO ₇	Gelenita	Eventualmente:	
-	-	MgSiO ₃	Clioenstatita	CaO	Cal libre

Nota: Datos tomados de Vázquez y Barra (como se citó en De la Fuente, 2015, p. 18).

2.3.6.1.3 Composición química de E°N°

En la tabla 8 se describe la composición química de la E°N° el componente químico preponderante es el CaO y seguidamente por SiO₂, Al₂O₃, MgO, FeO y otros.

Tabla 8

Composición química de la E°N°.

Composición química (%) E°N°						
	Barra	Luxán	Manso	Shi	Tossavainen	Tsakiridis
	2001	2000	2006	2004	2007	2008
CaO (óxido de calcio)	29.50	24.40	23.90	35.00-60.00	38.80	35.70
SiO ₂ (dióxido de silicio)	16.10	15.40	15.30	9.00-20.00	14.10	17.50
Al ₂ O ₃ (óxido aluminico)	7.60	12.20	7.40	2.00-9.00	6.70	6.30
MgO (óxido de magnesio)	5.00	2.90	5.10	5.00-15.00	3.90	6.50
FeO (óxido de hierro)	-	34.40	-	15.00-30.00	5.60	-
Fe ₂ O ₃ (óxido férrico)	32.56	-	-	-	20.30	36.40
Fe _{total}	-	-	42.50	-	-	-
SO ₃ (trióxido de azufre)	0.60	-	0.10	0.10-0.20	-	-
MnO (óxido de manganeso)	4.50	5.60	4.50	3.00-8.00	5.00	2.50
TiO ₂ (dióxido de titanio)	0.78	0.56	-	-	-	0.80
P ₂ O ₅ (pentóxido de difósforo)	0.60	1.20	-	0.00-0.30	-	-

Nota: Datos tomados de Yildirim y Prezzi (como se citó en García, 2017, p. 25).

2.3.6.1.4 Caracterización física de la E°N°.

Tabla 9

Resultados de ensayos realizados a la E°N° acorde a las normas ASTM.

Promedios de muestras analizadas	
Ensayos según normas ASTM	Escorias
Fracción gruesa	96.39
Fracción fina	3.61
Agregado grueso	57.10
Agregado fino	42.90
SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)	GW (grava bien graduada)
AASHTO	A1a (fragmentos pétreos, grava y arena)
Max. densidad seca gr/cm ³	2.17
Optimo contenido de humedad %	5.64
Humedad natural %	3.67
Peso específico gr/cm ³	2.67
Absorción %	4.70
Gravedad específica finos	3.24
Equivalente de arena %	57.62
Límite líquido	NP (no plástico)
Límite plástico	NP
Índice de plasticidad	NP
CBR (Ensayo de Relación de Soporte de California) al 95%	80.56
Abrasión %	31.33
Durabilidad fina (pérdidas %)	1.69
Durabilidad gruesos (pérdidas %)	1.17
PH (potencial de hidrógeno)	10.80
CE (conductividad eléctrica) (ds/m)	7.28
SST (sólidos suspendidos totales) (ppm)	4656.00
Cloruros (ppm)	1331.50
Sulfatos (ppm)	975.00

Nota. Datos tomados de GEOMASTER (como se citó en Figueroa y Mamani 2019, p.18).

2.3.6.1.5 Propiedades físicas E°N°.

En cuanto a las características físicas de la escoria cabe mencionar que en comparación con los áridos naturales la E°N° tiene una densidad muy elevada, tal como se muestra y detalla en las tablas 9 y 10.

Tabla 10

Muestra las propiedades físicas de E°N°.

Propiedad	Árido grueso	Árido fino
Tamaño (mm)	4.76 - 25.00	0.00 - 4.76
Densidad aparente (g/cm ³)	3.35	3.70
Absorción (%)	3.29	2.84
Porosidad (%)	10.5	-
Desgaste de los ángeles (%)	≅ 20.00	-

Nota: La densidad de la E°N° es más alta con respecto a los agregados naturales.

Fuente: De la Fuente (2015, p. 19).

2.4 PAVIMENTOS RÍGIDOS

Según Montejo (2002) define el pavimento rígido como una estructura formada por una serie de capas algo horizontales diseñados y construidos adecuadamente con capas bien compactados (p. 1). Cabe destacar que existen tres tipos de pavimentos, de acuerdo a la superficie de rodadura y la forma en la que transfieren los esfuerzos y deformaciones a las capas inferiores, estas son pavimentos flexibles, por otro lado, el pavimento semirrígido y por último los pavimentos rígidos.

En concordancia al párrafo precedente Camposano y García (2012) indican que el pavimento rígido está conformado por bloques de hormigón hidráulico que en ocasiones exhiben una armadura de fierro; cuesta más que el pavimento flexible y dura entre 20 y 40 años. El mínimo mantenimiento requerido solo afecta a las uniones de los bloques (p. 18). En la misma línea Vásquez y Prado (2016) afirman que pavimento rígido está conformado por: sub rasante, sub base y la losa de concreto además el soporte natural, preparado y compactado conocido como subrasante se utiliza para construir pavimentos (p. 15).



Según Condorchoa (2019) afirma que la losa de concreto es la capa superior de la estructura de soporte del pavimento, es excepcionalmente adecuada para distribuir las cargas de manera homogénea en la parte inferior de la losa gracias al alto módulo de elasticidad y alta rigidez del hormigón. Sin embargo, esta capa también es la más vulnerable a la intemperie y al tráfico de vehículos (p. 37). En la presente investigación se va utilizar la guía AASHTO edición 1993 para el determinar el espesor de la losa del pavimento.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 METODOLOGÍA

3.1.1 *Tipo de investigación*

El estudio es cuantitativo puesto que tiene más de dos variables las cuales son adición de E°N°, porcentajes de agregado grueso y propiedades del concreto de $f'c = 210$ kg/cm².

3.1.2 *Nivel de investigación*

El nivel del estudio es correlacional ya que se va relacionar la influencia de una variable sobre otra, es decir la variable de adición de E°N° con las variables de propiedades mecánicas del pavimento rígido está conformado por: sub rasante, sub base y la losa de concreto sin y con adición de E°N° sobre porcentajes de agregado grueso, además el análisis estadístico será bivariado ya que no se pretende demostrar relaciones de causalidad, sino cuantificar la relación entre variables y el planteamiento de la hipótesis en la investigación empírico.

3.1.3 *Diseño de investigación*

Es experimental para probar las hipótesis postuladas, se va utilizar los análisis estadísticos de medidas de centralización, dispersión y asimetría y para la evaluación de la comprobación de hipótesis se va utilizar la distribución normal y t de Student.

3.1.4 *Población y muestra*

La población del estudio es casi ilimitada, ya que es el CC que se usa para la construcción de pavimentos rígidos en la capital de la región Puno, por lo tanto, es imposible realizar la aleatorización, en ese entender se ha optado en realizar el muestreo no probabilístico conocido también a juicio o a criterio.



Como los objetivos específicos del estudio es analizar la influencia de la adición de E°N° sobre porcentajes del A°G° en la resistencia al esfuerzo de compresión simple y flexión del concreto de $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$, determinar la influencia de la inclusión de E°N° en la trabajabilidad del concreto fresco de $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y determinar la densidad del concreto a diferentes porcentajes con adición E°N° en el concreto de $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$, para cada una de ellas la cantidad de ensayos a realizarse fueron elegidos en estricto cumplimiento a las normas técnicas internacionales y nacionales, de acuerdo a los volúmenes de concreto requerido.

La cantidad de muestras para determinar y medir la resistencia a la compresión simple del CC y del concreto con adición de 10, 20, 30 y 40% de E°N° respectivamente se sustenta en mérito y cumplimiento del reglamento ACI 318S/318SR (2005) que da lineamientos para concreto estructural en ella establece taxativamente que se deben realizar dos probetas como mínimo por cada muestreo de concreto (pp. 69-70). En ese contexto la cantidad de muestras para la prueba de resistencia a compresión simple de los concretos mencionados se van elaborar tres probetas cilíndricas de CC y tres probetas cilíndricas para cada adición en porcentaje de E°N° respectivamente, siendo la cantidad de probetas en total cuarenta y cinco, los mismo se describen y se cuantifican en la tabla 11 y es menester precisar que el ensayo de compresión simple se va realizar en estricto cumplimiento lo establecido en NTP -339.033 y ASTM C 31.

La cantidad de muestras para determinar y medir la resistencia a la flexión del CC y del CC con adición de 10, 20, 30 y 40% de E°N° respectivamente se sustenta en mérito y cumplimiento del reglamento ACI318S/318SR. (2005) que da lineamientos para concreto estructural, en ella establece taxativamente que se deben realizar dos probetas como mínimo por cada muestreo de concreto (pp. 69-70). En ese contexto la cantidad de muestras para medir la resistencia del esfuerzo a flexión de los concretos mencionados se

van elaborar cinco viguetas prismáticas de CC y cinco para cada adición en porcentaje de E°N° respectivamente, siendo un total de veinticinco viguetas prismáticas, los mismo se describen y se cuantifican en la tabla 12, además de especificar que para el ensayo de flexión se va tomar en cuenta los lineamientos de NTP -339.183 y ASTM C 78.

Tabla 11

Cantidad de probetas cilíndricas de CC sin y con adición E°N° para compresión.

Descripción	Cantidad de probetas cilíndricas		
	7 días	14 días	28 días
CC	3.	3	3
CC con 10% de E°N°	3	3	3
CC con 20% de E°N°	3	3	3
CC con 30% de E°N°	3	3	3
CC con 40% de E°N°	3	3	3

Notas: Cantidad de testigos de concreto para el ensayo de compresión simple.

Tabla 12

Cantidad de viguetas prismáticas de CC sin y con adición de E°N° para la flexión.

Descripción	Cantidad de viguetas	Periodo de rotura
	prismáticas	(días)
CC	5	28
CC con 10% de E°N°	5	28
CC con 20% de E°N°	5	28
CC con 30% de E°N°	5	28
CC con 40% de E°N°	5	28

La cantidad de nuestras para determinar y medir la trabajabilidad del concreto convencional y con adición de 10, 20, 30 y 40% de E°N° respectivamente ambos en estado fresco, en ese entender de conformidad con la norma ASTM C 143/C143M-10, (2010) se ha determinado la cantidad de muestras para el ensayo de trabajabilidad de los concretos mencionados se van elaborar tres ensayos de concreto convencional y tres para

cada adición en porcentaje de E°N° respectivamente, sienten un total de 15 muestras (véase tabla 13). Finalmente, para determinar la trabajabilidad de las muestras se van a realizar en el marco de las normas NTP -339.035 y ASTM C 143.

Tabla 13

Cantidad de ensayos para medir la trabajabilidad del concreto fresco.

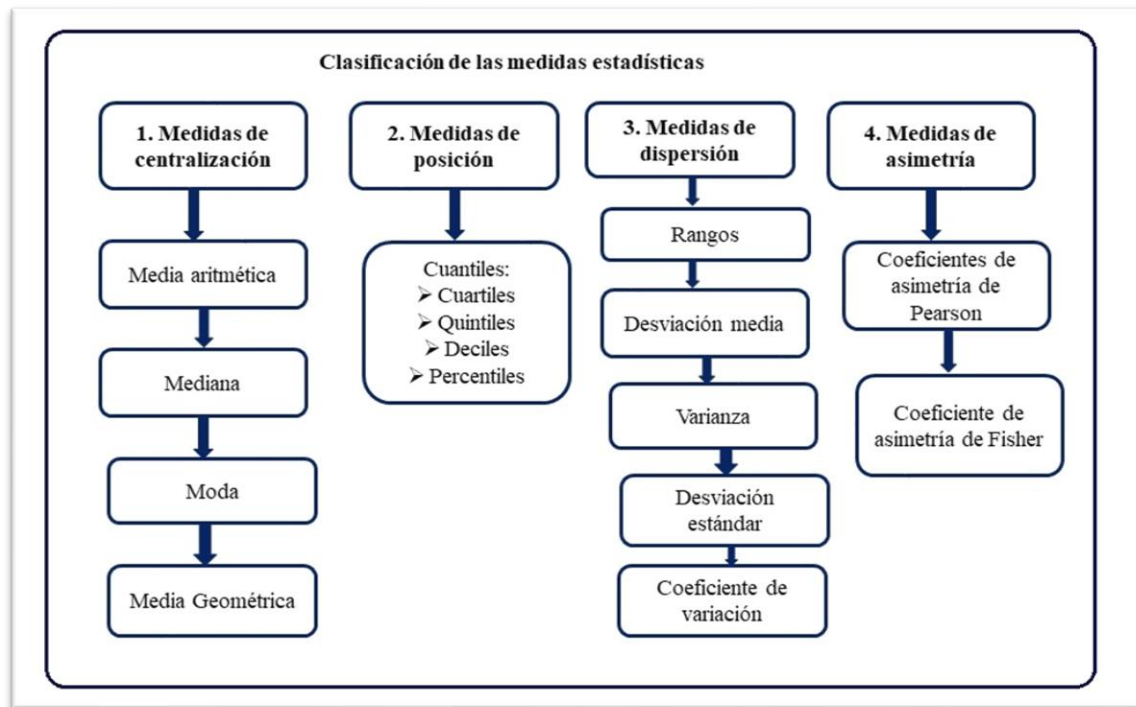
Descripción	Cantidad de pruebas
	Slump
CC	3
CC con 10% de E°N°	3
CC con 20% de E°N°	3
CC con 30% de E°N°	3
CC con 40% de E°N°	3

3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El estudio estadístico es muy importante para evaluar los resultados de los ensayos realizados, porque permite tener certeza y confianza de los resultados de los ensayos, es por eso en una tesis se usan varias gráficas con datos agrupados, esto permite obtener la tabla de distribución de frecuencias, histograma de frecuencias y hallar las medidas centralización, dispersión y asimetría (véase figura 7), de ese modo observar la distribución de los datos analizados (Isidro, 2017 p. 36). En esta investigación se van a determinar y calcular las medidas de centralización, dispersión y medidas de asimetría, específicamente de las probetas cilíndricas con y sin adición de E°N° a los 7, 14 y 28 días de curado y viguetas prismáticas con y sin adición de E°N° a los 28 días de edad.

Figura 7

Clasificación de las medidas estadísticas.



Fuente: Ramos et al. (2017, p. 162).

3.2.1 Datos y variables

Según Alea, et al. (2015) afirman que los datos estadísticos se definen como la observación de las características de interés; en consecuencia, los datos son una colección de valores numéricos o modalidades, es decir, son el conjunto de observaciones de una o más características recogidas de una población o una muestra. Las características de los sujetos a investigar son las variables, que pueden tener muchas modalidades o valores (p. 5). En la investigación los datos estadísticos de interés son los resultados de las 45 probetas cilíndricas que se han sometidos a ensayo de compresión simple a los 7, 14 y 28 días de curado y los resultados de 25 viguetas prismáticas sometidos a cargas flexión a los 28 días y las variables es la adición sobre porcentajes del agregado grueso en 10, 20, 30, y 40% de E°N° a los probetas y viguetas.

3.2.2 Distribución de frecuencias

Según Salazar y Del Castillo (2018), afirman que los elementos de una tabla de distribución de frecuencia para variables discretas o continuas son: la primera es el tamaño de intervalos de clase (NI) esta es el resultado de la categorización o clasificación de una variable, se presenta en el extremo izquierdo el límite inferior y el extremo derecho el límite superior, la segunda son las marcas de clase, esta es el punto medio del valor máximo y mínimo de cada clase, la tercera es la f_i de clase, este es el número de veces que se repite una frecuencia de una clase, la cuarta es la F_i de clase, esta es la acumulación sucesiva de las frecuencias absolutas, la quinta es la h_i y H_i esta viene a ser el cociente de la frecuencia absoluta y el número total de datos y la frecuencia acumulada resulta de la acumulación sucesiva de las frecuencias relativas, la sexta es la frecuencia relativa porcentual ($h_i\%$) representa el porcentaje de datos de cada clase y la séptima es la frecuencia relativa acumulada porcentual ($H_i\%$) que representa el porcentaje sucesivo acumulado de datos de cada clase (p. 23).

En suma, con los resultados de la tabla de frecuencias en la presente investigación se va determinar el número de elementos que hay en cada clase, además se va determinar las medidas de tendencia central, teniendo en cuenta que la investigación tiene datos agrupados y estos resultados se va utilizar para el análisis de la prueba hipótesis.

3.2.3 Representaciones gráficas

Conforme como lo definen según Alea et al. (2015) la representación gráfica de los datos es una herramienta muy útil que, en primer lugar, permite captar de forma rápida y sencilla los aspectos pertinentes de la distribución de frecuencias, después mejora la comprensión del fenómeno estudiado, por último, se utiliza para identificar errores en los datos (pp. 9-14). En suma, los gráficos más utilizados son el diagrama de barras, el diagrama de escalera, histograma de frecuencias, polígono de frecuencias y diagrama de

tallo y hojas. Es por eso en la investigación se va utilizar la representación gráfica de histograma de frecuencias y diagrama de barras.

3.2.4 Rango de datos (R)

Según Ramos et al. (2017) afirman que el rango o amplitud total, también conocido como recorrido, es una primera medida adecuada de variabilidad y que se determina como la diferencia entre el mayor valor y el menor valor de la colección de observaciones (p. 217). Es decir, es una medida que solamente considera los valores extremos sin considerar los valores intermedios, no da un valor sobre la dispersión y se calcula con la ecuación 1 y 2.

Ecuación para determinar R de datos cuando se trata de variables cuantitativos.

$$R = V_{\max.} - V_{\min} \quad (1)$$

Ecuación para determinar R de datos cuando se trata de variables cualitativos.

$$R = (V_{\max.} - V_{\min}) + 1 \quad (2)$$

3.2.5 Número de intervalos de clase (NI)

En la investigación la cantidad de intervalos se va calcular con la regla de Sturges teniendo en cuenta que el número de datos de probetas cilíndricas es tres para CC, tres para CC con adición 10% de E°N°, tres para CC con adición 20% de E°N°, tres para CC con 30% de E°N° y tres para CC con 40% de E°N°, y para viguetas prismáticas cinco para CC, cinco para CC con 10% de E°N°, cinco para CC con 20% de E°N°, cinco para CC con 30% de E°N° y cinco para CC con 40% de E°N° y se calcula con la ecuación 3.

$$NI = 1 + 3.322 * (\text{Log}N). \quad (3)$$

Donde.

N: Número de datos

3.2.6 Medidas de centralización o de tendencia central

Según Salazar y Del Castillo (2015) indican que a menudo resulta importante utilizar un número para identificar los grupos de observación. Se denomina medida de centralización a este valor, que tiende a situarse en el centro de la distribución de los datos. Utilice medidas de tendencia de acuerdo con el tipo de variable examinada, teniendo en cuenta que existen factores cualitativos y cuantitativos. Las principales tendencias son la aritmética, la ponderada, la geométrica, la armónica, la mediana y la moda. En la investigación se va considerar las medidas de centralización de u , u_m y u_o para grupos agrupados y las variables son cuantitativas.

3.2.6.1 Media aritmética (u).

Según Ramos et al. (2017) la media aritmética, conceptualiza como la suma de los datos observados de una variable cuantitativa estas pueden ser discretas o continuas, dividida por el número total de las observaciones y se simboliza con una (u) (p. 162). Para el caso concreto, es decir en esta investigación, la resistencia promedio de todos los ensayos individuales de las probetas y viguetas son $X_{i f_i}$. Por tanto, la media aritmética para este caso se especifica como la resistencia promedio de todos los probetas y viguetas de concreto con y sin adición de E°N° elaboradas de la misma edad y se calcula con la ecuación 4.

$$u = \frac{\sum_{i=1}^k X_i f_i}{n} \quad (4)$$

Donde:

u : Media aritmética

X_i : Valor i -ésimo de la variable

f_i : Frecuencia del i -ésimo valor de la variable

n : Numero de datos.

3.2.6.2 Mediana (u_m).

Según Alea et al. (2015), la mediana divide la distribución de frecuencias en dos mitades con igual número de elementos y se calcula mediante la ecuación 5. La mediana es el valor de la variable correspondiente al elemento que ocupa la posición central. (p. 42)

$$u_m = L_{i-1} + \frac{0.5n - N_{i-1}}{n_i} a_i \quad (5)$$

Siendo:

L_{i-1} : El límite inferior del intervalo que contiene a la mediana.

n : Tamaño de la muestra.

N_{i-1} : La frecuencia absoluta acumulada del intervalo anterior al que contiene la mediana.

n_i y a_i : Son respectivamente la frecuencia absoluta y la amplitud del intervalo mediano.

3.2.6.3 Moda (u_0).

Salazar y Del Castillo (2018), definen la moda como el valor de la observación que tiene la frecuencia más alta, la u_0 al igual que la mediana, puede determinarse para cualquier grupo de datos porque no se ve afectada por la presencia de valores extremos y puede determinarse para categorías con intervalos abiertos (p. 56) y se determina con la ecuación 6.

$$u_0 = L_0 + \left[\frac{f_0 - f_{0-1}}{(f_0 - f_{0-1}) + (f_0 - f_{0+1})} \right] * C_0 \quad (6)$$

Donde:

L_0 : Extremo inferior del intervalo modal (intervalo que tiene mayor frecuencia absoluta).

F_0 : Frecuencia absoluta del intervalo modal.

F_{0-1} : Frecuencia absoluta del intervalo anterior al modal.

F_{0+1} : Frecuencia absoluta del intervalo posterior al modal.

C_0 : Ancho del intervalo de clase de la moda.

3.2.7 Medidas de dispersión

Según Salazar y Del Castillo (2018) afirman que estas medidas son complementarias a las medidas de centralización y son necesarias para comprender mejor la distribución de un grupo de observaciones realizadas en el análisis estadístico ya que en conjunto proporcionan una descripción numérica más completa de los datos. Además, hay que recordar que, aunque las medidas de tendencia central a menudo pueden señalar un número que se encuentra en el centro de la distribución, no pueden decirnos lo disperso o variable que es el conjunto de datos. La comparación de los niveles de dispersión entre dos o más distribuciones también es posible mediante el estudio de los resultados de estas medidas (p. 67). Las principales medidas de variabilidad que se van a utilizar en esta investigación son: rango o amplitud de variación, σ , σ^2 y CV.

3.2.7.1 Varianza (σ^2).

Según Alea et al. (2015) la describen como la media de las desviaciones al cuadrado respecto a la (u) y afirman que es una medida de dispersión respecto a la (u). Las características más importantes de la varianza son que nunca toma valores negativos y que es cero si todos los valores de la distribución son iguales, otra de sus características destacables es que la varianza permanece invariable cuando se añade la misma cantidad a todos los valores observados, es decir, cuando se cambia el origen. A continuación, la varianza cambia cuando todas las observaciones de la distribución se multiplican por la misma constante, es decir, cuando se cambia la escala o las unidades de medida, y se calcula mediante la ecuación 7 (p. 60).

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - u)^2}{n-1} \quad (7)$$

Donde:

σ^2 : varianza



n: Número de datos

u: Media aritmética

x_i : Valor de la marca de clase i

3.2.7.2 Desviación estándar (σ).

Según Alea et al. (2015) definen como el valor positivo de la varianza; esto permite establecer intervalos centrados en la media que al menos contengan un cierto porcentaje de observaciones. También es necesario señalar que la desviación típica verifica las mismas propiedades que la varianza porque no es negativa, sólo se ve afectada por los cambios de escala y es cero cuando σ^2 es cero (p. 61) y se determina con la ecuación 8.

$$\sigma = +\sqrt{\sigma^2} \quad (8)$$

Donde:

σ : Desviación estándar

σ^2 : Varianza

3.2.7.3 Coeficiente de variación (CV).

Desde el punto de vista de Alea et al. (2015), afirman que es una medida de dispersión relativa y que es el cociente entre la desviación típica y el valor absoluto de la media. En consecuencia, se expresa como porcentaje de la media se puede comparar la dispersión en torno a la media de dos o más distribuciones, a pesar de que puedan tener unidades de medida o medias aritméticas distintos. Además, los cambios de unidades (cambios de escala) no tienen ningún efecto sobre el coeficiente de variación, por lo que cuando $X = 0$, el CV es indeterminado y se determina utilizando la ecuación 9 (p. 62).

$$CV = \frac{\sigma}{u} * 100 \quad (9)$$

Donde:

CV: coeficiente de variación



σ : Desviación estándar

u: media aritmética

3.2.8 Diseño de prueba de hipótesis.

Según Beltrán (2012), no es posible saber con absoluta certeza si una hipótesis estadística es verdadera o falsa porque para lograr ese objetivo habría que considerar a toda la población. En cambio, uno trabaja con una muestra aleatoria de la población de interés y analiza los datos para proporcionar evidencia a favor o en contra de la hipótesis. Si la evidencia de la muestra contradice la hipótesis, se rechaza; si lo admite, se acepta (p. 44).

Por tanto, las hipótesis son declaraciones formales de explicaciones establecidas de forma probable, por ende, los tipos de hipótesis en la investigación puede ser de tres tipos, la primera son las hipótesis relacionales, en este se realiza el análisis del cambio de una variable respecto al cambio de otra variable, la segunda es la hipótesis de diferencias entre grupos, en esta se usa en diseños causales, permite realizar comparaciones entre grupos y finalmente la tercera es la hipótesis acerca de diferencias de algún estándar, esta se suele usar a prueba de una proporción o de diferencia de promedios. En esta tesis se va utilizar la hipótesis correlacional.

El procedimiento de la comprobación de hipótesis se deben seguir los siguientes pasos, el primero es el planteamiento del problema, el segundo es el nivel de significancia o significación, esta se define como una probabilidad crítica vinculada a una evaluación estadística, que indica cuán probable es la validez de una inferencia que apoya una diferencia entre un valor observado y alguna expectativa estadística, la tercera es el cálculo de valor crítico según la distribución de la probabilidad y el cuarto paso es estadística de la prueba y finalmente la decisión. Para la comprobación de hipótesis estadística correlacional se toma en consideración lo siguiente:



Hipótesis nula $H_0: p = 0$ (no existe correlación) \rightarrow Si $p > \alpha$ aceptar H_0

Hipótesis alterna $H_a: p \neq 0$ (existe correlación) $\rightarrow p \leq \alpha$ rechazar H_0

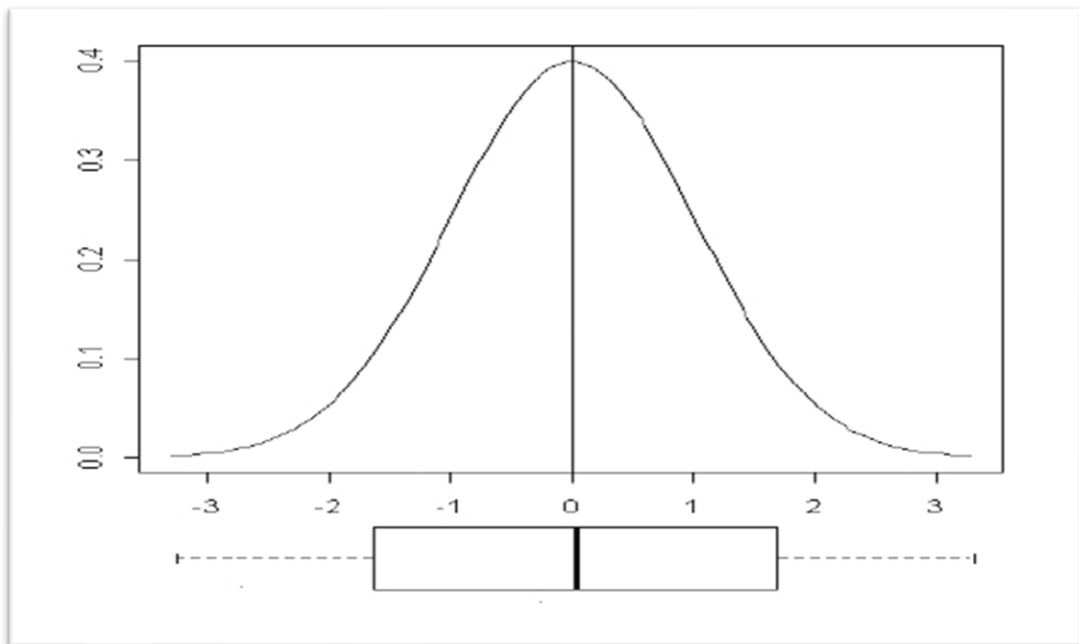
En suma, para la comprobación de hipótesis se va utilizar la distribución normal (campana de Gauss), y el t de Student y la estadística descriptiva específicamente la desviación estándar, ya que esta demostrará la viabilidad de la cantidad de muestras a usarse, la media, ya que con esta se determinará la resistencia del concreto adicionado con E°N° en base de la desviación estándar es por eso la prueba de hipótesis para determinar la resistencia a la compresión y flexión del CC adicionado con E°N° se utilizará el análisis estadístico de distribución de frecuencias, histograma de frecuencias, distribución de campana de Gauss y prueba t.

3.2.9 Medidas de asimetría

Como lo afirman Alea et al. (2015), una distribución de frecuencias es simétrica si tiene un eje de simetría en su representación gráfica que es perpendicular al eje de abscisas y garantiza que la porción de la distribución a un lado del eje es la imagen especular de la porción al otro lado del eje (véase figura 8). Si la cola, o los valores más alejados de la media, están a la derecha, la distribución es sesgada positivamente; en caso contrario, es asimétrica y se considera que la cola tiene una asimetría negativa si está a la izquierda, para mayor detalle véase figura 9 (p. 64).

Figura 8

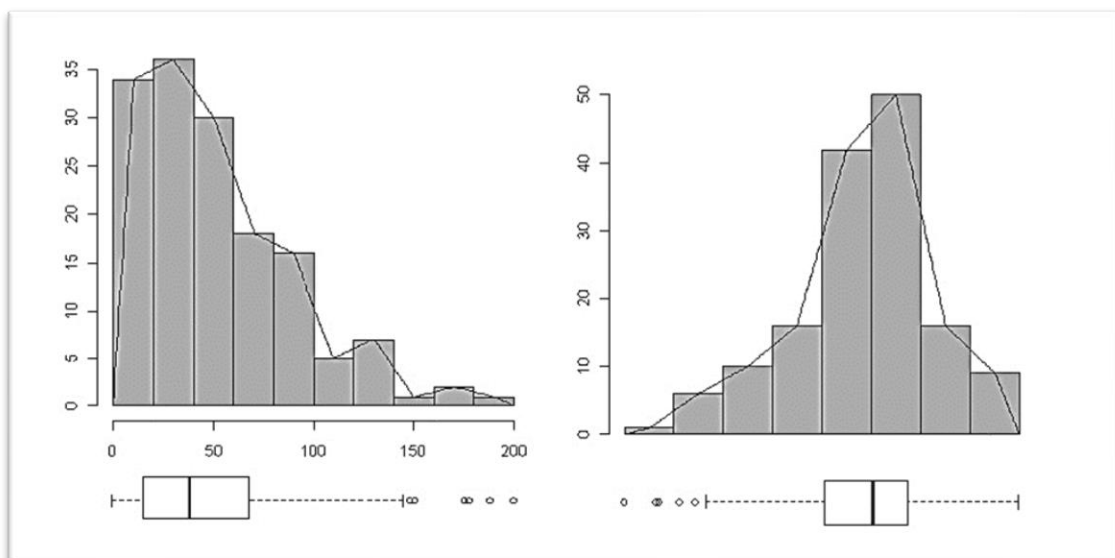
Descripción de la distribución simétrica.



Nota: Datos tomados de Alea et al. (p. 64).

Figura 9

La de izquierda tiene asimetría positiva y la derecha asimetría negativa.



Nota: Datos tomados de Alea et al. (p. 64).



3.2.9.1 Coeficiente de asimetría de Pearson.

Según los puntos de vista de Alea et al. (2015) afirman que la primera condición es cierta si la distribución es simétrica, la (u) es igual a la (u_o) y $A = 0$, y la distribución tiene forma de campana, con una sola moda y asimetría moderada, puede utilizarse como medida de asimetría el coeficiente de (A). Si la (u) es mayor que la (u_o) entonces $A > 0$ y la asimetría es positiva; del mismo modo, hay asimetría negativa, cuando la (u) es menor que la (u_m) entonces $A < 0$ y se calcula con la ecuación 10 (p. 65).

$$A = \frac{u - u_m}{\sigma} \quad (10)$$

Donde:

A: Asimetría de Pearson

u: Media aritmética

u_m : Mediana

σ : Desviación estándar

3.2.9.2 Distribución normal o distribución de Gauss.

Según Gorgas et al. (2011) la distribución normal es indiscutiblemente la distribución de probabilidad continua más significativa en estadística, porque describe con precisión la distribución de las variables vinculadas a muchos fenómenos de la naturaleza, en particular las mediciones de magnitudes físicas, que suelen distribuirse normalmente. La distribución normal también da una muy buena aproximación de los errores de medición. Por otra parte, cabe señalar que la distribución normal, que también se conoce como distribución de Gauss, es una aproximación decente a otras distribuciones de probabilidad, como la distribución binomial y de Poisson en determinadas circunstancias (p. 90).

3.2.10 Distribución t de Student

Conocido también como distribución t, es una distribución de probabilidad que surge de la dificultad de determinar la media de una población distribuida normalmente cuando el tamaño de la muestra es pequeño como es el caso del de la presente investigación, ahora bien, la prueba t Student se va utilizar específicamente para contrastar las hipótesis planteadas en la investigación sobre medidas en poblaciones con distribución normal.

3.2.10.1 Media aritmética (u).

Conocido también como promedio aritmético, en la investigación es el promedio de los resultados obtenidos según grupos de prueba y se calcula con la ecuación 11.

$$u = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_i}{n} \quad (11)$$

Donde:

$X_1 + X_2 + X_3 \dots + X_i$: son los resultados parciales de los grupos de prueba de los ensayos de trabajabilidad, densidad, resistencia a compresión y flexión de CC y CC con 10%, 20%, 30% y 40% de E°N°.

n: es la cantidad total de muestras.

3.2.10.2 Desviación estándar (σ).

Tiene la misma unidad de medida que la variable y es la raíz cuadrada positiva de la varianza y se determina con la ecuación 12.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1-u)^2 + (x_2-u)^2 + (x_3-u)^2 \dots + (x_i-u)^2}{n-1}} \quad (12)$$

La prueba t se va utilizar específicamente para contrastar las hipótesis planteadas en la presente investigación y se determina con las ecuaciones 13 y 14.

Ecuación para calcular varianza común.

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)^2 * \sigma_1^2 + (n_2-1)^2 * \sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (13)$$

Ecuación para calcular estadístico t.

$$t_p = \frac{u_1 - u_2}{\sigma_p \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (14)$$

Donde:

n_1 y n_2 : Tamaños de los grupos 1 y 2 respectivamente.

u_1 y u_2 : Medias aritméticas de los grupos 1 y 2 respectivamente.

σ^2_1 y σ^2_2 : Varianzas de los grupos 1 y 2 respectivamente.

σ_p : Varianza común.

t_p : Estadístico t.

Con el valor de significancia, a través del uso de la tabla estadística del anexo U se obtiene el valor de t_α y se compara con el valor obtenido de estadístico de prueba (t_p). Para los grupos evaluados de trabajabilidad, densidad en estado seco, resistencia a compresión y flexión, se planteó:

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

$$H_a: u_1 > u_2$$

Entonces se rechaza H_0 si: $t_p > t_\alpha$

Entonces se rechaza H_0 si: $t_p < -t_\alpha$

3.3 MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

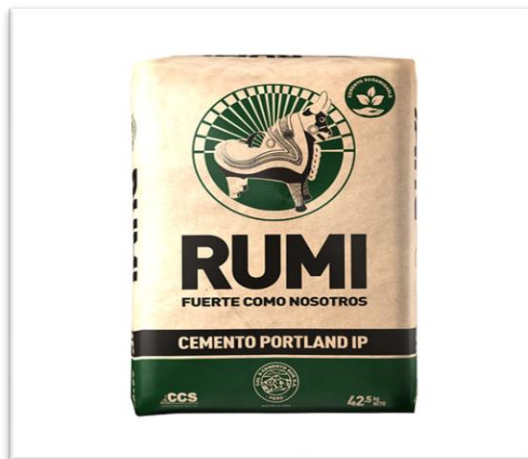
Todos los materiales que se han utilizado en la investigación han sido extraídos y adquiridos en la región de Puno, a excepción de la escoria que se ha transportado desde la provincia de Pisco, departamento de Ica, específicamente de la empresa siderúrgica Aceros Arequipa S.A. cuyas características se describen y se cuantifican a continuación.

3.3.1 Cemento

En el estudio se va utilizar cemento Portland IP tipo I, de marca Rumi (véase figura 10), fabricado en la cementera de Yura de la provincia y departamento de Arequipa, para la elaboración de probetas y viguetas de concreto con y sin adición de E°N° con un peso de 42.5 Kg cuyas características se describe en la tabla 1. La razón porque se ha optado la utilización de este tipo de cemento es porque esta se puede utilizar para obras de concreto en general que no requieran propiedades especiales especificadas tal como se establece en la NTP 334.009 además de que el objetivo general del estudio es determinar la influencia de la adición de E°N° sobre porcentajes del E°N° en las propiedades del CC en pavimentos rígidos de la ciudad de Puno, es decir el análisis se va realizar para un CC y no uno especial.

Figura 10

Cemento Portland IP utilizado para elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas.



3.3.2 Agregados

La cantera de Cutimbo, en el departamento, provincia y distrito de Puno de Pichacani Laraqueri, proporcionó los agregados gruesos y finos. A continuación, se describen y cuantifican las propiedades de los áridos y de la cantera de Pichacani Laraqueri, provincia y departamento de Puno.

3.3.2.1 Descripción y ubicación de la cantera.

La cantera de Cutimbo, que se encuentra a 24 kilómetros de la ciudad de Puno, fue de donde se extrajeron los agregados para este estudio, específicamente, cerca del desvío del puente Cutimbo camino a la ciudad de Moquegua, cuyas coordenadas UTM se muestran en la tabla 14 y figura 11, el material es el más apropiado, de buena calidad y accesible, por lo que se eligieron los agregados de esta cantera ya que actualmente, es el material más utilizado para la construcción de obras civiles en Puno y los pueblos cercanos a la cantera.

Tabla 14

Localización de la cantera Cutimbo – Puno en coordenadas UTM.

Coordenadas UTM Zona 19 Sur				
Nro.	Nombre	Este (X)	Norte (Y)	Altura o cota (Z)
BM	Cantera Cutimbo	391,760.00	8,226,665.00	3,912.00

Figura 11

Equipo de investigación realizando el levantamiento topográfico en Cutimbo.



3.3.2.2 Determinación de la potencia o capacidad de la cantera.

Con el propósito de determinar la capacidad o la potencia de la cantera mencionada, se vio por conveniente realizar un levantamiento topográfico del relieve y de la orografía del lugar, para tal fin se han utilizado equipos de topografía, como son: un estación total con todo sus accesorios, un GPS (Sistema de Posicionamiento Global), una brújula, un flexómetro y otros herramientas y accesorios para concretar la meta, como resultado se ha obtenido las coordenadas UTM, cuyos datos y plano de ubicación, localización y perimetral de la cantera Cutimbo se encuentra en anexo C de la presente investigación.

Con las coordenadas UTM y la cotas descritos y cuantificados en la tabla 14, figura 12 y en el anexo C se ha determinado: el área y el perímetro de la cantera de Cutimbo, ahora bien con lo que concierne al cálculo de la profundidad la cantera de agregados se ha realizado las mediciones in situ a los estratos en los cortes ya explotados con anterioridad, cuyos datos son: 4.15 m, 4.45 m, 3.85 m, 3.70 m y 4.05 m, y calculando la media aritmética resulta una profundidad promedio de 4.04 m de profundidad.

Tabla 15

Datos necesarios para calcular la potencia de cantera.

Descripción	Datos	Unidad
Área	20456.17	m ²
Perímetro	2740.45	m
Profundidad del estrato prom.	4.04	m
Estrato orgánico	0.06	m
Over	3.00	%

Nota: Datos tomados de Isidro (2018, p. 78).

Con los datos glosados en la tabla 15 se procedió a calcular la potencia bruta de la cantera con la ecuación 15.

$$P_b = A * PP \quad (15)$$



Donde:

Pb: Potencia bruta de cantera

A: Área explotable de la cantera

PP: Profundidad promedio del estrato

$$Pb = 20456.17 \text{ m}^2 * 4.04\text{m} = 82642.93 \text{ m}^3$$

De la tabla 16 se tiene el mover es igual al 3.00% de la potencia bruta:

$$\text{Over} = 0.030 * 82642.93 \text{ m}^3 = 2479.29 \text{ m}^3$$

El desbroce se calcula con la ecuación 16.

$$\text{Desb} = A * \text{EO} \tag{16}$$

Donde:

Des: desbroce de la cantera

A: Área explotable de la cantera

EO: Estrato orgánico

$$\text{Des} = 20456.17 \text{ m}^2 * 0.06\text{m} = 1227.37\text{m}^3$$

Se procedió a determinar la potencia efectiva de la cantera con la ecuación 17.

$$\text{PE} = (\text{Pb} - \text{Over} - \text{Des}) \tag{17}$$

Donde:

PE: Potencia efectiva

Pb: Potencia bruta

Des: Desbroce

$$\text{PE} = (82642.93 \text{ m}^3 - 2479.29 \text{ m}^3 - 1227.37 \text{ m}^3) = 78936.27 \text{ m}^3$$

Figura 12

Equipo de investigación recabando datos para determinar la potencia de la cantera.



3.3.3 Escoria negra (E°N°)

En la investigación se utilizó E°N° de acería, desechados por Aceros Arequipa S.A. específicamente de la planta Nro. 02, la misma está ubicada en la provincia de Pisco, región de Ica - Perú. En la visita realizada por los investigadores se pudo visualizar que la E°N° emerge a una temperatura 1590 °C aproximadamente luego es depositado en un pozo de material refractorio capaces de resistir temperaturas altas.

Figura 13

Los investigadores realizando el acopio de E°N° en la planta de Aceros Arequipa.



3.3.3.1 Ubicación.

Los depósitos de la E°N° se encuentran en las instalaciones de la Corporación Aceros Arequipa S.A. en el extremo oeste de la planta Nro. 2 de Pisco a 400 m de la nave de acería aproximadamente, ubicada en el km 234 de la carretera Panamericana Sur, provincia de Pisco, departamento de Ica, las cordenas UTM se muestran en la tabla 16 y en las figuras 13 y 14.

Tabla 16

Coordenadas UTM de ubicación de la planta Nro. 02 de Aceros Arequipa S.A.

Coordenadas UTM Zona 19 Sur				
Nro.	Nombre	Este (X)	Norte (Y)	Cota (Z)
1	Planta de aceros Arequipa S.A.	373725.9369	8475344.017	36.67

Figura 14

Ubicación geográfica de la planta siderúrgica aceros Arequipa - Pisco.



3.3.3.2 Volumen.

Según Figueroa y Mamani (2019) que la industria siderúrgica genera entre 100 y 300 kg de E^oN^o por cada tonelada de acero fabricada, Aceros Arequipa ha generado 160 000 TM de E^oN^o en el 2012 y se prevé que aumente a 270 000 TM para el 2023. Actualmente la empresa tiene almacenadas más de 250 000 TM de estos residuos, sin darle un uso productivo o alternativo que los aproveche y estos se siguen acumulando (pp. 6-14). En concordancia Choque (2012), afirma que Sider Perú produce de 120 a 150 kilogramos por tonelada métrica (kg/TM) de escoria de acero por día y en esa misma línea Marquina (2008, p. 03) concluye que Aceros Arequipa en Ilo produce 143 kg/TM de escoria por día (véase figura 15). Por las consideraciones expuestas, la Planta Nro 02 produce 200200 toneladas aproximadamente de E^oN^o por año, lo que equivale 13347 volquetadas de 15 m³, por tanto, es imperativo su reutilización en aras de salvaguardar el medio ambiente, dando un uso productivo a E^oN^o almacenadas manejar estos residuos de una manera no contaminante y reducir la explotación de canteras naturales.

Figura 15

Escoria negra acumulada en la planta Nro. 02 de aceros Arequipa S.A.





3.3.4 Agua

Para realizar los ensayos en la investigación se utilizó agua potabilizada por la EMSA - Puno, ya que los ensayos se realizaron en el laboratorio Megalaboratorio del Sur S.R.L., cuyas instalaciones quedan en la ciudad de Puno y departamento de Puno.

3.4 ENSAYOS REALIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

La cantidad de ensayos a realizarse se ha determinado realizando el muestreo no probabilístico es por eso para determinar la cantidad de muestras para medir la resistencia del concreto a esfuerzos de compresión y flexión simple y del CC con adición de 10, 20, 30 y 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ respectivamente se ha tomado en consideración el reglamento ACI318S/318SR actualmente vigente, la misma se sustenta en el ítem de población y muestra y se describen detalladamente en las tablas 11 y 12 respectivamente, con lo que respecta la cantidad de ensayos para medir la trabajabilidad del concreto convencional y con adición de 10, 20, 30 y 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ respectivamente ambos en estado fresco se ha tomado en cuenta la norma ASTM C143/C143M -10 actualmente vigente la misma se justifica en el ítem de población y muestra y se describe detalladamente en la tabla 13. Con respecto a la cantidad del número de ensayos de w (%), peso específico y absorción, peso unitario suelto y compactado, análisis granulométrico de los agregados y $E^{\circ}N^{\circ}$ se ha determinado en observancia y estricto cumplimiento de la NTP 400.010 denominado determinación del número de muestras de los agregados.

Para la ejecución de las pruebas se han tenido en cuenta las directrices, métodos y definiciones de las respectivas normas técnicas; estas normas se enumeran en la tabla 17.

Tabla 17*Lista de todas las pruebas realizados en laboratorio de construcciones.*

N°	Descripción de ensayos	N° de ensayos	Normas técnicas	
			NTP	ASTM
1	Contenido de humedad (agregado grueso, E°N° y agregado fino)	9	339.185	C 566
2	Peso específico y absorción (agregado grueso, E°N° y agregado fino)	3	400.021 y 400.022	C 127 y C 128
3	Peso unitario (agregado grueso, E°N° y agregado fino)	18	400.017	C 29
4	Análisis granulométrico (agregado grueso, E°N° y agregado fino)	3	400.012	C 136
5	Trabajabilidad del concreto fresco - prueba de Slump	15	339.035	C 143
6	Resistencia a la compresión simple de probetas de concreto	45	339.034	C 39
7	Resistencia a la flexión de vigas prismáticas de concreto con carga en el punto central	25	339.079	C 293 - 02
8	Densidad del concreto	5	-	-

3.4.1 Ensayos realizados en los agregados y E°N°

En la investigación los ensayos de laboratorio referidos a los A°G° y A°F° se realizaron en estricto cumplimiento a las normas técnicas descritas en la tabla 18. Con lo que respecta a la E°N° de aceria en la actualidad no existe norma técnica nacional ni internacional vigente que, de lineamientos, procedimientos y definiciones de la misma, por tanto, como las características físicas son similares o semejantes al agregado grueso, los investigadores han visto por conveniente utilizar supletoriamente las normas correspondientes al agregado grueso para los ensayos que correspondan.

Figura 16

Cuarteo de E°N° para realizar los ensayos de laboratorio conforme a la NTP 400.010.



3.4.1.1 Contenido de humedad de A°G°, A°F° y E°N°.

El ensayo del w (%) es muy importante, porque sirve para determinar la humedad del agregado, es decir el w (%) es la relación entre la cantidad de agua que existe en el agregado en su estado natural y el peso seco del mismo. El procedimiento para determinar el w (%) es igual para determinar tanto para el A°G°, como para el A°F° y para la E°N°. En la presente tesis se ha cumplido minuciosamente la NTP 339.185, ASTM C 566 en ella están establecidos taxativamente los equipos requeridos y el procedimiento del ensayo se calcula con la ecuación 18.

$$W(\%) = \frac{W_w - W_s}{W_s} * 100 \quad (18)$$

Donde:

w (%): Contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje

W_w : Masa de la muestra húmeda original en gramos

W_s : Masa de la muestra seca en gramos

3.4.1.1.1 Normas técnicas.

En esta investigación se cumplió irrestrictamente las normas técnicas vigentes siguientes:

- NTP 339.185
- ASTM C 566

Figura 17

Equipo de investigación realizando el ensayo de W (%) tanto A°G° y A°F°.



Figura 18

Procedimiento del contenido de humedad de la E°N°.



3.4.1.1.2 Resultados obtenidos.

Después de realizar cuidadosamente todo el procedimiento establecido por las normas técnicas NTP 339.185 y ASTM C 566 se han obtenido los siguientes resultados.

Tabla 18

Resultados del ensayo de w (%) del A°G°.

Descripción	Unidad	Número de ensayos		
		I	II	III
Peso de la cápsula	gr.	31.26	29.84	32.21
Peso de cápsula con muestra húmeda	gr.	428.14	493.75	465.64
Peso de cápsula con muestra seca	gr.	421.25	485.53	458.32
Peso del agua	gr.	6.89	8.22	7.32
Peso de la muestra seca	gr.	389.99	455.69	426.11
Contenido de humedad	%	1.77	1.80	1.72
Contenido de humedad promedio	%		1.76	

Tabla 19

Resultados del ensayo de w (%) de la E°N°.

Descripción	Unidad	Número de ensayos		
		I	II	III
Peso de la cápsula	gr.	30.46	31.72	29.95
Peso de cápsula más muestra húmeda	gr.	318.32	384.68	342.54
Peso de cápsula más muestra seca	gr.	315.68	381.45	339.58
Peso del agua	gr.	2.64	3.23	2.96
Peso de la muestra seca	gr.	285.22	349.73	309.63
Contenido de humedad	%	0.93	0.92	0.96
Contenido de humedad promedio	%		0.94	

Tabla 20*Resultados del ensayo de w (%) del A°F°.*

Descripción	Unidad	Número de ensayos		
		I	II	III
Peso de la cápsula	gr.	29.85	31.18	30.43
Peso de cápsula más muestra húmeda	gr.	324.59	362.97	343.6
Peso de cápsula más muestra seca	gr.	315.16	352.43	333.42
Peso del agua	gr.	9.43	10.54	10.18
Peso de la muestra seca	gr.	285.31	321.25	302.99
Contenido de humedad	%	3.31	3.28	3.36
Contenido de humedad promedio	%		3.32	

3.4.1.2 Peso específico y absorción del A°G° y E°N°.

Este experimento se realizó para averiguar la densidad media de las partículas de A°G° y E°N°, dado que los agujeros entre las partículas obviamente no se incluyen en esta prueba, el peso específico, también conocido como G_e , y la absorción de A°G° y E°N° se discuten, calculan y cuantifican a continuación. Los equipos requeridos y el procedimiento para este ensayo están descritos en NTP 400.021 y ASTM C 127 las mismas se han cumplido en el presente trabajo de investigación además se ha realizado los cálculos con las ecuaciones 19, 20, 21 y 22.

Ecuación para calcular peso específico aparente.

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B-C} \quad (19)$$

Ecuación para calcular peso específico aparente.

$$\text{Peso específico aparente (S.S.S.)} = \frac{B}{B-C} \quad (20)$$

Ecuación para calcular peso específico nominal.

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{A-C} \quad (21)$$

Ecuación para calcular la absorción.

$$\text{Absorción} = \frac{B-A}{A} * 100 \quad (22)$$

Donde:

A: Peso al aire de la muestra secada en el horno (gr.)

B: Peso de la muestra S.S.S. (gr.)

C: Peso en el agua de la muestra saturada (gr.)

3.4.1.2.1 Normas técnicas.

En la investigación se cumplió irrestrictamente las normas técnicas vigentes siguientes:

- NTP 400.021
- ASTM C 127

Figura 19

Muestra de A°G° en estado S.S.S.



Figura 20

Procedimiento de ensayo de peso específico de E°N°.



Nota: La figura muestra el secado de E°N° con la franela después de haber sumergido en agua y se deja la muestra en estado S.S.S.

Figura 21

Muestra de E°N° saturada superficialmente seca.



3.4.1.2.2 Resultados obtenidos.

Tabla 21

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

Símbolo	Descripción	Unidad	Cantidad
A	Peso de la muestra secada al horno	gr.	1563.73
B	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr.	1600.58
	Peso de la canastilla sumergida	gr.	168.92
	Peso de la canastilla sumergida más muestra S.S.S. sumergida	gr.	1141.16
C	Peso de la muestra saturada superficialmente seca sumergido en agua	gr.	972.24

Tabla 22

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

N°	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Peso específico aparente (A/(B-C))	gr/cm ³	2.49
2	Peso específico aparente S.S.S. (B/(B-C))	gr/cm ³	2.55
3	Peso específico nominal (A/(A-C))	gr/cm ³	2.64
4	Porcentaje de absorción ((B-A)/A)*100	%	2.36

Tabla 23

Datos obtenidos del ensayo de peso específico y absorción de la E°N°.

Símbolo	Descripción	Unidad	Cantidad
A	Peso de la muestra secada al horno	gr.	1718.18
B	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr.	1800.34
	Peso de la canastilla sumergida	gr.	170.86
	Peso de la canastilla sumergida más muestra S.S.S. sumergida	gr.	1416.64
C	Peso de la muestra saturada superficialmente seca sumergido en agua	gr.	1245.78

Tabla 24

Resultados del ensayo de peso específico y absorción de la E°N°.

N°	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Peso específico aparente (A/(B-C))	gr/cm ³	3.10
2	Peso específico aparente S.S.S. (B/(B-C))	gr/cm ³	3.25
3	Peso específico nominal (A/(A-C))	gr/cm ³	3.64
4	Porcentaje de absorción ((B-A)/A)*100	%	4.78

3.4.1.3 Peso específico y absorción del A°F°.

La prueba de la gravedad específica, también conocida como prueba de la densidad relativa, consiste en calcular la densidad media sin tener en cuenta la cantidad de espacios entre las partículas, la densidad media de un cierto número de partículas A°F°, es decir la relación peso/volumen de una masa dada es en esencia, la densidad relativa de los agregados. Se utiliza para determinar el peso y el volumen de una masa concreta y para determinar cuánto espacio ocupa el árido en una mezcla estándar. Con respecto a los equipos y herramientas requeridos para este ensayo y la descripción del procedimiento del mismo están establecidas en la NTP 400.022 y ASTM C 128 y los cálculos se determinaron con las ecuaciones 23, 24, 25 y 26.

Ecuación para calcular peso específico aparente.

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B+S-C} \quad (23)$$

Ecuación para calcular peso específico aparente s.s.s.

$$\text{Peso específico aparente (S.S.S.)} = \frac{S}{B+S-C} \quad (24)$$

Ecuación para calcular peso específico nominal.

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{B+A-C} \quad (25)$$

Ecuación para calcular la absorción.

$$\text{Absorción} = \frac{S-A}{A} * 100 \quad (26)$$

Dónde:

A: Peso seco de la muestra.

B: Peso del frasco más agua.

C: Peso del frasco más agua y muestra.

S: Peso de la muestra saturada del A° F° con superficie seca.

3.4.1.3.1 Normas técnicas.

En esta investigación se cumplió irrestrictamente las normas técnicas vigentes siguientes:

- NTP 400.022
- ASTM C 128

Figura 22

Procedimiento del llenado del A° F° al frasco y girado de la fiola.



Figura 23

Equipo de investigación realizando el ensayo y registrando los datos correspondientes.



Figura 24

Primer desmoronamiento del A°F° estado S.S.S.



3.4.1.3.2 Resultados obtenidos.

Tabla 25

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

Símbolo	Descripción	Unidad	Cantidad
S	Peso de la muestra de arena superficialmente seca	gr.	500.00
B	Peso del picnómetro más peso del agua	gr.	709.26
C	Peso de la arena superficialmente seca más peso del picnómetro más peso del agua	gr.	1011.97
A	Peso de la arena secada al horno	gr.	479.82

Tabla 26

Resultados del ensayo de peso específico y absorción del A°F°.

N°	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Peso específico aparente ($A/(B+S-C)$)	gr/cm ³	2.43
2	Peso específico aparente S.S.S. ($S/(B+S-C)$)	gr/cm ³	2.53
3	Peso específico nominal ($A/(B+A-C)$)	gr/cm ³	2.71
4	Porcentaje de absorción $((S-A)/A)*100$	%	4.21

3.4.1.4 Peso unitario y porcentaje de vacíos del A°G°, E°N° y A°F°.

Este ensayo se realiza para determinar el peso unitario de A°G°, A°F° y E°N° tanto en estado compactado como suelto. Por consiguiente, este ensayo consiste en medir los huecos entre las partículas de una masa de A°G°, A°F° y E°N°; los agregados utilizados en este ensayo deben tener un diámetro inferior a 12,7 cm (5 pulgadas). El peso unitario cambia en función de las circunstancias y cualidades inherentes a los áridos y E°N°, tales como su forma, granulometría y TM, es vital dejar esto claro. En resumen, para llevar a cabo este ensayo se han seguido los requisitos de las normas NTP 400.017 y ASTM C 29, que describen el equipo necesario para este ensayo, así como los procesos que deben seguirse. Los resultados se utilizarán posteriormente para construir mezclas o

dosificar mezclas, y para determinar las proporciones porcentuales de A°G° y E°N° con el fin de convertir las dosis de peso a volumen.

3.4.1.4.1 Normas técnicas.

- NTP 400.017
- ASTM C 29

3.4.1.4.2 Resultados obtenidos A°G° y E°N°.

En las tablas 28, 29, 30, 31, 32 y 33, se muestran los valores obtenidos del ensayo de peso unitario tanto del A°G° y E°N°.

Tabla 27

Procedimiento para calcular el volumen del molde C.

Medidas	D (cm)	H (cm)	Volumen del molde cm ³
I	15.26	30.12	
II	15.24	30.15	
III	15.27	30.08	
Promedio	15.26	30.12	5505.76

Nota: Las dimensiones mostradas se obtuvieron después de realizar la medición de la briquetera (molde C) del laboratorio.

Tabla 28

Procedimiento para calcular el volumen del molde C₁.

Medidas	D (cm)	H (cm)	Volumen del molde (cm ³)
I	15.28	30.11	
II	15.26	30.14	
III	15.25	30.09	
Promedio	15.26	30.11	5509.96

Nota: Las dimensiones mostradas se obtuvieron después de realizar la medición de la briquetera (molde C₁) del laboratorio.

Figura 25

Apisonado de E°N° por capas en el ensayo de peso unitario compactado.



Figura 26

Procedimiento del ensayo de peso unitario suelto y compactado de la E°N°.



Tabla 29*Resultados del ensayo de peso unitario suelto del A°G°.*

Descripción	Unidad	Número de muestras		
		I	II	III
Peso del molde(A)	gr.	4780	4780	4780
Peso de molde más muestra(B)	gr.	12890	12830	12865
Peso de la muestra(B-A)	gr.	8110	8200	8185
Volumen del molde(C)	cm ³	5505.76	5505.76	5505.76
Peso unitario((B-A)/C)	gr/cm ³	1.47	1.49	1.49
Peso unitario suelto	gr/cm ³		1.483	
Peso unitario suelto	kg/m ³		1483	

Nota: El cálculo del volumen del molde C se describe en la tabla 27.**Tabla 30***Resultados del ensayo de peso unitario suelto de la E°N°.*

Descripción	Unidad	Número de muestras		
		I	II	III
Peso del molde(A)	gr.	4785	4785	4785
Peso de molde más muestra(B)	gr.	14840	14915	14760
Peso de la muestra(B-A)	gr.	10055	10130	9975
Volumen del molde(C ₁)	cm ³	5509.96	5509.96	5509.96
Peso unitario((B-A)/C ₁)	gr/cm ³	1.82	1.84	1.81
Peso unitario suelto	gr/cm ³		1.825	
Peso unitario suelto	kg/m ³		1825	

Nota: El cálculo del volumen del molde C₁ se describe en la tabla 28.

Tabla 31*Resultados del ensayo de peso unitario compactado del A°G°.*

Descripción	Unidad	Número de muestras		
		I	II	III
Peso del molde(A)	gr.	4780	4780	4780
Peso de molde más muestra(B)	gr.	13640	13605	13665
Peso de la muestra(B-A)	gr.	8860	8825	8885
Volumen del molde(C)	cm ³	5505.76	5505.76	5505.76
Peso unitario((B-A)/C)	gr/cm ³	1.61	1.60	1.61
Peso unitario compactado	gr/cm ³		1.609	
Peso unitario compactado	kg/m ³		1609	

Nota: El cálculo del volumen del molde C se describe en la tabla 27.**Tabla 32***Resultados del ensayo de peso unitario compactado de la E°N°.*

Descripción	Unidad	Número de muestras		
		I	II	III
Peso del molde(A)	gr.	4785	4785	4785
Peso de molde más muestra(B)	gr.	16355	16215	16290
Peso de la muestra(B-A)	gr.	11570	11430	11505
Volumen del molde(C ₁)	cm ³	5509.96	5509.96	5509.96
Peso unitario((B-A)/C ₁)	gr/cm ³	2.10	2.07	2.09
Peso unitario compactado	gr/cm ³		2.087	
Peso unitario compactado	kg/m ³		2087	

Nota: El cálculo del volumen del molde C₁ se describe en la tabla 28.

3.4.1.4.3 Agregado fino.

Figura 27

Llenado del molde 15x30 cm con A°F° para calcular el peso unitario.



Figura 28

Peso unitario suelto y compactado del A°F°.



Tabla 33*Resultados del ensayo de peso unitario suelto del A°F°.*

Descripción	Unidad	Número de muestras		
		I	II	III
Peso del molde(A)	gr.	4780	4780	4780
Peso de molde más muestra(B)	gr.	13225	13270	13205
Peso de la muestra(B-A)	gr.	8445	8490	8425
Volumen del molde(C)	gr/cm ³	5505.76	5505.76	5505.76
Peso unitario((B-A)/C)	gr/cm ³	1.53	1.54	1.53
Peso unitario suelto	gr/cm ³		1.535	
Peso unitario suelto	kg/m ³		1535	

Nota: El cálculo del volumen del molde C se describe en la tabla 27.**Tabla 34***Resultados del ensayo de peso unitario compactado del A°F°.*

Descripción	Unidad	Número de muestras		
		I	II	III
Peso del molde(A)	gr.	4780	4780	4780
Peso del molde más muestra(B)	gr.	13975	13925	13995
Peso de la muestra(B-A)	gr.	9195	9145	9215
Volumen de molde(C)	cm ³	5505.76	5505.76	5505.76
Peso unitario((B-A)/C)	gr/cm ³	1.67	1.66	1.67
Peso unitario compactado	gr/cm ³		1.668	
Peso unitario compactado	kg/m ³		1668	

Nota: El cálculo del volumen del molde C se describe en la tabla 28.

3.4.2 Ensayo y análisis de granulometría de los agregados y E•N°

Según Quispe y Ortiz (2020) la distribución granulométrica volumétrica se representa numéricamente en el análisis granulométrico. Esta se mide haciendo pasar una muestra representativa de áridos gruesos y finos por una serie de tamices ordenados de mayor a menor en función del tamaño de sus aberturas (p. 69).

3.4.2.1 Granulometría de A°G° y E°N°.

La granulometría del A°G° según Cárdenas (2021) es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas del A°G°, al igual que el A°F° se grafica en papel con coordenado semilogarítmico (p. 87), en ese entender La NTP 400.012 establece que para el análisis granulométrico del A°G° se requiere una muestra en estado seco cuyos valores para determinar la muestra están determinadas por TMN del A°G° y de la E°N°, la misma se presenta en la tabla 35.

Tabla 35

Cantidad de muestra de A°G° necesaria para el análisis granulométrico.

TMN aberturas cuadradas mm (pulg)	Cantidad mínimo de muestra de ensayo kg
9.5 (3/8")	1
12.5 (1/2")	2
19.0 (3/4")	5
25 (1")	10
37.5 (1 ½")	15
50 (2")	20
63 (2 ½")	35
75 (3")	60
90 (3 ½")	100
100 (4")	150
125 (5")	300

Nota: Datos tomados de la NTP. 400.012

3.4.2.1.1 Tamaño máximo de los agregados (TM).

Según Quispe y Ortiz (2020) indica que el tamaño máximo de un agregado como la apertura del tamiz más pequeño que pasa el 100% de la muestra (p. 69), en concordancia a esta Márquez (2019) indica que el TM corresponde al tamiz más pequeño por donde transita toda la muestra A°G° (p. 32). Teniendo en cuenta los lineamientos descritos se ha determinado que para el A°G° y E°N° es igual a 1 ½".

3.4.2.1.2 Tamaño máximo nominal (TMN).

Según Quispe y Ortiz (2020) indica que TMN es el tamiz que pasa del 100% al 95% en el que se origina el primer retenido; o es el diámetro inmediato superior al tamiz que retiene el 15% o más en forma acumulada de los agregados (p. 70), en la misma línea Márquez (2019) afirma que el TMN es el menor tamiz, en él se produce el primer retenido (p. 32), Y finalmente Abanto (1995) indica que el TMN de los áridos está dado por la apertura de la malla inmediata por encima de la que retiene el 15% o más, mientras se tamiza o criba el árido más grueso (p. 33). En ese entender se determinó el TMN para el agregado grueso y E°N° igual a 1”.

Los equipos requeridos para el procedimiento a seguir están descritos en las normas técnicas que se enumeran a continuación las mismas han cumplido irrestrictamente en el presente ensayo.

3.4.2.1.3 Normas técnicas.

- NTP 400.012
- ASTM C 136.

Figura 29

Tamizado de E°N° para el análisis granulométrico.



Figura 30

Tamizado del A°F° para el análisis granulométrico.



Figura 31

Tamizado de E°N° para el análisis granulométrico.



3.4.2.1.4 Resultados obtenidos del análisis granulométrico del A°G°.

Tabla 36

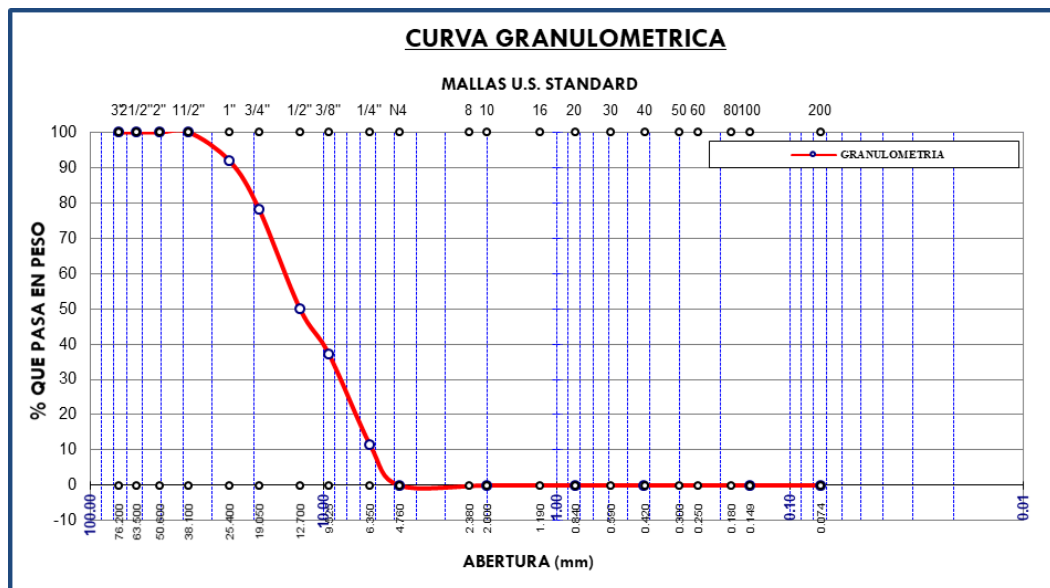
Resultados de la granulometría del A°G°.

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Especificación ASTM C-33 (%)	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	25.400	815.36	8.15	8.15	91.85	90	100
3/4"	19.050	1354.67	13.55	21.70	78.30		
1/2"	12.700	2826.44	28.26	49.96	50.04	25	60
3/8"	9.525	1291.83	12.92	62.88	37.12		
1/4"	6.350	2563.18	25.63	88.51	11.49		
N° 4	4.760	1148.52	11.49	100.00	0.00	0	10
Base		0.00	0.00	100.00	0.00		
Total		10000.00	100.00				
% pérdida		0.00	Análisis granulométrico aceptado < 0.30%				

Nota: De la tabla se infiere que el primer tamiz de las series utilizados que ha producido el primer retenido es la de 1" por definición el TMN es 1" y como por el tamiz 1 1/2" pasa el 100% de la muestra acorde a la norma NTP 400.011 el TM es igual a 1 1/2".

Figura 32

Curva granulométrica del A°G° en papel semilogarítmico.



3.4.2.1.5 Resultados obtenidos de la granulometría de la E°N°.

Tabla 37

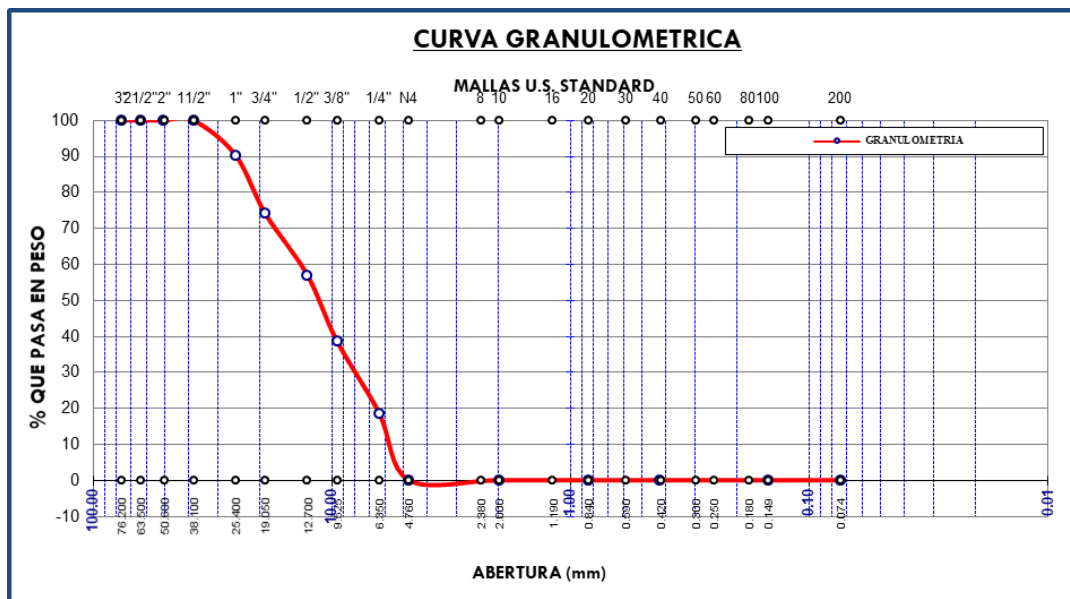
Resultados de la granulometría de la EN°.

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Especificación ASTM C-33 (%)	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	25.400	956.12	9.56	9.56	90.44	90	100
3/4"	19.050	1623.31	16.23	25.79	74.21		
1/2"	12.700	1705.58	17.06	42.85	57.15	25	60
3/8"	9.525	1844.29	18.44	61.29	38.71		
1/4"	6.350	1991.74	19.92	81.21	18.79		
N° 4	4.760	1878.96	18.79	100.00	0.00	0	10
Base		0.00	0.00	100.00	0.00		
Total		10000.00	100.00				
% pérdida		0.00	Análisis granulométrico aceptado < 0.30%				

Nota: De la tabla se infiere que el primer tamiz de las series utilizados que ha producido el primer retenido es la de 1" por definición el TMN de E°N° es 1" y como por el tamiz 1 1/2" pasa el 100% de la muestra acorde a la norma NTP 400.011 el TM de E°N° es 1 1/2".

Figura 33

Curva granulométrica de la E°N° graficado en papel semilogarítmica.



3.4.2.2 Granulometría del agregado fino.

Es una representación numérica de la distribución volumétrica de tamaños de partículas. Además, es menester precisar que los equipos requeridos y la descripción del procedimiento están establecidas en la NTP 400.012 y ASTM C 136, teniendo en cuenta que la primera norma invocada establece que para el análisis granulométrico de A°F° se demanda un mínimo de 300 gramos de muestra en estado seco.

3.4.2.2.1 Normas técnicas.

- NTP 400.012 y ASTM C 136.

3.4.2.2.2 Resultados obtenidos de A°F°.

Tabla 38

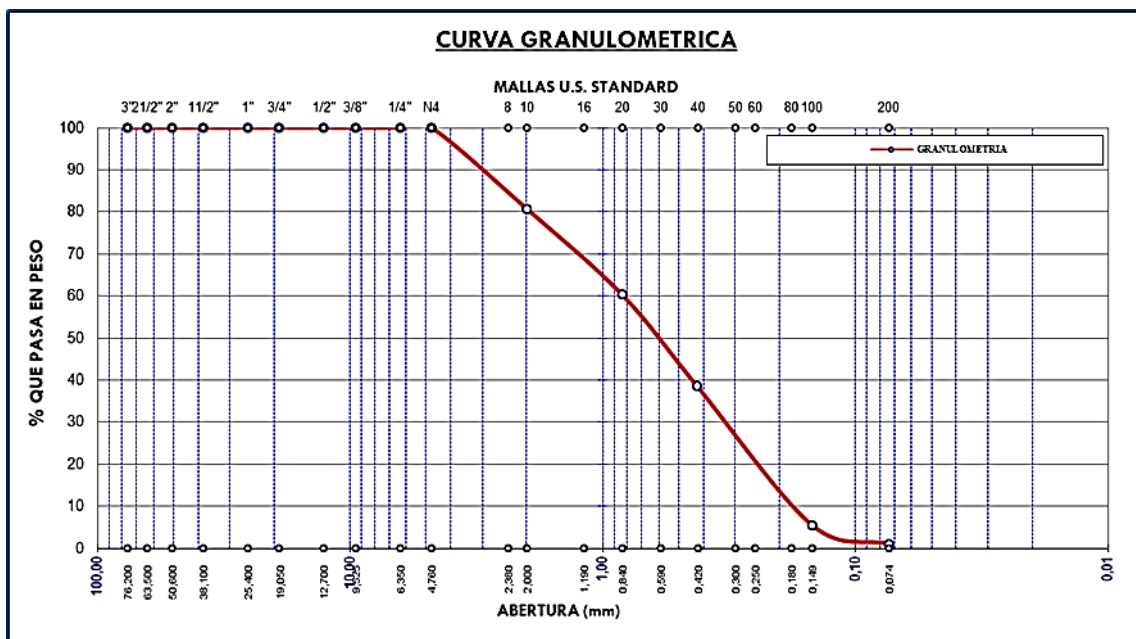
Resultados de granulometría del A°F°.

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Especificación ASTM C-33 (%)	
N° 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100
N° 6	3.360	0.00	0.00	0.00	100.00		
N° 8	2.380	192.54	19.28	19.28	80.72	80	100
N° 10	2.000	0.00	0.00	19.28	80.72		
N° 16	1.190	203.62	20.39	39.67	60.33	50	85
N° 20	0.840	0.00	0.00	39.67	60.33		
N° 30	0.590	215.85	21.62	61.29	38.71	25	60
N° 40	0.420	0.00	0.00	61.29	38.71		
N° 50	0.300	234.95	23.53	84.82	15.18	10	30
N° 80	0.180	0.00	0.00	84.82	15.18		
N° 100	0.149	96.02	9.62	94.44	5.56	2	10
N° 200	0.074	44.68	4.47	98.91	1.09		
Base		10.88	1.09	100.00	0.00		
Total		998.54	100.00				
% pérdida		0.15	Análisis granulométrico aceptado < 0.30%				

De la tabla 38 se infiere que el primer tamiz de las series utilizados que ha producido el primer retenido entre 5 a 10% es el tamiz de 1" por el TMN es 1" y como por el tamiz 1 ½" pasa el 100% de la muestra acorde a la norma NTP 400.011 el TM es igual a 1 ½".

Figura 34

Curva granulométrica del A°F° en papel semilogarítmico.



3.4.3 Módulo de fineza de los A°G°, E°N° y A°F°

Se determina utilizando las normas ASTM C 125 y NTP 400.011, dos normas ampliamente aceptadas. Según la primera norma mencionada, debe calcularse acumulando el porcentaje acumulado retenido en una sucesión de tamices estándar, incluidos los tamaños 3", 1 1/2", 3", 4", 8", 16, 30, 50 y 100, y dividiéndolo por 100. Además, la NTP 400.012 establece que el porcentaje acumulativo de material retenido se suma al alza en la proporción 2 a 1 para estimar el módulo de fineza; por este motivo, no se tienen en cuenta los tamices de 1" y 1/2".

3.4.3.1 Normas técnicas.

- NTP 400.011
- ASTM C 125

3.4.3.2 Módulo de fineza del A°G°.

La ecuación 27 se utiliza para calcular el módulo de finura para A°G° utilizando las mismas normas que para A°F°.

$$MF = \frac{\sum \% \text{Acum. retenidos (3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100} \quad (27)$$

$$MF = \frac{0 + 0 + 21.70 + 62.88 + 6 * 100}{100}$$

$$MF = 6.85$$

3.4.3.3 Módulo de fineza de la E°N°.

Se obtiene de acuerdo a la ecuación 28.

$$MF = \frac{\sum \% \text{Acum. retenidos (3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100} \quad (28)$$

$$MF = \frac{0 + 0 + 25.79 + 61.29 + 6 * 100}{100}$$

$$MF = 6.87$$

3.4.3.4 Módulo de fineza del A°F°.

Se calcula de acuerdo a la ecuación 29.

$$MF = \frac{\sum \% \text{Acum. retenidos (3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100} \quad (29)$$

$$MF = \frac{5 * 0 + 19.28 + 39.67 + 61.29 + 84.82 + 94.44}{100}$$

$$MF = 3.00$$

3.5 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

El diseño de la mezcla se llevó a cabo en el estudio según lo previsto y estipulado en el proyecto de investigación para un CC con una resistencia media a la compresión de $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$, utilizando la técnica ACI 211; aclarando que el diseño del concreto



ligero y pesado no está comprendido en los objetivos de esta investigación, por lo tanto, el presente diseño es estrictamente para un CC. Actualmente existen muchas metodologías para realizar el diseño de mezclas, muchas de ellas complejas debido a que se utilizan variables múltiples, ergo es recomendable seleccionar el método de diseño teniendo en cuenta el lugar, la clima, la resistencia que se quiere lograr y la cantidad de concreto a producirse y es necesario afirmar que el resultado de cualquier método de diseño da proporciones aproximadas y por tanto es necesario que los resultados deben ajustarse mediante ensayos de laboratorio de construcciones. Una vez que se conocen las proporciones de cada uno de los elementos del concreto, estos componentes se van combinando en proporciones adecuadas, a este procedimiento se conoce como dosificación de mezclas.

3.5.1 Diseño de mezcla para un concreto convencional por método ACI 211

La ACI 211, es un método americano, se fundamenta este en el principio esencial de la asociación a/c en la elaboración del concreto, en suma este método consiste en utilizar tablas, las cuales están descritas en el anexo M las mismas permiten determinar las cantidades necesarias de agua, cemento y agregados, que contiene la mezcla y cuantificar en peso y en volumen para un m³ de concreto, el diseño se realiza con el propósito obtener un concreto con la resistencia requerida que en este caso es de CC con y sin adición de E°N°.

3.5.1.1 Consideraciones de diseño.

La primera condición tomada en cuenta para el diseño es la trabajabilidad del concreto a obtener, este fin se logra con la adecuada dosificación de agua, para que el concreto que se está diseñando tenga la facilidad para su manipulación. Con lo que respecta a resistir la compresión del concreto a diseñarse es de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Con lo respecta a la información requerida de los materiales se tienen los datos del ensayo de granulometría realizado tanto del A°G°, A°F° y E°N°, además se toma en consideración para el diseño los resultados obtenidos de los ensayos y pruebas de laboratorio para este investigación, las cuales son módulo de fineza de los agregados, densidad aparente de los agregados, absorción, peso unitario, humedad de los agregados y de la E°N°, y el cemento que se utilizó para el diseño es el cemento Portland tipo I marca Rumi.

Para determinar el TMN del A°G° (véase tabla 39), se calcula con los resultados del ensayo granulométrico realizado para esto se tiene que aplicar la definición que establece la NTP 400.037. Por las consideraciones el TM del A°G° es de 1 ½” y el TMN es de 1”, estos datos son de suma importancia para realizar la dosificación de mezclas.

Tabla 39

Determinación de TMN y tamaño máximo del A°G°.

Tamices ASTM	Abertura (mm)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado
1 1/2"	38.100	0.00	0.00
1"	25.400	8.15	8.15
3/4"	19.050	13.55	21.70
1/2"	12.700	28.26	49.96
3/8"	9.525	12.92	62.88
1/4"	6.350	25.63	88.51
N° 4	4.760	11.49	100.00

3.5.1.2 Información de los resultados de los ensayos de los agregados y E°N°.

Es necesario e imprescindible conocer cuantitativamente las propiedades de los agregados, escoria, cemento y agua que componen el concreto, por tanto, esos valores y datos se han obtenido realizando el ensayo de laboratorio correspondiente, cumpliendo lo

establecido en las normas técnicas correspondientes, por tanto, los datos de los materiales que se necesitan para la dosificación de mezclas se presentan en la tabla 40.

Tabla 40

Propiedades de los agregados y $E^{\circ}N^{\circ}$ obtenidos en laboratorio.

Descripción	Unidades	Agregado grueso	Agregado fino	$E^{\circ}N^{\circ}$
Contenido de humedad	%	1.76	3.32	0.94
Peso específico	gr/cm ³	2.64	2.71	3.64
Absorción	%	2.36	4.21	4.78
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1.48	1.54	1.82
Peso unitario compactado	gr/cm ³	1.61	1.67	2.14
Módulo de fineza	-	6.85	3.00	6.87
Tamaño máximo	TM	1 1/2"	Nro. 4	1 1/2"
Tamaño máximo nominal	TMN	1"	-	1"

Nota: Datos tomados de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio en la presente investigación.

3.5.1.3 Elección de la resistencia media a partir de la resistencia especificada.

Visto y revisado exhaustivamente el RNE actualmente vigente, establece que para los casos que se cuente con los datos de registro de ensayos de resistencia en obra la f'_{cr} , se calcula con σ , y en el caso que no se tenga la misma como en el caso específico la f'_{cr} se determina según tabla 41.

Tabla 41

Resistencia promedio requerida a la compresión.

Resistencia especificada a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio requerida a la compresión (kg/cm ²)
Menos de 210	$f'_{cr} = f'_c + 70$
210 a 350	$f'_{cr} = f'_c + 84$
Sobre 350	$f'_{cr} = f'_c + 98$

Nota: Datos obtenidos de Rivva (2010, pág. 57).

Ecuación para determinar resistencia promedio requerido f'_{cr} .

$$f'_{cr} = f'_c + 84 \quad (30)$$

$$f'_{cr} = 210 + 84$$

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

Donde:

f'_{cr} : Resistencia promedio requerido

f'_c : Resistencia a la compresión

3.5.1.4 Selección del asentamiento.

Para determinar el asentamiento para la dosificación de mezclas con el método ACI-2011, se utiliza la tabla 42 en donde están los rangos indicados que corresponden a concretos consolidados y vibrados por diferentes tipos de construcción, en la investigación se va a diseñar concreto para pavimento simple, por tanto corresponden un asentamiento de 1" a 4", para mayor detalle los datos se presentan la tabla mencionada, además uno de los objetivos de realizar el diseño es para obtener un concreto de consistencia plástica para que esta sea trabajable al momento de aplicar el concreto en estado fresco.

Tabla 42

Asentamiento máximo y mínimo según el tipo de construcción.

Tipo de construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Zapatas simples, cajones y muros subestructura	3"	1"
Vigas y muros reforzados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Pavimentos y losas	4"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Nota: Datos obtenidos de Abanto (1995).

3.5.1.5 Determinación del agua para el diseño de mezclas.

Para determinar la primera estimación de la cantidad de agua para el diseño se selecciona de la tabla 43 dispuesta en base de las recomendaciones del Comité 211 del ACI, para concretos con diferentes TMNs del agregado grueso, con y sin aire incorporado.

Tabla 43

Requerimiento aproximado de agua para diversos asentamientos y TMNs.

Asentamiento	Agua en l/m ³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	Concretos sin aire incorporado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	

Nota: Datos obtenidos de Rivva (2010, p. 78).

Como se desprende de la tabla 43, el perfil, la textura y la granulometría de los agregados no se toman en cuenta para determinar la cantidad de agua, la cantidad seleccionada de agua finalmente va ser corregida en relación de los resultados, de absorción y w (%) de los agregados ya realizados. Por tanto, de la tabla 43 se infiere que la cantidad de agua a utilizarse es de 193.00 litros.

3.5.1.6 Elección del contenido de aire.

Para la dosificación de mezclas del CC no se va a considerar la incorporación del aire, ya que el objetivo no es obtener un concreto poroso, por tales motivos es necesario determinar el porcentaje del aire atrapado, para tal fin se hace uso de la tabla 44 que a partir del TMN que en la presente investigación es de 1" es por eso se ha determinado el porcentaje del aire atrapado la misma es de 1.50%.

Tabla 44*Contenido de aire atrapado.*

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado
3/8"	3.00%
1/2"	2.50%
3/4"	2.00%
1"	1.50%
1 1/2"	1.00%
2"	0.50%
3"	0.30%
6"	0.20%

*Nota.: Datos tomados de Rivva (2010, p. 85).***3.5.1.7 Determinación de la relación agua - cemento por resistencia.**

Para determinar la relación a/c sin aire incorporado, existe dos criterios la primera por resistencia y la segunda por la durabilidad, por ende para determinar la relación a/c se debe elegir el que tenga el menor valor, esto con el fin de garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas, en la investigación se ha seleccionado la relación a/c por resistencia, teniendo en cuenta que satisface y cumple con los requerimientos de durabilidad que debe tener el concreto que se está diseñando.

Tabla 45*Tabla para determinar la relación a/c.*

f'cr (28 días)	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

Nota: Datos tomados de Rivva (2010, p. 95).

Después de realizar la interpolación correspondiente con los datos que están en la tabla 45, teniendo en cuenta que $f'_{cr} = 294 \text{ kg/cm}^2$, se ha obtenido un valor de 0.56, por tanto, se afirma con certeza que la relación a/c es de 0.56. Por otro lado, otra forma de calcular la relación de a/c es teniendo en cuenta los factores de durabilidad ya que la ciudad de Puno se encuentra a 3827 m s.n.m. por tanto, el concreto a diseñarse va estar expuestos a condiciones climatológicas críticas. Por esta razón se ha utilizado la siguiente tabla 46 para seleccionar la relación a/c.

Tabla 46

Relación a/c para condiciones especiales de exposición.

Condiciones de exposición	Relación a/c máxima en concretos con agregados de peso normal	Resistencia en compresión mínima en concretos con agregado liviado
Concreto impermeable		
Expuesto a agua dulce.	0.50	
Expuesto a agua de mar.	0.45	260
Expuesto a la acción de aguas cloacales.	0.45	
Concreto expuesto a congelamiento y hielo en condiciones húmedas:		
Sardineles, cunetas y secciones delgadas.	0.45	300
Otros elementos estructurales.	0.50	
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salubres, neblina, o rocío de esta agua.	0.40	325
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.	0.45	300

Nota: Datos tomados de Rivva (2010, p. 101).

De lo descrito se obtienen dos valores de la relación de a/c, las cuales son de 0.56 y 0.50 respectivamente, los investigadores hemos visto por conveniente tomar el menor valor de 0.50, debido que el concreto diseñado es para región de Puno, por tanto, la altitud geográfica de la región está en promedio cerca a los 4 000 m s.n.m. y el concreto estará sometido y expuesto a condiciones de congelamiento ya que la temperatura en el mayor parte del año desciende por debajo de 0 °C.

3.5.1.8 Determinación del factor cemento.

Una vez determinado y seleccionado el volumen unitario de agua por unidad de volumen de concreto, como también se ha determinado la relación a/c, con estos datos es posible determinar el factor cemento por 1 m³ de concreto, por tanto, se determinaron con las ecuaciones 31 y 32.

Ecuación para calcular el contenido de cemento.

$$\text{contenido de cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{contenido de agua de mezclado (lt/m}^3\text{)}}{\text{relacion a/c (para } f'_{cr}\text{)}} \quad (31)$$

$$\text{contenido de cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{193 \text{ (lt/m}^3\text{)}}{0.50}$$

$$\text{contenido de cemento (kg/m}^3\text{)} = 386$$

Ecuación para determinar el volumen de cemento.

$$\text{volumen de cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{contenido de cemento (kg)}}{\text{peso específico del cemento (}\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\text{)}} \quad (32)$$

$$\text{volumen de cemento (m}^3\text{)} = \frac{386 \text{ (kg)}}{2820 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$\text{volumen de cemento (m}^3\text{)} = 0.137$$

3.5.1.9. Determinación del contenido de A°G°.

De conformidad a la tabla 47 elaborado y formulado por Comité 211 del ACI, especifica que el volumen del A°G° por unidad de concreto es en función del TMN y del módulo de fineza del A°G°.

Tabla 47

Para determinar el peso del A°G° por unidad de volumen del concreto.

Tamaño máximo nominal del A°G°	Volumen de A°G° seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diversos módulos de fineza del A°F° b/b0			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: Datos tomados de Rivva (2010, p. 118).

Como el módulo de fineza del A°F° es de 3.00 y el TMN del A°G° es de 1", de la tabla 48 se puede inferir sin necesidad de interpolar el valor de b/b₀ que es igual a 0.65, con este dato se va calcular el volumen del A°G°. En suma, de la tabla 47 muestra 0.65 m³ de A°G° seco compactado por unidad de volumen.

Ecuación para calcular el peso del A°G°.

$$\text{Peso del A°G°} = b/b_0 * \text{peso unitario compactado A°G° (kg/m}^3\text{)} \quad (33)$$

$$\text{Peso del A°G°} = 0.650 \times 1610 = 1046.50 \text{ kg/m}^3.$$

3.5.1.10 Cálculo del volumen absoluto del cemento, agua, aire y A°G°.

En este ítem se procede a determinar los volúmenes unitarios del cemento Portland IP, el volumen unitario el agua potabilizada, del aire y del A°G°, a la suma de estos valores se le denomina como volumen absoluto parcial de los componentes de la pasta, los mencionados valores se obtienen con las ecuaciones 34, 35, 36 y 37.



Ecuación para calcular el volumen unitario de cemento.

$$\text{Volumen unitario de cemento} = \frac{\text{Factor cemento}}{\text{P.e del agua}} = \frac{386 \text{ kg/m}^3}{2820 \text{ kg/m}^3} = 0.137 \quad (34)$$

Ecuación para determinar el volumen unitario de agua.

$$\text{Volumen unitario de agua} = \frac{\text{Vol.unit.agua}}{\text{P.e del agua}} = \frac{193 \text{ l/m}^3}{1000 \text{ l/m}^3} = 0.193 \quad (35)$$

Ecuación para calcular el volumen unitario de aire.

$$\text{Volumen unitario de aire} = \% \text{ de aire atrapado} = 1.5\% = 0.015 \quad (36)$$

Ecuación para calcular el volumen de agregado grueso.

$$\text{Vol. unitario de agregado grueso} = \frac{\text{P.del agregado}}{\text{P.e del agregado}} = \frac{1046.50 \text{ kg/m}^3}{2640 \text{ kg/m}^3} = 0.396 \quad (37)$$

Tabla 48

Resumen de los resultados de los volúmenes unitarios sin considerar del A°F°.

Volúmenes absolutos (m³)	
Cemento	0.137
Agua	0.193
Aire	0.015
Agregado grueso	0.396
Total, parcial	0.741

3.5.1.11 Cálculo de volumen absoluto del agregado fino.

Para esto solo se realiza el procedimiento consistente en restar de la unidad cúbica del concreto los vol. absolutos del cemento, agua, aire y A°G°, a la suma de estos se lo resta vol. absoluto parcial, es decir, la expresión para calcular el volumen absoluto del A°F° está dado por la ecuación 38.

$$\text{Volumen absoluto de A°F°} = \text{Vol. total} - \text{Vol. absoluto parcial} \quad (38)$$

$$\text{Volumen absoluto de A°F°} = 1 - 0.741 = 0.259$$

Tabla 49

Resumen de los resultados de los volúmenes unitarios de los componentes del concreto.

Volúmenes absolutos (m³)	
Cemento	0.137
Agua	0.193
Aire	0.015
Agregado grueso	0.396
Agregado fino	0.259
V. absoluto total	1.000

3.5.1.12 Cálculo de los pesos secos del A°F° y demás componentes de la pasta.

Para esto se multiplica el volumen absoluto unitario con el peso específico de la misma y está dado por la ecuación 39.

Ecuación para calcular el peso seco del agregado fino.

$$\text{Peso seco del A°F°} = V. \text{ absoluto de A°F°} * P. e. \text{ del A°F°} \quad (39)$$

$$\text{Peso seco del A°F°} = 0.259 * 2710 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 701.89 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tabla 50

Resultados del diseño final de la mezcla según ACI 211.

Presentación en estado seco		
Material	Unidad	Peso seco/m ³
Cemento	kg.	386.00
Agua	lt.	193.00
Agregado grueso	kg.	1046.50
Agregado fino	kg.	701.89

3.5.1.13 Corrección de los agregados por humedad y absorción.

Los agregados tanto como fino y grueso por lo general al momento de preparar el concreto se encuentran húmedos, por tanto, es válido afirmar que al encontrarse en estado húmedo estos incrementan sus pesos de estado seco dependiendo de la cantidad de agua

que contengan ya sea absorbida o superficial, estas acciones van a variar la relación a/c, como también la trabajabilidad y afectando la disminución del soporte a la compresión. Por estas consideraciones es necesario realizar la corrección por humedad, para tal fin utilizamos los valores obtenidos de los ensayos de w% realizado tanto al A°F° y A°G°.

3.5.1.13.1 Agregado fino.

Ecuación para determinar la corrección por humedad del A°F°.

$$\text{Peso humedo} = \text{Peso seco} * \left(1 + \frac{w\%}{100}\right) = 701.89 * \left(1 + \frac{3.32}{100}\right) = 725.19 \text{ kg} \quad (40)$$

3.5.1.13.2 Agregado grueso.

Ecuación para determinar la corrección por humedad del A°G°.

$$\text{Peso humedo} = \text{Peso seco} * \left(1 + \frac{w\%}{100}\right) = 1046.50 * \left(1 + \frac{1.76}{100}\right) = 1064.92 \text{ kg} \quad (41)$$

3.5.1.13.3 Cálculo de agua efectiva.

El agua efectiva se debe calcular tanto para el A°G° y A°F°, y esta es igual a la diferencia entre el valor del agua diseñado y la suma del agua efectiva tanto del A°F° y A°G°, se obtiene de acuerdo a la ecuación 42.

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua de diseño} - \left[\text{P. s. A°F°} \left(\frac{w-a}{100}\right) + \text{P. s. A°G°} \left(\frac{w-a}{100}\right) \right] \quad (42)$$

$$\text{Agua efectiva} = 193 - \left[701.89 \left(\frac{3.32 - 4.21}{100}\right) + 1046.50 \left(\frac{1.76 - 2.36}{100}\right) \right]$$

$$\text{Agua efectiva} = 205.53 \text{ lt}$$

Tabla 51

Diseño de mezcla final corregido por humedad y absorción.

Diseño final corregido por humedad		
Material	Unidad	Peso húmedo/m ³
Cemento	kg.	386.00
Agua	lt.	205.53
Agregado grueso	kg.	1064.92
Agregado fino	kg.	725.19

3.5.1.14 Corrección de los agregados por humedad y absorción del diseño de mezcla del concreto con y sin adición de E°N° sobre porcentajes de A°G°

Una vez realizado la dosificación de mezclas por el método ACI 211 y con esta se ha determinado las proporciones y dosificaciones de los agregados; es necesario mencionar que no se ha realizado el diseño de mezclas para CC con 10, 20, 30 y 40 de E°N°, ahora bien, se va proceder a calcular el peso en kilogramos para elaborar las probetas cilíndricas de 15 cm x 30 cm y las barras prismáticas de 15 cm x 15 cm x 50 cm, para que estos una vez elaborados y realizado el procedimiento de curado. Como se ha postulado en los objetivos de la investigación, se va adicionar E°N° en 10, 20, 30 y 40 % sobre porcentajes de A°G°, estas convertidos en kilogramos equivalen a 106.49, 212.98, 319.48 y 425.97 kg respectivamente, la misma se detalla en tabla 52.

Tabla 52

Resumen de diseño de mezclas para CC sin y con adición de E°N° en diferentes %.

Concreto sin adición y con adición de E°N° sobre porcentajes del agregado grueso						
Material	Unidad	CC	CC con 10% de E°N°	CC con 20% de E°N°	CC con 30% de E°N°	CC con 40% de E°N°
Cemento	kg/m ³	386.00	386.00	386.00	386.00	386.00
Agua	lt/m ³	205.53	205.53	205.53	205.53	205.53
A°G°	kg/m ³	1064.92	958.43	851.94	745.44	638.95
A°F°	kg/m ³	725.19	725.19	725.19	725.19	725.19
E°N°	kg/m ³	0.00	106.49	212.98	319.48	425.97

3.6 ELABORACIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM² SIN Y CON ADICIÓN DE E°N°

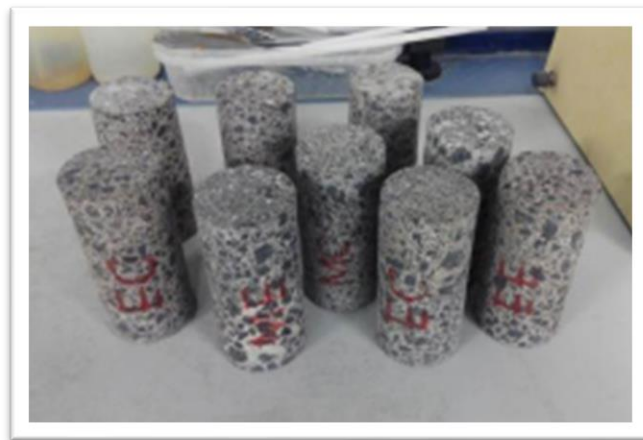
Determinado las proporciones y dosificaciones de los agregados, cemento, agua y E°N°, se va a proceder con la elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas conforme a las normas técnicas vigentes NTP-339.033, y ASTM C 31, se va a elaborar 45 probetas cilíndricas y 25 viguetas prismáticas, que una vez realizado el procedimiento de curados de estos se va a proceder a someterlo a ensayos de compresión y flexión con el fin determinar la resistencia del CC sin y con adición de E°N° a los 7, 14 y 28 días respectivamente.

3.6.1 Elaboración de probetas cilíndricas

Se han realizado 45 probetas cilíndricas de 6" de diámetro y 12" de altura durante tres días, cumpliendo estrictamente durante su elaboración las normas técnicas de NTP-339.033 y ASTM C 31 que establece el procedimiento para elaborar probetas cilíndricas, además se ha tenido en cuenta la recomendación del RNE 0.60 que el intervalo de temperatura de concreto no debe ser mayor a 32 °C ni menor a 10 °C (véase figura 35).

Figura 35

Probetas cilíndricas de CC adicionado con E°N°.



Nota: En la figura se muestra las probetas cilíndricas con adición de E°N° después del curado.



3.6.1.1 Normas técnicas.

- NTP-339.033
- ASTM C 31

3.6.1.2 Equipos requeridos para el ensayo.

- Mezcladora pequeña de 6 ft³ (0.17 m³) de capacidad que funciona con energía eléctrica.
- Briquetera de 15.00 cm de Ø y 30.00 cm de altura.
- Varilla compactadora para realizar el chuseado esta debe tener una punta redondeada de 5/8" (1.6 cm) y longitud de 60 cm.
- Balanza.
- Herramientas manuales (combo de goma y otros).
- Cucharon, pala cuchara, plancha metálica y petróleo.
- Balde de cinco galones de capacidad.
- Una carretilla tipo buggy.

3.6.1.3 Descripción para el procedimiento de ensayo.

- Primero se procedió a limpiar las briqueteras y después se ha pasado con una franela empapado con petróleo el interior de estas, para que la mezcla no se adhiera en el molde.
- Luego, llenamos el tercio restante del molde con concreto fresco, lo vibramos manualmente 25 veces en un patrón helicoidal usando una varilla de metal y luego lo golpeamos 12 veces seguidas con un mazo de goma. Este procedimiento se ha repetido para las dos capas siguientes.
- Después se procedió con la varilla metálica el enrase de las briqueteras rellenos con concreto fresco.

- Una vez realizado estos procedimientos se han dejado los briqueteras contenidos con concreto por un periodo de 24 horas en un ambiente adecuado con humedad, pasado este tiempo se procedió a desmoldar las probetas cilíndricas para luego colocarlos en un pozo de curado que contiene agua potabilizada. Y es necesario hacer constar que las probetas han sido completamente sumergidas en el pozo de curado del laboratorio.

3.6.2 Elaboración probetas prismáticas

Se han realizado 25 barras prismáticas de 6" x 6" x 20" cumpliendo estrictamente las normas técnicas NTP-339.033 y ASTM C 31 que establece el procedimiento para elaborar viguetas prismáticas (véase figura 36), además se ha tenido en cuenta la recomendación del RNE E 0.60 que el rango de temperatura de concreto no debe ser mayor a 32°C ni menor a 10 °C.

Figura 36

Elaboración de probetas prismáticas de 6" x 6" x 20".





3.6.2.1 Normas técnicas.

- NTP 339.33
- ASTM C 31

3.6.2.2 Equipos requeridos para el ensayo.

- Mezcladora pequeña de 6 ft³ (0.17 m³) de capacidad que funciona con energía eléctrica.
- Briquetera o molde rectangular de 6" x 6" x 20".
- Varilla compactadora para realizar vibración manual (el chuseado) esta debe tener una punta redondeada de 5/8" (1.6 cm) y longitud de 60 cm.
- Balanza.
- Herramientas manuales (combo de goma y otros).
- Cucharon, pala cuchara, plancha metálica y petróleo.
- Balde de cinco galones de capacidad.
- Una carretilla tipo buggy.

3.6.2.3 Descripción para el procedimiento de ensayo.

- Primero se procedió a limpiar los moldes prismáticos y después se ha pasado con una franela empapado con petróleo el interior de estas, para que la mezcla no se adhiera en el molde.
- Acto seguido se ha procedido en llenar la tercera parte del molde prismático con concreto fresco, después con la varilla metálica se comprime con 57 golpes en forma helicoidal, la primera capa se apisona introduciendo la varilla hasta llegar la base del molde prismático teniendo en cuenta que la distribución para cada capa debe ser continua y parejo en la sección transversal del molde.



- En cumplimiento de la norma técnica para cada capa superior a la inicial se ha atravesado con la varilla de $\frac{3}{8}$ pulgada en una pulgada en la capa inferior. Este procedimiento se continúa con las demás capas hasta completar la tercera capa, no olvidarse en golpear ligeramente la parte exterior del molde prismático dando 12 golpes con combo de goma esto con la finalidad de cerrar los huecos dejados por la varilla.
- Después se procedió con una regla o plancha metálica el enrase de los moldes prismáticos rellenos con concreto fresco.
- Una vez realizado estos procedimientos se han dejado los moldes prismáticos contenidos con concreto por un periodo de 24 horas en un ambiente adecuado con humedad pasado este tiempo se ha procedido a desmoldar las probetas prismáticas para luego colocarlos en un pozo de curado que contiene agua potabilizada. Y es necesario hacer constar que las probetas han sido completamente sumergidas en el pozo de curado.

3.7 ENSAYO DE CONSISTENCIA DEL CONCRETO FRESCO SIN Y CON ADICIÓN DE E^oN^o

La prueba de asentamiento de concreto fresco o conocido también prueba Slump se desarrolló de acuerdo a la norma técnicas NTP 339.035 y ASTM C 143, realizando tres ensayos por cada muestra de concreto con adición de E^oN^o con 0% (CC), 10%, 20%, 30% y 40% respectivamente, haciendo un total de 15 pruebas de Slump, para tal fin se tomado en cuenta los asentamientos recomendados para concretos de diferentes grados de trabajabilidad la misma se describe en la tabla 5 de la presente investigación.

Figura 37

Medición del Slump del concreto fresco CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄.



3.7.1 Normas técnicas

- NTP 339.035
- ASTM C - 143

3.7.2 Equipos requeridos para el ensayo

- Varilla punta esférico lisa de $\frac{3}{8}$ " de diámetro y 60 cm de largo.
- Molde troncocónico, conocido como cono de Abrams, abierto por ambos extremos previsto con pisaderas y asas, con un diámetro mayor de 10 cm e inferior de 200 cm.
- Placa de apoyo rígida no absorbente de 400 x 600 mm.
- Herramientas manuales.

3.7.3 Descripción para el procedimiento de ensayo

- Primero: sin empapar ni mojar el cono truncado con aceite, se comenzó por limpiar el cono y sus accesorios, acto seguido el operario, apoyado en los peldaños



del molde, procedió a instalar el cono truncado sobre una superficie de apoyo horizontal, apoyando la superficie de apoyo y sosteniendo el cono truncado con aceite, esto impidió que el molde se moviera mientras se vertía nuevo concreto en él.

- Segundo, después de realizar el procedimiento descrito se procedió llenar el cono truncado con mezcla en tres capas, apisonadas de manera uniforme cada capa con la varilla metálica realizando 25 golpes, la primera capa se llenó aproximadamente a 7 cm de altura y la segunda hasta una altura acumulada de 16 cm, se debe tener en cuenta que al apisonar la primera capa se debe golpear con la varilla ligeramente inclinado alrededor del perímetro del cono, en la capa intermedia al golpear se debe procurar que este penetre una pulgada a la primera capa y finalmente en la tercera capa se debe mantener un exceso de concreto sobre el borde superior del cono de Abrams.
- El tercer paso es alisar la superficie superior con una llana y quitar cualquier exceso de concreto que haya goteado en el área alrededor del cono, luego se debe levantar verticalmente por un periodo de tiempo de cinco a dos segundos sin perturbar el concreto fresco.
- Es muy importante tener en cuenta que el llenado hasta el levantamiento del cono no debe superar aún tiempo de más de tres minutos.
- Como cuarto paso se procede a medir el asentamiento, para tal fin se mide la altura del concreto moldeado respecto del cono truncado, se mide en el eje central del cono formado por el concreto fresco en su posición inicial (véase figura 37).

3.7.4 Resultados obtenidos de prueba Slump

Después de realizar las 15 repeticiones de prueba Slump se obtuvieron mediciones para concreto sin adición de escoria cuyo Slump promedio es 3.6'' (trabajable), para

concreto con 10% de adición de escoria es de 3'' (trabajable), para concreto con 20, 30 y 40% de adición de escoria es 2.2'', 1.5'' y 0.9'' (poco trabajable) respectivamente.

Tabla 53

Resultados de los 15 ensayos de Slump para CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄.

Descripción	Mediciones realizadas (cm)			Asentamiento en el cono de Abrams		Trabajabilidad
	I	II	III	Promedio	Promedio	
				(cm)	(pulg)	
CC	9.0	9.2	8.9	9.0	3.6	Trabajable
CC con 10% de E°N°(CC ₁)	7.8	7.5	7.6	7.6	3.0	Trabajable
CC con 20% de E°N°(CC ₂)	5.7	5.5	5.8	5.7	2.2	Poco trabajable
CC con 30% de E°N°(CC ₃)	3.8	3.6	3.7	3.7	1.5	Poco trabajable
CC con 40% de E°N°(CC ₄)	2.2	2.5	2.3	2.3	0.9	Poco trabajable

3.8 ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO DEL CC SIN Y CON ADICIÓN DE E°N°

En la investigación se probaron la densidad, la resistencia al esfuerzo de compresión y flexión del CC y del CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N°, así como la resistencia a la flexión del CC y del CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N° en estado endurecido, específicamente las 45 probetas cilíndricas y las 25 viguetas prismáticas elaborados en estricta observancia a las normas técnicas internacionales y nacionales.

3.8.1 Ensayo para la determinación de la densidad del CC con y sin adición de E°N°

Para determinar la densidad del CC y CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N° en estado endurecido, se ha tomado una muestra de quince probetas cilíndricas de un total de cuarenta y cinco, tres por cada grupo materia de análisis, como se sabe que la densidad



de un objeto es inversamente proporcional de la masa con respecto a su volumen, con esta ley se ha determinado la densidad del CC sin y con adición de E°N°.

3.8.1.1 Normas técnicas.

Visto y revisado el cúmulo de las normas técnicas internacionales y nacionales, no se ha encontrado una norma que reglamenta taxativamente para la determinación de la densidad de una probeta cilíndrica de concreto en estado fraguado. Por tales consideraciones se ha utilizado las leyes de la física experimental universalmente válidas concernientes a la determinación de la densidad de un objeto sólido.

3.8.1.2 Equipos requeridos para el ensayo.

- Una balanza calibrada
- Un vernier

3.8.1.3 Descripción para el procedimiento de ensayo.

- Se procedió a medir con el vernier las dimensiones de las quince probetas cilíndricas de del CC, del CC con 10, 20, 30 y 40 % de E°N° en estado endurecido, específicamente el diámetro y la altura con la finalidad de calcular el volumen con la fórmula matemática de geometría espacial para un cilindro.
- Acto seguido se procedió a determinar el peso de cada uno de las quince probetas cilíndricas de CC y del CC con 10, 20, 30 y 40 % de E°N° en estado endurecido, para luego determinar la densidad de cada uno de los especímenes.

3.8.1.4 Resultados obtenidos de la densidad del CC y del CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N°.

Una vez realizado el procedimiento descrito de las quince probetas cilíndricas CC, del CC con 10, 20, 30 y 40 % de E°N° en estado endurecido a los 28 días de curado, se ha procedido a calcular la densidad de cada una de ellas con la expresión 43.

$$D = \frac{m}{V} \quad (43)$$

Donde:

D: densidad del concreto CC y del CC con 10, 20, 30 y 40 % de E°N°

m: Peso de las probetas cilíndricas del CC con 10, 20, 30 y 40 % de E°N°

V: Volumen de las probetas cilíndricas del CC con 10, 20, 30 y 40 % de E°N°.

Tabla 54

Resumen de densidad de las probetas cilíndricas del CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄.

Descripción	Peso (gr.)	Volumen de briqueta (cm ³)	Densidad del concreto (kg/m ³)	Densidad promedio del concreto (kg/m ³)
CC	12840	5345.63	2401.96	2402.66
	13012	5413.42	2403.66	
	13104	5454.65	2402.35	
CC con 10% de E°N°	12846	5319.13	2415.06	2416.88
	12924	5356.42	2412.81	
	13216	5454.88	2422.79	
CC con 20% de E°N°	12938	5343.97	2421.05	2428.45
	13285	5454.84	2435.45	
	13227	5445.79	2428.85	
CC con 30% de E°N°	13367	5474.47	2441.70	2440.76
	13016	5329.68	2442.17	
	13174	5402.73	2438.40	
CC con 40% de E°N°	13146	5358.20	2453.44	2452.37
	13135	5349.09	2455.56	
	13275	5422.53	2448.12	

Nota: Se ha determinado la densidad de 15 probetas cilíndricas en estado endurecido del CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄ a los 28 días de curado.

3.8.2 Prueba de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas

Según la norma NTP 339.034, este experimento consiste en emplear una carga axial sobre los palpadores cilíndricos a una velocidad predeterminada. Este estudio es



muy significativo y determinante para la tecnología del concreto, particularmente para el diseño de pavimentos estructurales, ya que determina la calidad del concreto en términos de resistencia.

3.8.2.1 Normas técnicas.

- NTP 339.034
- ASTM C 39

3.8.2.2 Equipos requeridos para el ensayo.

- Máquina de compresión calibrada.
- Bloques de acero (anillos de neopreno).
- Vernier para realizar las mediciones que corresponda.

3.8.2.3 Descripción para el procedimiento de ensayo.

- Una vez retiradas las probetas cilíndricas con y sin adición de E^oN^o del pozo de curado de laboratorio se procedió a secarlos en condiciones ambientales.
- Acto seguido se procedió a medir los diámetros de las probetas cilíndricas con el vernier para ello se hizo tres mediciones para cada probeta cilíndrica y luego promediarlos estos valores para que estos datos sean utilizados para calcular el área de sección.
- Poner las barras de acero a las probetas cilíndricas.
- Finalmente colocar la probeta cilíndrica en la prensa automática centrado y alineado hasta que falle esta, tener en cuenta que la carga a aplicarse durante la rotura debe estar en un rango de 0.15 a 0.35 Mpa/s (1.53 a 3.57 kg/cm² *s). Los resultados de las probetas cilíndricas de CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄ se encuentran descritas y cuantificadas en el anexo O.

Figura 38

Procedimiento de la rotura de probetas cilíndricas.



Nota: En la imagen se visualiza rotura de probetas cilíndricas del CC y del CC con E°N°.

3.8.2.4 Cálculo de $f'c$ de las probetas cilíndricas.

Ecuación para calcular $f'c$ de probeta cilíndrica.

$$f'c = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (44)$$

Ecuación para determinar área de la probeta.

$$A = \frac{\pi\phi^2}{4} \text{ (cm}^2\text{)} \quad (45)$$

Dónde:

$f'c$: Es la resistencia de rotura a la compresión del concreto (kg/cm²).

P: Carga de rotura (kg).

ϕ : Diámetro de la probeta cilíndrica (cm).

A: Área promedio de la probeta cilíndrica (cm²).



3.8.3 Prueba de resistencia a la flexión, con carga puntual de la probeta prismática

Este ensayo se realizó en cumplimiento al procedimiento establecidos por las normas técnicas aplicables NTP 339.079 y ASTM C 293-02; la resistencia a flexión se calculó con la expresión matemática de módulo de ruptura o rotura. Las probetas prismáticas se sometieron al ensayo de resistencia a flexión para su análisis a un periodo de 28 días de curado.

Ecuación para calcular módulo de rotura.

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \text{ (MPa)} \quad (46)$$

Dónde:

f^rc: Es la resistencia de rotura a la compresión del concreto (kg/cm²).

P: Carga de rotura (kg).

φ: Diámetro de la probeta cilíndrica (cm).

A: Área promedio de la probeta cilíndrica (cm²).

3.8.3.1 Normas técnicas.

- NTP 339.079
- ASTM C 293 - 02

3.8.3.2 Equipos requeridos para el ensayo.

- Equipo para el ensayo a la flexión.
- Flexómetro.

3.8.3.3 Descripción para el procedimiento de ensayo a flexión.

- La vigueta prismática se centra en los pilares de apoyo y se coloca en el equipo utilizado para medir la deflexión centrada en los pilares de apoyo.
- De este modo, el sistema de carga se centraliza en función de la carga utilizada.

- A continuación, la superficie de la probeta prismática se pone en contacto con el bloque de aplicación de carga con respecto al centro del vano y se aplica una carga que oscila entre el 3 y 6% de la carga calculada anteriormente.
- Luego utilizando las galgas que son instrumentos para medir longitudes muy pequeñas con precisión para determinar la existencia de algún vacío entre la vigueta prismática y los bloques de carga y de soporte si el vacío existente es mayor a lo permitido se debe realizar el esmerilado o aplicación de bandas de cuero como calzas teniendo en cuenta que el procedimiento descrito se utiliza cuando el vacío excede en 10 mm y cuando excede en 0.40 mm necesariamente debe ser eliminado por esmerilado.
- El laboratorista debe asegurarse de que todas las fuerzas estén distribuidas uniformemente y sean perpendiculares a la cara del espécimen. Las superficies deben ser lisas, sin cicatrices, hendiduras ni agujeros y perpendiculares a la cara de la probeta sin excentricidad, conservando la longitud de la luz, la longitud central y la ubicación central de la vigueta prismática.

Figura 39

Procedimiento de la aplicación del esfuerzo a flexión de la vigueta prismática a $L/2$.



3.9 DISEÑO DEL ESPESOR DE LA LOSA DEL PAVIMENTO RÍGIDO POR AASHTO 93

La finalidad del presente diseño de pavimento por AASHTO 93 es determinar el espesor de la losa del pavimento rígido, primero para un CC y segundo para un CC adicionado con E°N° (cemento, agregados, agua y E°N°).

3.9.1 Periodo de diseño del pavimento

Según AASHTO (1993/1997) se tienen en cuenta dos factores temporales: el período de análisis y la vida útil del pavimento. El tiempo de análisis es el espacio de tiempo que puede abarcar cualquier estrategia de diseño y si no se tienen en cuenta las rehabilitaciones, es lo mismo que la vida útil; Sin embargo, si se adopta un enfoque de planificación por etapas, el período de análisis abarcará varias vidas útiles.

Alternativamente, la vida útil es el tiempo que transcurre desde que una carretera se pone en servicio y cuando el pavimento debe ser rehabilitado, o cuando alcanza un nivel mínimo de serviciabilidad. La vida útil se tiene en cuenta a efectos de diseño, mientras que el período de análisis se utiliza para contrastar diferentes opciones de diseño. Los períodos de análisis recomendados son mostrados en la tabla 55 (pp. 6-7).

Tabla 55

Periodo de diseño en función del tipo de vía.

Clasificación de la vía	Periodos de análisis (años)
Urbana con alto volumen de tráfico	30 - 50
Rural con alto volumen de tráfico	20 - 50
Pavimentada con bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada con bajo volumen de tráfico	10 - 20

Nota: Datos tomados AASHTO para la proyección de losa de pavimentos (1993/1997, p.7).



El AASHTO nos proporciona valores predeterminados para el periodo de diseño, como la ciudad de Puno no cuenta con autopistas, bypass, las cuales se diseñan para un alto volumen de tráfico de vehículos livianos y pesados, por tanto, para el periodo de diseño mas adecuado para la ciudad de Puno es la opción de bajo volumen de tráfico de vehículos cuyo periodo de diseño está entre 15 a 25 años, para el presente diseño se va considerar un periodo de diseño para 25 años, la misma se ha inferido de la tabla 55 de la presente investigación.

3.9.2 Determinación de índice de serviciabilidad para pavimento rígido

Según AASHTO (1993/1997) indica la serviciabilidad como la calidad del servicio del pavimento, está cuantificada en términos del índice de serviciabilidad, es obtenido de las medidas de rugosidad y daños, en una escala del cero a cinco, donde cero representa pavimento intransitable y cinco indica pavimento en excelentes condiciones. El índice de servicio inicial (P_o) y el índice de servicio final (P_t) deben calcularse para la vida útil, el estado de un pavimento inmediatamente después de su construcción o renovación se conoce como capacidad de servicio inicial $P_o = 4.5$ se recomienda para pavimentos rígidos, por otro lado, la capacidad de servicio final se produce cuando la superficie de un pavimento ya no satisface las expectativas de perspectiva y seguridad del usuario, es por eso en este caso, se recomienda un $P_t = 2.5$ o 3.0 para el diseño de la calzada y un valor $P_t = 2.0$ para carreteras con bajos volúmenes de tráfico (pp. 13-14).

Por las consideraciones expuestas en el párrafo precedente el índice de serviciabilidad para el presente diseño se ha calculado en cumplimiento de la recomendación AASHTO 93 ya que este índice está entre las escalas de cero a cinco, el PSI (índice de serviciabilidad presente) igual a cero significa un pavimento intransitable y PSI igual a cinco significa que el pavimento se encuentra en excelentes condiciones por tanto debido a que se está diseñando un pavimento rígido en la ciudad de Puno para

transitabilidad urbana se toma los valores de $P_o = 4.5$ y $P_t = 2.0$. La ΔPSI , se define como la diferencia entre el P_o y P_t , se calcula con la ecuación 47.

Ecuación para determinar el índice de serviciabilidad.

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (47)$$

Por consiguiente, para la proyección estructural de pavimento, se ha elegido los datos a partir de los parámetros ya mencionados anteriormente y usando la ecuación 47, tenemos:

Serviciabilidad inicial $P_o = 4.5$

Serviciabilidad final $P_t = 2.0$

Pérdida de serviciabilidad $\Delta PSI = P_o - P_t = 2.5$

3.9.3 Factor de confiabilidad para el diseño estructural del pavimento

Según AASHTO (1993/1997) es la probabilidad de que un pavimento funcione eficazmente a lo largo de su vida útil, soportando las condiciones de tráfico y ambientales previstas. Dicho de otro modo, es su capacidad para soportar las tensiones que le impone el tráfico y al mismo tiempo garantizar la seguridad y el confort del usuario dentro del período para el que fue concebido. Es por eso que durante el periodo para el que fue construido el usuario experimentará seguridad y comodidad (pp. 80-92).

Tabla 56

Niveles de confiabilidad sugeridos por AASHTO 93.

Clasificación funcional	Nivel recomendado de confiabilidad (%)	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías	85.00 - 99.90	80.00 - 99.90
Arterias principales	80.00 - 99.00	75.00 - 95.00
Colectores	80.00 - 95.00	75.00 - 95.00
Local	50.00 - 80.00	50.00 - 80.00

Nota: Datos tomados de AASHTO para cálculo de losa de pavimento. (1993/1997, p. 10)

Tabla 57

Valores de Zr en función de la confiabilidad.

Confiabilidad R (%)	Desviación estándar normal (Zr)
50.00	0.00
60.00	-0.25
70.00	-0.52
75.00	-0.67
80.00	-0.84
85.00	-1.04
90.00	-1.28
91.00	-1.34
92.00	-1.41
93.00	-1.48
94.00	-1.56
95.00	-1.65
96.00	-1.75
97.00	-1.88
98.00	-2.05
99.00	-2.33
99.90	-3.09
99.99	-3.75

Nota: Datos tomados de guía AASHTO (1993/1997, p .93).

Para el diseño estructural del pavimento se ha adoptado lo recomendado por AASHTO 93 con una confiabilidad de diseño (R) igual a 50% este valor se ha tomado tabla 56 de la presente investigación, debido a que el pavimento que se está diseñando es para una vía urbana local, con el R seleccionado se procede a seleccionar desviación estándar (Zr) la misma se ha descrito en la tabla 57 por tanto Zr es igual 0.00.

3.9.4 Error estándar combinado (So) para el diseño estructural del pavimento.

Para la presente proyección del espesor de la losa se ha considerado el valor de So = 0.39, por motivos de que el diseño es para un pavimento rígido con errores de tránsito. So = 0.39, este valor se obtiene de la tabla 58 conforme como se describe y se detalla a continuación.

Tabla 58

Valores de error de estándar combinado para diseño del pavimento.

Variación en la predicción del comportamiento del pavimento	Desviación estándar	
	Pavimento rígido	Pavimento flexible
Sin errores en el tránsito	0.34	0.44
Con errores en el tránsito	0.39	0.49

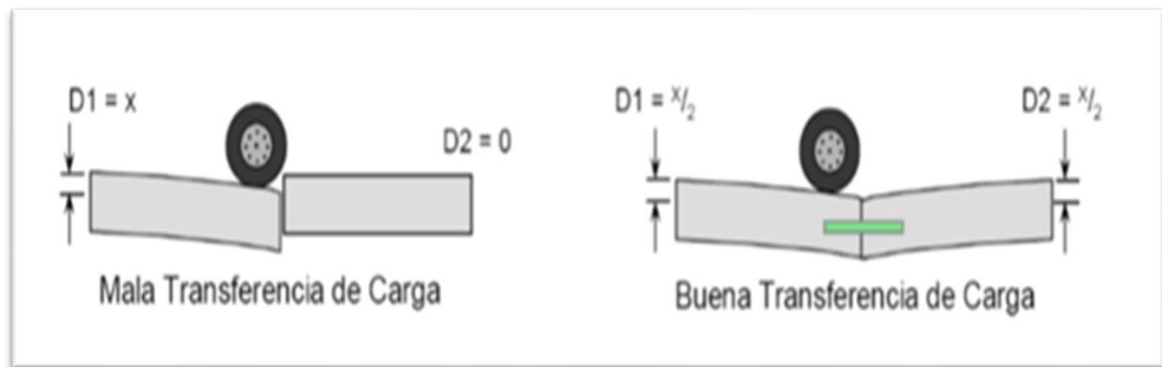
Nota: Datos tomados de guía AASHTO (1993/1997, p. 73).

3.9.5 Coeficiente de transferencia de carga (*J*) para el diseño estructural del pavimento

Según AASHTO (1993/1997) es un factor que se utiliza para predecir el espesor de las losas de pavimento rígido y se define como la capacidad de una estructura de losa de pavimento para transmitir o distribuir cargas a través de discontinuidades tales como juntas o fisuras (véase figura 40) (p. 33).

Figura 40

Grafica de transferencia de carga entre losas vecinas.



Nota: Datos tomados de guía AASHTO (1993/1997, p. 25).

Tabla 59*Coefficiente de transferencia de carga.*

Tipo de bermas	Concreto asfáltico		Anclada y de concreto de cemento Pórtland.	
	Sí	No	Sí	No
Dispositivos de transferencia de cargas	Sí	No	Sí	No
Pavimentos de concreto simple con juntas o concreto reforzado con juntas	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Pavimentos de concreto continuamente reforzado	2.9 - 3.2	N/A	2.3 - 2.9	N/A

Nota: Datos tomados de guía AASHTO (1993/1997, p. 34).

Para la proyección estructural de pavimentos con transitabilidad alta se usa las pasajuntas esto para obtener una mayor efectividad en la transferencia de cargas para el presente diseño, teniendo en cuenta la tabla 59, se ha considerado un $J = 2.90$ ya que el pavimento a diseñarse va a ser con concreto reforzado y cemento Portland tipo IP.

3.9.6 Coeficiente de drenaje (C_d) para el diseño estructural del pavimento

Según AASHTO (1993/1997) se conceptualiza como el tiempo que tarda el agua infiltrada en salir de la estructura del pavimento define la calidad del drenaje, es decir cuando se elimina el agua que se ha filtrado a través de la estructura del pavimento. (p. 31).

Tabla 60*Niveles de drenaje para pavimentos.*

Calidad de drenaje	Tiempo de remoción del agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	no drena

Nota: Datos tomados de guía AASHTO (1993/1997, p.31).

Tabla 61

Valores recomendados del Cd para el diseño del pavimento rígido.

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está propenso a niveles de humedad próxima a la saturación.			
	Menor del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Mayor del 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Nota: Datos tomados de guía AASHTO (1993/1997, p.33).

Para el diseño se adopta que la calidad de drenaje es buena, esto implica que el agua se removerá en un día de acuerdo a la tabla 61 y para seleccionar Cd se ha tomado en consideración la tabla 60 ya que en la ciudad de Puno y en toda la región presenta precipitaciones pluviales de consideración en verano, ahora bien, debido a estas el pavimento va estar sometido a humedad por esta razón se elige Cd igual a uno.

3.9.7 Determinación del tránsito (ESALs) para el pavimento rígido

Según AASHTO (1993/1997) El sistema de transporte se compone de vehículos con distintos pesos y números de ejes, lo que da lugar a diversas tensiones y deformaciones en el pavimento, así como a diversos fallos. Los pavimentos están diseñados para soportar un número determinado de cargas a lo largo de su vida útil. Para tener en cuenta esta variación, el transporte se convierte en un número directo de cargas por eje igual a 8.2 toneladas por eje, para expresar el impacto de un eje, es comparable a 8.2 Tn, 18 kips, o ESAL (Equivalent Single Axle Load). A través de los factores equivalentes de carga LEF (Load equivalent factor), cuyo valor se determina en función de un espesor de losa estimado al inicio. El tráfico se debe de convertir a ESALs por medio del producto de varios factores, lo cual se calcula con la ecuación 48 (pp. 12-13).

Ecuación para determinar el ESAL.

$$ESALs = \sum(Nro. de vehiculos por categoria * Fcarril * Fcrecimiento * Fejeequivalente) \quad (48)$$

3.9.7.1 Selección crecimiento anual de tránsito (r).

Para seleccionar (r) se ha utilizado manual de estadística del MTC registradas hasta el año 2018 la misma se describe en la tabla 62.

Tabla 62

Proyecciones del parque vehicular estimado por departamentos - Perú según MTC.

Departamento	Número de vehículos 2017	Número de vehículos 2018	Tasa promedio anual
Amazonas	2227	2182	-2.0
Ancash	34923	36190	3.6
Apurímac	4177	4120	-1.4
Arequipa	200560	211735	5.6
Ayacucho	6015	5918	-1.6
Cajamarca	26224	27674	5.5
Cusco	79874	84942	6.3
Huancavelica	1259	1235	-1.9
Huánuco	16915	17367	2.7
Ica	27423	27558	0.5
Junín	69760	72316	3.7
La Libertad	196040	202558	3.3
Lambayeque	71328	74092	3.9
Lima	1837347	1908672	3.9
Loreto	5489	5477	-0.2
Madre de Dios	1308	1383	5.7
Moquegua	14887	14810	-0.5
Pasco	6660	6545	-1.7
Piura	57740	60006	3.9
Puno	49387	51041	3.3
San Martín	12669	13052	3.0
Tacna	50858	52161	2.6
Tumbes	3423	3375	-1.4
Ucayali	9608	9918	3.2
Total	2786101	2894327	3.9

Nota: Datos tomados de OGPP-Oficina de estadística www.mtc.goob.pr/estadísticas/archivos (2018). De la tabla 62 se infiere que para el departamento de Puno (r) es de 3.3%.

3.9.7.2 Cálculo de número de ejes equivalentes (ESAL).

Para determinar el diseño de (ESAL), para un periodo de diseño de 25 años, se realiza partir de realizar el conteo de vehículos que pasan por día por la superficie a pavimentar y después se debe realizar la conversión de ejes equivalentes, para tal fin se ha calculado el factor de crecimiento (Fcr), para luego determinar el ESAL, la misma se describe en la tabla 63.

Según la directriz AASHTO 93 para dos direcciones, los componentes de distribución direccional (DD) tienen en cuenta el 50%, es decir AASHTO 93 tiene en cuenta el 50% para dos direcciones. Como se considera un carril en cada dirección, la distribución por carril (DL) se tomó al 100%.

Ecuación para determinar el factor de crecimiento.

$$\text{Factor de crecimiento} = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad (49)$$

Dónde:

$r = 3.3\%$ (tasa de crecimiento anual)

$n =$ periodo de diseño (años)

Se considerará el departamento de Puno con una tasa de crecimiento de 3.3% entre 2004 y 2018 y el periodo de diseño que se ha escogido es para una duración de 25 años. (r) se obtiene de la tabla 62, tasa de crecimiento del PBI por departamento de tráfico vehicular. Por lo tanto, reemplazando en la ecuación 49 se tiene factor de crecimiento igual a 37.93.

$$\text{Factor de crecimiento} = \frac{(1 + 0.033)^{25} - 1}{0.033} = 37.93$$

Tabla 63*Cálculo de ESAL de diseño para un periodo de diseño 25 años en la ciudad de Puno.*

Tipo de vehículo	N° veh/día 1	N° veh/año 2=1x365	Factor Camión 4	ESAL en el carril de diseño 5=3x4	Factor de Crecimiento 6	ESAL de diseño 7=5x6
Automóviles	399	145635	0.0001	14.56	37.93	552.39
Combis	67	24455	0.0001	2.45	37.93	92.76
Camionetas	199	72635	0.0001	7.26	37.93	275.50
B2	17	6205	3.712	23032.96	37.93	873640.17
B3-1	4	1460	1.827	2667.42	37.93	101175.24
C2	3	1095	3.712	4064.64	37.93	154171.80
C3	3	1095	2.568	2811.96	37.93	106657.64
T2C3	8	2920	6.876	20077.92	37.93	761555.51
Total	700	255500		52679.17		1998121.01

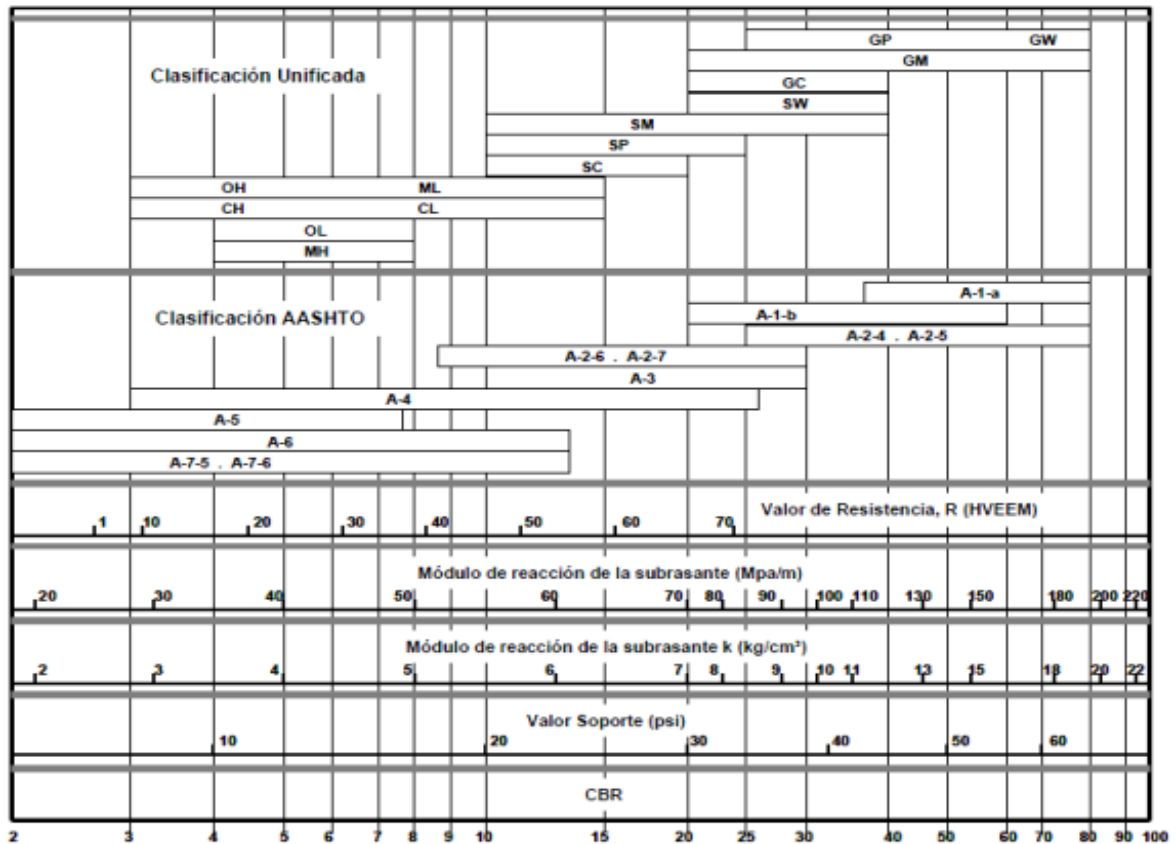
Nota: Datos tomados de Condori 2019 (p. 147) de la tabla 63 se infiere que el ESAL diseño es 1.998121×10^6 .

3.9.8 Cálculo del módulo de reacción de la subrasante (k)

Según AASHTO (1993/1997) indica que este factor nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión, se suele aproximar correlacionándolo con otros ensayos sencillos, como el CBR o los ensayos de valor R, ya que el ensayo de carga de placa requiere mucho tiempo y es costoso. La conclusión es sólida porque no es necesario conocer el valor exacto de k, porque los cambios habituales para un valor estimado no repercuten en el valor de k es por eso que los requisitos de espesor no se verán muy afectados por las fluctuaciones habituales para un valor previsto. Para efectos de diseño, los vínculos de la figura 41 son adecuados para el objetivo de diseño (pp. 15-18).

Figura 41

Relaciones aproximadas entre resistencia y clasificación del suelo según al CBR.



Nota: La figura muestra valores aproximados entre la resistencia (R) entre CBR (%).

Fuente: Montejo (2002, p. 323).

Para determinar k, se utilizó el ábaco de la figura 41, ya que este se calcula con el dato de CBR, para el presente diseño es de 40%.

Para un valor de CBR= 40.0%, el valor de k, que se obtiene de la figura 41 es: k = 120 Mpa/m.

Ecuación para convertir Mpa/m a psi.

$$k = 120 \frac{\text{MPa}}{\text{m}} * \frac{145.0377}{1\text{MPa}} * \frac{1\text{m}}{100\text{cm}} * \frac{2.54\text{cm}}{1\text{pulg}} \quad (50)$$

$$k = 442.07 \approx 442\text{psi}$$

3.9.9 Cálculo del módulo de elasticidad del concreto (E_c)

Es un indicador que de acuerdo con AASHTO (1993/1997), denota la rigidez y la capacidad de distribución de esfuerzos de las losas de pavimento de concreto y simboliza la conexión entre tensión y deformación, además, están estrechamente relacionadas con la flexión, el pandeo y la tracción. Para el concreto de peso estándar, E_c se calcula utilizando la ecuación 51 para representar la resistencia al esfuerzo de compresión del concreto (p. 20).

$$E_c = 57000x\sqrt{f'_c} \text{ (psi)} \quad (51)$$

Dónde:

f'_c : Resistencia del concreto en (psi)

Reemplazando en la ecuación 51 se determina el E_c del concreto.

$$E_c = 57000 * \sqrt{210 * \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \frac{1\text{lb}}{0.4536 \text{ kg}} * \frac{2.54^2\text{cm}^2}{1 \text{ pulg}^2}} = 3115169.60 \text{ psi}$$

$$E_c = 3.12 \times 10^6 \text{ psi}$$

3.9.10 Módulo de rotura del concreto (S'C)

La AASHTO (1993/1997) afirma que la valoración de la resistencia del concreto a la deformación por flexión ayuda a minimizar el agrietamiento por fatiga del pavimento provocado por las cargas repetitivas de los camiones, además, el procedimiento de diseño exige un módulo de agrietamiento, cuyo valor medio se determina tras 28 días de ensayo de carga. Similar a esta prueba, existe otra en la que se cargan los tercios de la barra prismática.

Dado que uno de los objetivos de esta tesis es determinar el módulo de rotura del concreto S'C, esta información se recogió durante la prueba de resistencia a la flexión, por tanto, se presenta la tabla 65 el resumen en donde se describen y se cuantifican para el CC sin adición de E°N° y para CC con 10, 20, 30 y 40% de adición de E°N° estos datos



se han obtenido en kg/cm^2 , pero para el diseño se deben convertirse en psi, en cumplimiento a lo dispuesto por AASHTO 93.

Tabla 64

Resumen del S'C con y sin adición de E°N°.

Descripción	Módulo de rotura (kg/cm^2)	Módulo de rotura (psi)
CC	26.30	374.06
CC con 10% de E°N°	28.26	401.94
CC con 20% de E°N°	31.08	442.05
CC con 30% de E°N°	33.65	478.60
CC con 40% de E°N°	37.84	538.20

3.9.11 Determinación del espesor de losa de pavimento rígido (D)

Según AASHTO (1993/1997) El rango del espesor varía entre cinco pulgadas que es equivalente a 12.7 cm y catorce pulgadas que es equivalente a 35.56 cm el espesor de diseño se redondea a la media pulgada más próxima. Téngase en cuenta que los resultados de cada variable deben ser promedios ya que la técnica tiene en cuenta el análisis de fiabilidad utilizado para el tráfico W18 (p. 7).

Obtenidos los datos y valores requeridos, se procede averiguar el espesor del pavimento rígido con y sin adición de E°N°, entiéndase cuando se dice calcular el espesor D, se refiere al espesor del concreto hidráulico, sin considerar el sub base ni la subrasante, para tal finalidad se prosigue reemplazar los valores en la fórmula general para diseño estructural de pavimentos.



Ecuación para calcular el espesor de la losa del pavimento rígido con CC , CC_1 , CC_2 , CC_3 y CC_4 .

$$\log(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 7.35 \times \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times p_t) \times \log \left[\frac{S'_C \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_C}{K}\right)^{0.25}} \right]} \right] \quad (52)$$

Donde:

W_{18} : Tráfico (Número de ESAL's) = 10.94349×10^5 psi

ZR: Desviación estándar normal, ZR = 0.000 para R = 50%

S_0 : Error estándar combinado de la predicción de tráfico = 0.39

D: Espesor de la losa del pavimento en (pulg.) = incógnita.

ΔPSI : Diferencia de serviciabilidad ($\Delta PSI = P_0 - P_t$) = 2.5

P_t : Serviciabilidad final = 2.0

S'_C : Módulo de rotura del concreto en (psi) para concreto convencional y con adición de 10, 20, 30 y 40% de E°N°, las cuales son 374.06, 401.94, 442.05, 478.60 y 538.20 psi respectivamente.

J: Coeficiente de transferencia de carga = 2.9

C_d : Coeficiente de drenaje = 1.00

E_c : módulo de elasticidad del concreto (psi) = 3.12×10^6 psi

K: módulo de reacción de la subrasante en psi (psi/pulg) = 442 psi

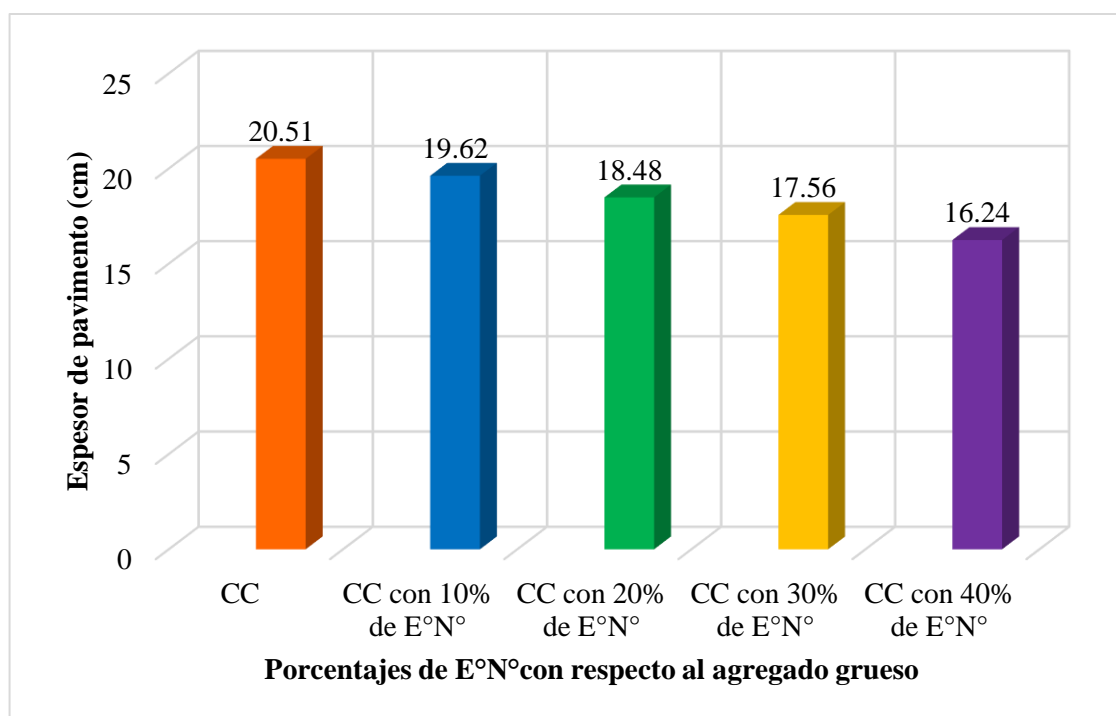
Tabla 65

Resultados del (D) según los SC del concreto con y sin adición de E°N°.

Descripción	Módulo de ruptura (kg/cm ²)	Módulo de ruptura (psi)	Espesor de pavimento (mm)	Espesor de pavimento (cm)
CC	26.30	374.06	205.09	20.51
CC con 10% de E°N°	28.26	401.94	196.21	19.62
CC con 20% de E°N°	31.08	442.05	184.83	18.48
CC con 30% de E°N°	33.65	478.60	175.60	17.56
CC con 40% de E°N°	37.84	538.20	162.43	16.24

Figura 42

Comparación de resultados del (D) según SC de CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄.



La adición de E°N° mayor o igual a 10% se sustenta debido a que con adiciones de 5 a 10 % de esta, sustituyendo al agregado grueso se obtiene un concreto con iguales o similares propiedades mecánicas y al adicionar más de 40% de E°N° la densidad del concreto aumentaría considerablemente ya que la densidad de la E°N° es 1.5 veces más



pesado que la de agregado grueso; estas consideraciones se han sustentado debidamente en el ítem de justificación. (véase pág. 24)

3.10 ANÁLISIS DE CU DEL PAVIMENTO RÍGIDO SIN Y CON ADICIÓN DE E°N° PARA LOS DIFERENTES ESPESORES

Con el objetivo de hacer el análisis costos del pavimento rígido para una duración de diseño de 25 años de acuerdo a los espesores obtenidos de la tabla 65 por la metodología AASHTO 1993, se procede a analizar del costo unitario por m² de pavimento.

Con los espesores de concreto hidráulico ya calculados y determinados por AASHTO 93 para un pavimento rígido con CC y con adición de 10, 20, 30 40% de E°N°, es posible calcular los costos unitarios por m² para pavimento rígido sin y con adición de E°N° para tal fin se va calcular los CU del mano de obra, equipos y materiales que son esenciales para la construcción de un m² de pavimento rígido conformado por el concreto con y sin adición de E°N°, que son agregados, cemento, agua, y E°N°, con lo respecta a este ultima se ha considerado el costo de transporte, ya que este producto se va a transportar desde la ciudad de Ilo, región Ica, específicamente de la planta Nro. 02 de Arequipa S.A hasta la ciudad de Puno, además de especificar que el costo de E°N° es despreciable ya que esta acumulado en grandes cantidades en la planta siderúrgica mencionada.

Tabla 66

Análisis de CU para un CC.

Rendimiento: 16 m³/día		Costo unitario por m³: 326.00			
Descripción	Unid	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					64.59
Operario	hh	2.00	1.0000	13.18	13.18
Oficial	hh	2.00	1.0000	11.57	11.57
Peón	hh	8.00	4.0000	9.96	39.84
Materiales					247.73
Cemento Portland tipo IP	bol		9.0824	25.00	227.06
Agregado grueso	m ³		0.4034	30.00	12.10
Agregado fino	m ³		0.2676	32.00	8.56
Transporte de E°N°	m ³		0.0000	210.00	0.00
Agua	m ³		0.2055	6.00	1.23
Gasolina 84 octanos	gln		0.8000	18.00	14.40
Aceite para motor grado 30	gln		0.1000	21.00	2.10
Equipo					13.69
Herramientas manuales	% mo		3.0000	64.59	1.94
Vibrador de concreto de 4 HP	hm	1.00	0.5000	9.70	4.85
Mezcladora de concreto (11 ft ³)	hm	1.00	0.5000	13.80	6.90

Nota: Los precios de mano de obra fueron tomados de acuerdo con la tabla salarial del sector construcción para el año 2023 (Capeco, 2023) y la cantidad de los agregados, E°N°, cemento, agua se han tomado de la dosificación de mezclas para concreto sin y con adición de E°N° sobre porcentajes del agregado grueso descritas y cuantificadas en la tabla 52.

Tabla 67

Análisis de CU para un CC con 10% de E°N°.

Rendimiento: 16 m³/día		Costo unitario por m³: 330.94			
Descripción	Unid	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					64.59
Operario	hh	2.00	1.0000	13.18	13.18
Oficial	hh	2.00	1.0000	11.57	11.57
Peón	hh	8.00	4.0000	9.96	39.84
Materiales					252.67
Cemento Portland tipo IP	bol		9.0824	25.00	227.06
Agregado grueso	m ³		0.3630	30.00	10.89
Agregado fino	m ³		0.2676	32.00	8.56
Transporte de E°N°	m ³		0.0293	210.00	6.15
Agua	m ³		0.2055	6.00	1.23
Gasolina 84 octanos	gln		0.8000	18.00	14.40
Aceite para motor grado 30	gln		0.1000	21.00	2.10
Equipo					13.69
Herramientas manuales	% mo		3.0000	64.59	1.94
Vibrador de concreto de 4 HP	hm	1.00	0.5000	9.70	4.85
Mezcladora de concreto (11 ft ³)	hm	1.00	0.5000	13.80	6.90

Tabla 68

Análisis de CU para un CC con 20% de E°N°.

Rendimiento: 16 m³/día		Costo unitario por m³: 335.87			
Descripción	Unid	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					64.59
Operario	hh	2.00	1.0000	13.18	13.18
Oficial	hh	2.00	1.0000	11.57	11.57
Peón	hh	8.00	4.0000	9.96	39.84
Materiales					257.59
Cemento Portland tipo IP	bol		9.0824	25.00	227.06
Agregado grueso	m ³		0.3227	30.00	9.68
Agregado fino	m ³		0.2676	32.00	8.56
Transporte de E°N°	m ³		0.0585	210.00	12.29
Agua	m ³		0.2055	6.00	1.23
Gasolina 84 octanos	gln		0.8000	18.00	14.40
Aceite para motor grado 30	gln		0.1000	21.00	2.10
Equipo					13.69
Herramientas manuales	% mo		3.0000	64.59	1.94
Vibrador de concreto de 4 HP	hm	1.00	0.5000	9.70	4.85
Mezcladora de concreto (11 ft ³)	hm	1.00	0.5000	13.80	6.90

Tabla 69

Análisis de CU para un CC con 30% de E°N° de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Rendimiento: 16 m³/día		Costo unitario por m³: 340.81			
Descripción	Unid	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					64.59
Operario	hh	2.00	1.0000	13.18	13.18
Oficial	hh	2.00	1.0000	11.57	11.57
Peón	hh	8.00	4.0000	9.96	39.84
Materiales					262.53
Cemento Portland tipo IP	bol		9.0824	25.00	227.06
Agregado grueso	m ³		0.2824	30.00	8.47
Agregado fino	m ³		0.2676	32.00	8.56
Transporte de E°N°	m ³		0.0878	210.00	18.44
Agua	m ³		0.2055	6.00	1.23
Gasolina 84 octanos	gln		0.8000	18.00	14.40
Aceite para motor grado 30	gln		0.1000	21.00	2.10
Equipo					13.69
Herramientas manuales	% mo		3.0000	64.59	1.94
Vibrador de concreto de 4 HP	hm	1.00	0.5000	9.70	4.85
Mezcladora de concreto (11 ft ³)	hm	1.00	0.5000	13.80	6.90

Tabla 70

Análisis de CU para un CC con 40% de E°N° de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Rendimiento: 16 m³/día		Costo unitario por m³: 345.73			
Descripción	Unid	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					64.59
Operario	hh	2.00	1.0000	13.18	13.18
Oficial	hh	2.00	1.0000	11.57	11.57
Peón	hh	8.00	4.0000	9.96	39.84
Materiales					267.45
Cemento Portland tipo IP	bol		9.0824	25.00	227.06
Agregado grueso	m ³		0.2420	30.00	7.26
Agregado fino	m ³		0.2676	32.00	8.56
Transporte de E°N°	m ³		0.1170	210.00	24.57
Agua	m ³		0.2055	6.00	1.23
Gasolina 84 octanos	gln		0.8000	18.00	14.40
Aceite para motor grado 30	gln		0.1000	21.00	2.10
Equipo					13.69
Herramientas manuales	% mo		3.0000	64.59	1.94
Vibrador de concreto de 4 HP	hm	1.00	0.5000	9.70	4.85
Mezcladora de concreto (11 ft ³)	hm	1.00	0.5000	13.80	6.90

En las tablas 66, 67, 68, 69 y 70 se describen y se cuantifican el CU de un CC con y sin adición de E°N° para un m³ de concreto, con este dato se procede a determinar el CU para un m² de pavimento rígido con concreto simple sin y con adición de E°N°, para los diferentes espesores de pavimento, la misma se determinaron en el ítem de diseño estructural de pavimentos, específicamente están cuantificadas en la tabla 66, por tales consideraciones en las tablas 71, 72, 73, 74 y 75 se presentan el análisis correspondiente del CU para un m² de pavimento rígido.

Tabla 71

Análisis de CU por m² para pavimento con CC de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con $D = 20.51 \text{ cm}$.

Descripción	Unidad	P.U
Encofrado y desencofrado	m ²	47.28
Concreto CC de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	m ³	66.86
Juntas de contracción y sellado con emulsión asfáltica	m	25.20
Acabado, semipulido y curado de concreto	m ²	1.35
Total		S/ 140.69

Tabla 72

Análisis de CU por m² para pavimento con CC de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con $D = 19.62 \text{ cm}$.

Descripción	Unidad	P.U
Encofrado y desencofrado	m ²	47.28
Concreto CC con 10% de E°N°	m ³	64.93
Juntas de contracción y sellado con emulsión asfáltica	m	25.20
Acabado, semipulido y curado de concreto	m ²	1.35
Total		S/ 138.76

Nota: los C.U. de encofrado y desencofrado, juntas de contracción y sellado con emulsión asfáltica, acabado, semipulido y curado del concreto se tomaron del expediente técnico llamado Mejoramiento de servicio de transitabilidad vehicular y peatonal de la avenida Tambopata de Juliaca, provincia de San Román, región Puno, ejecutado por la UEI Gobierno regional de Puno en el año 2023, en concordancia con (Capeco, 2023).



Tabla 73

Análisis de CU por m² para pavimento con CC de f'c= 210 kg/cm² con D = 18.62 cm.

Descripción	Unidad	P.U
Encofrado y desencofrado	m ²	47.28
Concreto CC con 20% de E°N°	m ³	62.07
Juntas de contracción y sellado con emulsión asfáltica	m	25.20
Acabado, semipulido y curado de concreto	m ²	1.35
Total		S/ 135.90

Tabla 74

Análisis de CU por m² para pavimento con CC de f'c= 210 kg/cm² con D = 17.56 cm.

Descripción	Unidad	P.U
Encofrado y desencofrado	m ²	47.28
Concreto CC con 30% de E°N°	m ³	59.85
Juntas de contracción y sellado con emulsión asfáltica	m	25.20
Acabado, semipulido y curado de concreto	m ²	1.35
Total		S/ 133.68

Tabla 75

Análisis de CU por m² de pavimento con CC de f'c = 210 kg/cm² con D = 16.24 cm.

Descripción	Unidad	P.U
Encofrado y desencofrado	m ²	47.28
Concreto CC con 40% de E°N°	m ³	56.15
Juntas de contracción y sellado con emulsión asfáltica	m	25.20
Acabado, semipulido y curado de concreto	m ²	1.35
Total		S/ 129.98



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ASPECTOS GENERALES DE DISCUSIÓN

En este capítulo se analiza y se discute los resultados, tanto de los agregados, E°N°, probetas cilíndricas y prismáticas, estas dos últimas se han sometido a pruebas de compresión simple, flexión y densidad, (ver tabla 54 y figuras 38 y 39), además se va analizar los resultados de los ensayos Slump (ver tabla 55), diseño del espesor de pavimento, relación de costos de CC con respecto a CC₁, CC₂, CC₃, CC₄ y la proporción óptima de E°N°, para ser utilizados como una opción en la construcción de pavimentos rígidos con CC. Los resultados obtenidos van a ser validados o rechazados por el análisis estadístico de medidas de centralización, dispersión, distribución normal y t Student, para que en la prueba de hipótesis confirmar o rechazar las hipótesis expuestas en la investigación.

4.2 RESULTADOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS DE CANTERA CUTIMBO

Se realizó este ensayo al A°G°, A°F° y E°N° las dos primeras obtenidos de la cantera Cutimbo y la última de Arequipa ubicado en la ciudad de Pisco, cuyos resultados se describen en las tablas 18, 19 y 20 respectivamente, no obstante en la tabla 76 y figura 43 se muestra el resumen de los resultados del W(%), en ella se aprecia que la E°N° tiene menor contenido de humedad que el A°G° y la que tiene mayor contenido de humedad es el A°F°, es importante mencionar que el resultado obtenido del W(%) de la E°N° es concordante a la investigación realizado por Figueroa y Mamani (2019, p. 166), ya que en su tesis afirma que el contenido de humedad de E°N° es de 0.85 %, este el valor porcentual de humedad es bajo debido a que la E°N° se almacena a la intemperie con una exposición constante al sol.

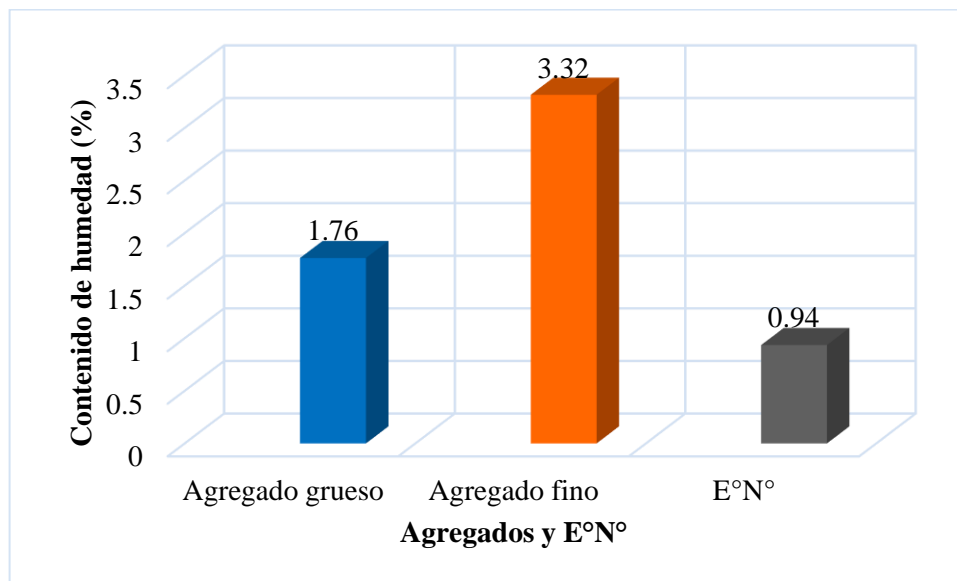
Tabla 76

Resumen de los resultados de W(%) de agregados y E°N°.

Descripción	Unidad	A°G°	A°F°	E°N°
Contenido de humedad	%	1.76	3.32	0.94

Figura 43

Comparación de resultados de W(%) de los agregados y E°N°.



4.3 RESULTADOS DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL A°G°, A°F° Y E°N°

Los resultados se describen en las tablas 21, 22, 23, 24, 25 y 26, no obstante, en la tabla 77 y figura 44 y 45 se detallan los resultados comparativos de peso específico y absorción de los materiales mencionados.

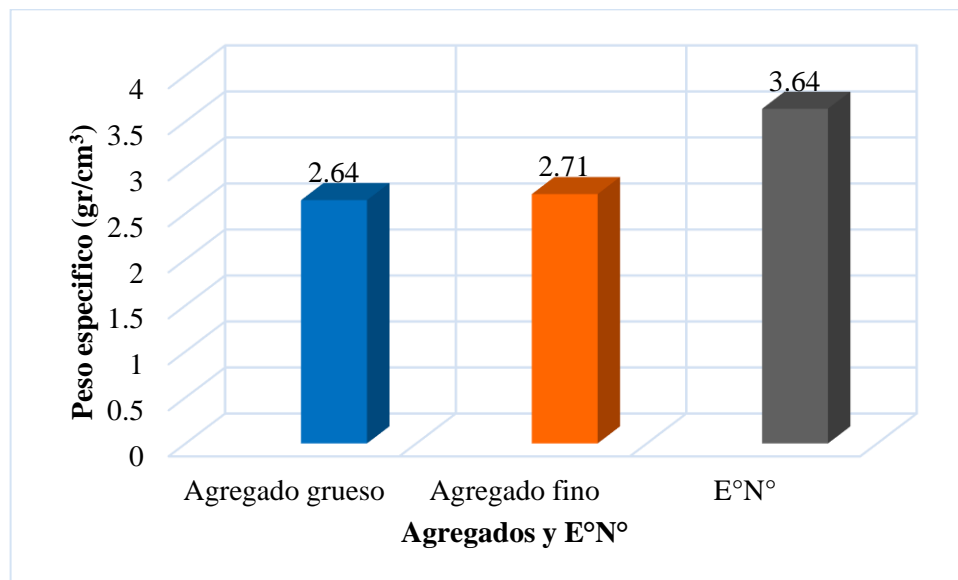
Tabla 77

Resultados de los ensayos de peso específico y absorción de A°G°, A°F° y E°N°.

Descripción	Unidad	A°G°	A°F°	E°N°
Peso específico nominal	gr/cm ³	2.64	2.71	3.64
Porcentaje de absorción	%	2.36	4.21	4.78

Figura 44

Comparación de resultados de peso específico de A°G°, A°F° y E°N°.



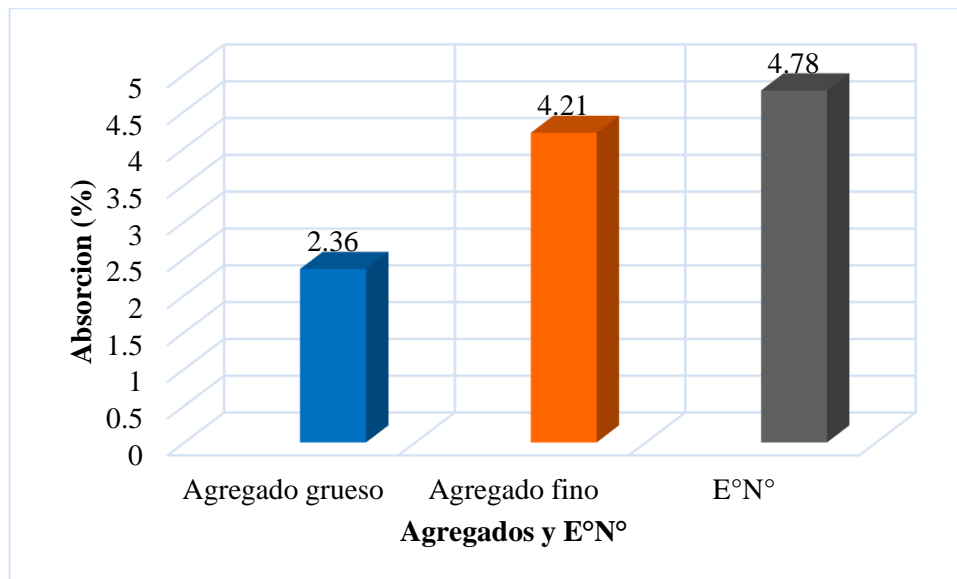
El peso específico del A°G° es de 2.64 gr/cm³ el cual es aceptable porque está por encima del rango 2.60 gr/cm³ conforme establece las normas técnicas NTP 400.021 y ASTM C127, lo cual indica que son agregados con buena densidad, por otro lado el peso específico del A°F° es 2.71 gr/cm³, este resultado es aceptable, ya que supera el valor mínimo admisible de 2,40 gr/cm³, que se indica en ASTM C 128, y el peso específico de E°N° es de 3.64 gr/cm³, por tanto se concluye que este último presenta mayor densidad (peso específico) en 1.40 veces mayor que el agregado grueso y 1.35 veces mayor que al agregado fino por tanto la adición de E°N° en porcentajes como sustituto al agregado grueso se va obtener un concreto con mayor densidad con lo que respecta un CC.

Además es menester precisar que visto y revisado la investigación de González (2015, p. 14) en su trabajo de investigación, que después de haber realizado la prueba de peso específico de E°N° obtuvo un resultado de 3.50 gr/cm³ en concordancia López y Pinedo (2015, p. 80), en su trabajo de tesis luego de haber realizado el ensayo de peso específico de E°N° proveniente de SIDER Perú, ubicado en la ciudad de Chimbote, región Ancash obtuvo un resultado de 3.53 gr/cm³, por tanto el resultado obtenido en la presente

tesis es congruente con los resultados de las investigaciones precedentes a esta, por lo tanto esta congruencia es lógico debido que se ha evaluado el mismo material que es la E°N°, solo en diferentes lugares.

Figura 45

Comparación de resultados de absorción de los agregados y E°N°.



La E°N° absorbe más agua que los agregados ya que la absorción del A°G° es 2.36 %, ya que es aceptable y válido porque está por debajo del 3.00 % que es el valor máximo permitido que estipula su respectiva norma técnica NTP 400.021 y ASTM C 127, como también la absorción del A°F° es permisible ya que es 4.21% y es inferior al 5% estipulado por la norma NTP 400.022 y ASTM C 128. Por las mencionadas consideraciones como la absorción de la E°N° es igual a 4.78 kg/cm³, este resultado es concordante con la revisión bibliográfica citada en la tabla 11, cuya absorción de la E°N° es igual a 4.70 gr/cm³.

4.4 RESULTADOS DE PESO UNITARIO SUELTO DE A°G°, A°F° Y E°N°

Los resultados están en el capítulo III de la presente tesis y los resultados se describen en las tablas 28, 30 y 33, no obstante, en la tabla 78 y figura 46 se presenta el cuadro resumen comparativo de los pesos unitarios sueltos de A°G°, A°F° y E°N°.

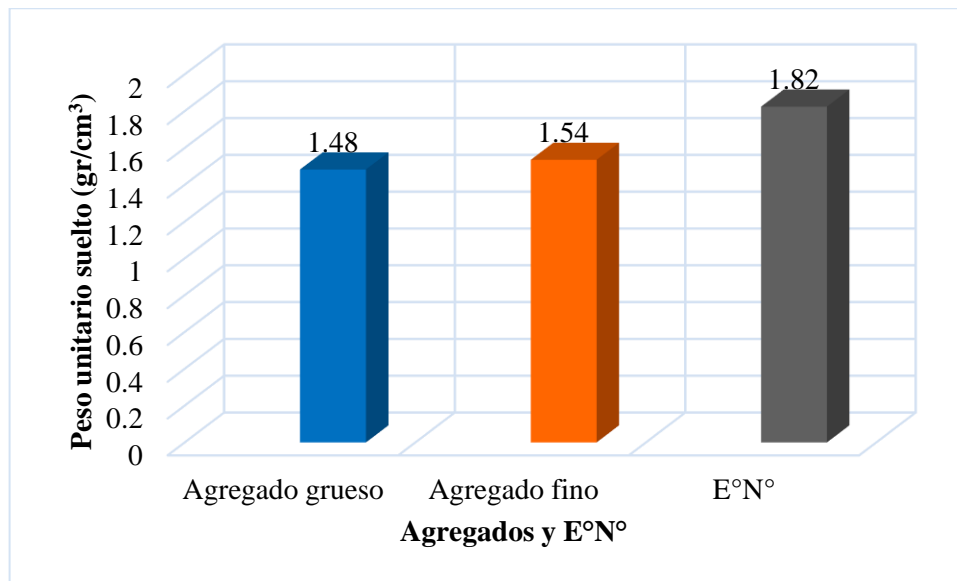
Tabla 78

Resultados de los ensayos de peso unitario suelto de los A°G°, A°F° y E°N°.

Descripción	Unidad	A°G°	A°F°	E°N°
Peso unitario suelto	gr/cm ³	1.48	1.54	1.82

Figura 46

Comparación de resultados de peso unitario suelto de los agregados y E°N°.



Los agregados presentan peso unitario suelto de 1.48 y 1.54 gr/cm³ y la E°N° de 1.82 gr/cm³, estos resultados se encuentran dentro del límite recomendado, según norma técnica NTP 400.017 y ASTM C 29, estos valores son aceptables ya que son menores a 1.30 gr/cm³ y mayores de 2.10 gr/cm³. Estos resultados nos indican que los agregados y la E°N° presentan menos poros por tanto son aptos para utilizar en la fabricación CC, además tienen la facilidad que acomodarse durante la preparación de la pasta de concreto. Por otro lado, visto y revisado las investigaciones de Carballo (2015, p. 43) Quispe y Ortiz (2020 p. 219) y López y Pinedo (2015, p. 78), han obtenido como resultado de peso unitario suelto de la E°N° igual 1.81 gr/cm³, 1.53gr/cm³ y 2.11gr/cm³ respectivamente, en ese entender el resultado obtenido en la investigación es concordante

con las investigaciones precedentes mencionados, esto se debe de que se ha analizado el mismo desecho siderurgico del horno electrico conocido como E°N°.

4.5 RESULTADOS DE PESO UNITARIO COMPACTADO DE A°G°, A°F° Y E°N°

Los resultados se describen en las tablas 31, 32 y 34 respectivamente, ergo en la tabla 79 y figura 47 se presenta el resumen comparativo de los resultados de pesos unitarios compactados de A°G°, A°F° y E°N°.

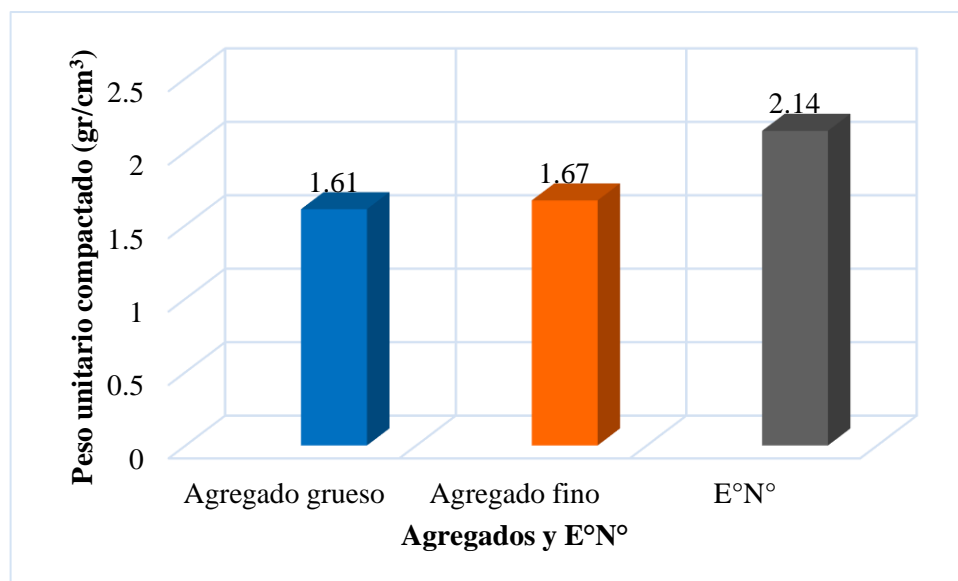
Tabla 79

Resultados de los pesos unitarios compactados de los A°G°, A°F° y de la E°N°.

Descripción	Unidad	A°G°	A°F°	E°N°
Peso unitario compactado	gr/cm ³	1.61	1.67	2.14

Figura 47

Comparación de resultados de peso unitario compactado de los A°G°, A°F° y E°N°.



Los agregados presentan peso unitario compactado de 1.61 y 1.67 gr/cm³ y la E°N° de 2.14 gr/cm³, estos resultados se encuentran dentro del límite recomendado, según norma técnica NTP 400.017 y ASTM C 29, estos valores son aceptables ya que son mayores a 1.30 gr/cm³ y menores de 2.10 gr/cm³. Estos resultados nos indican que los agregados y la E°N° presentan menos poros por tanto son aptos para utilizar en la

fabricación del CC, además tienen la facilidad que acomodarse durante la preparación de la pasta de concreto. Con respecto al peso unitario de la E°N° es igual a 2.14 gr/cm^3 , este resultado es congruente y concordante con las investigaciones de Carballo (2015, p. 43) y Quispe y Ortiz (2020, p. 219) que después de haber realizado el ensayo de peso unitario de la E°N° obtuvieron 2.02 gr/cm^3 y 2.17 gr/cm^3 respectivamente.

4.6 RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA DE A°G°, A°F° Y E°N°

Se analizó la granulometría de los agregados de la cantera Cutimbo y la E°N° proveniente de Aceros Arequipa S.A. planta Nro dos de la ciudad de Pisco, región Ica, los mismos presentan una granulometría óptima que se encuentra dentro los límites definidos por las normas NTP 400.012 y ASTM C 136.

4.6.1 Interpretación de análisis granulométrico del A°G° y E°N°

Los resultados de la Cantera de Cutimbo, y de la E°N° de Aceros Arequipa ubicado en la ciudad de Pisco, región Ica, se describe en las tablas 36 y 37 y en las figuras 32 y 33 respectivamente. Se ha tamizado 10 kg de A°G° y también de E°N° en estricto cumplimiento a las normas técnicas NTP 400.012 y ASTM C 136, que especifica que para un TMN de 1" la cantidad de muestra que se debe gradar es de 10 kg (ver tabla 35), teniendo en consideración que el TMN según la NTP 400.011 (2008), que equivale al tamiz más pequeño empleado en la serie que da lugar al primer material retenido (p. 7). Para mayor detalle sobre las definiciones del TMN (véase capítulo III).

Para el análisis granulométrico de la E°N° se utilizó supletoriamente las normas técnicas para el A°G° que son NTP 400.012 y ASTM 136, ya que la mencionada materia se va adicionar sobre porcentajes de agregado grueso, en proporción de 10, 20, 30 y 40%. Ahora bien, de las tablas 36 y 37 se ha realizado el resumen del cuadro comparativo verificando si los porcentajes pasan por los tamices cumple con las especificaciones técnicas del ASTM, el mismo se describe en la tabla 80.

Tabla 80

Verificación de los límites permitidos por ASTM de la gradación del A°G° y E°N°.

Tamices ASTM	% Que pasa de agregado grueso	% Que pasa de E°N°	Especificación ASTM (%)	Verificación de los límites permitidos del ASTM
1 1/2"	100.00	100.00	100	cumple
1"	91.85	90.44	90 a 100	cumple
3/4"	78.30	74.21		
1/2"	50.04	57.15	25 a 60	cumple
3/8"	37.12	38.71		
1/4"	11.49	18.79		
N° 4	0.00	0.00	0 a 10	cumple

De la tabla 80 se infiere válidamente que la gradación del A°G° y de la E°N° se encuentra dentro de los límites permitidos y recomendados por las normas técnicas mencionados en el párrafo precedente, por tanto, se consideran como aceptables y adecuados para realizar la dosificación de mezclas por el método ACI 211. Por otro lado, de las figuras 32 y 33 en donde se aprecia la gráfica de la curva granulométrica del A°G° y E°N° en un papel semilogaritmo, se aprecia que este material tiene una gradación correcta ya que la curva es apropiada y regular.

4.7 INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL A°F°

Los resultados se describen en las tablas 38 y en las figuras 34 respectivamente. Se ha tamizado 1.0 kg de A°F° en estricto cumplimiento a las normas técnicas NTP 400.012 y ASTM C 136, ya que este especifica taxativamente que para el análisis granulométrico del A°F° se requiere mínimamente 300 gr de muestra en estado seco, es decir a diferencia del agregado grueso no se toma en consideración el TMN para determinar a cantidad de la muestra a gradarse. Ahora bien, de la tabla 38 se ha realizado el resumen del cuadro comparativo verificando si los porcentajes pasan por los tamices cumple con las especificaciones técnicas del ASTM, el mismo se describe en la tabla 81

Tabla 81*Verificación de los límites permitidos por ASTM de la gradación del agregado fino.*

Tamices ASTM	% Que pasa de agregado fino	Especificación ASTM (%)	Verificación de los límites permitidos del ASTM
N° 4	100	95 a 100	cumple
N° 6	100		
N° 8	80.72	80 a 100	cumple
N° 10	80.72		
N° 16	60.33	50 a 85	cumple
N° 20	60.33		
N° 30	38.71	25 a 60	cumple
N° 40	38.71		
N° 50	15.18	10 a 30	cumple
N° 80	15.18		
N° 100	5.56	2 a 10	cumple
N° 200	1.09		

De la tabla 81 se infiere válidamente que la gradación del A^oF^o se encuentra dentro de los límites permitidos y recomendados por las normas técnicas mencionados en el párrafo precedente, por tanto, el agregado fino se considera como aceptables y adecuados para realizar la dosificación de mezclas por la técnica ACI 211. Finalmente, de la figura 34 en donde se aprecia la gráfica de la curva granulométrica de A^oF^o en un papel semilogaritmo, se aprecia que este material tiene una gradación correcta ya que la curva es apropiada

4.8 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE MÓDULO DE FINEZA DE A^oG^o, A^oF^o Y E^oN^o

El procedimiento y los resultados de módulo de fineza realizados a los agregados tanto grueso, fino y E^oN^o describen en el capítulo III, la determinación del módulo fineza para os materiales mencionados se realizaron en estricto cumplimiento de las normas técnicas NTP 400.011 y ASTM C 25.

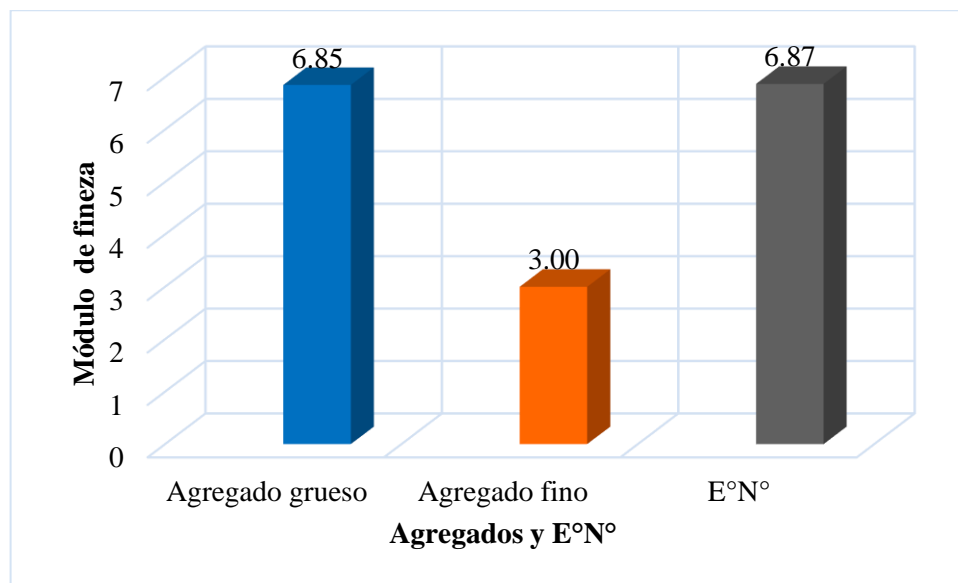
Tabla 82

Resultados del cálculo de módulo de fineza de A°G°, A°F° y E°N°.

Descripción	A°G°	A°F°	E°N°
Módulo de fineza	6.85	3.00	6.87

Figura 48

Comparación de resultados de módulo de fineza de A°G°, A°F° y E°N°.



Los resultados de módulo de finura de los agregados presentan valores de 6.85 para el A°G° y 3.00 para el A°F°, de igual forma para E°N° 6.87 (véase tabla 82 y figura 48), Con lo que respecta al módulo de fineza tanto del A°G° y de la E°N° según Pacori y Aquisé (2020, p. 117) afirma que con respecto al módulo de fineza del A°G° que es menos usado a comparación del módulo de fineza del A°F°, en ese entender el 6.85 y 6.87 significa que en mayor % es agregado de gradación gruesa.

Con respecto al módulo de finura del A°F°, López y Pinedo (2015, p. 68) afirma que el módulo de fineza se utiliza para controlar la homogeneidad de los agregados y además según la Norma ASTM el A°F° no debe una fineza inferior a 2.30 ni mayor a 3.10, por tanto el módulo de finura inferior a 2.30 se consideran demasiadas finas e inconvenientes para el concreto porque van a requerir más cemento, lo cual repercute en



el aspecto y en contraste si son superiores a 3.10 son excesivamente gruesas e inadecuadas porque dan lugar a mezclas abrasivas y segregables.

4.9 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL CC EN ESTADO FRESCO

La interpretación de los resultados obtenidos con respecto a la trabajabilidad, se realizaron en irrestricto cumplimiento de las normas NTP 339.035 y ASTM C 143, además de ello se ha realizado la evaluación estadística con la prueba t previo a ello se ha realizado la comprobación de normalidad de los datos recabados por Shapiro Wilk

4.9.1 Revenimiento del concreto adicionado con E°N° sobre porcentajes del A°G°

La prueba de revenimiento de concreto fresco conocido también como prueba Slump, se desarrolló en concordancia a las normas NTP 339.035 y ASTM C 143, se han analizado tres repeticiones por cada grupo de prueba de CC y CC con adición de E°N° en 10%, 20%, 30% y 40% respectivamente, haciendo un total de 15 pruebas de Slump. Para que un concreto convencional fresco sea trabajable y de consistencia plástica y no de consistencia seca ni muy fluido según Abanto (1995, p. 47), debe tener un asentamiento entre 3 a 4 pulgadas.

4.9.1.1 Interpretación de resultados.

Realizada el ensayo de asentamiento del concreto, las mediciones logradas para todos los grupos de control se describen en la tabla 53, no obstante, en la tabla 83 se presenta el cuadro comparativo de los resultados.

Conforme a los resultados, el asentamiento para el CC sin adición de E°N° es 3.6", y está comprendido entre 3" a 4", por tanto, es de consistencia plástica y trabajable, por ende, se requiere vibración ligera o chuseado correspondiente y cumple el asentamiento del diseño de mezcla descritos en la tabla 42; además que la cantidad de E°N° presente

en el concreto es inversamente proporcional al asentamiento del mismo. La misma se ilustra en la tabla 83 y figura 49.

Tabla 83

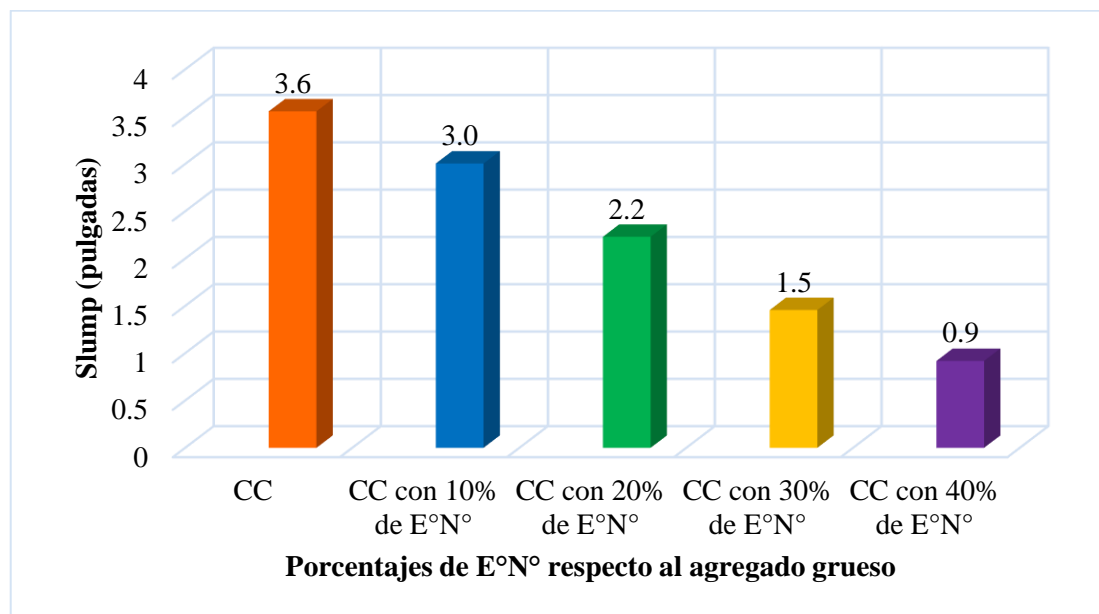
Cuadro comparativo de resultados de la prueba de Slump de CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄.

Descripción	Promedio (pulg)	
CC	3.6	Trabajable
CC con 10% de E°N°(CC ₁)	3.0	Trabajable
CC con 20% de E°N°(CC ₂)	2.2	Poco trabajable
CC con 30% de E°N°(CC ₃)	1.5	Poco trabajable
CC con 40% de E°N°(CC ₄)	0.9	Poco trabajable

Nota: Efecto de la E°N° sobre porcentajes del A°G° en los resultados de la prueba de asentamiento.

Figura 49

Resultados de la prueba Slump sin adición y con adición de E°N°.



El asentamiento del concreto convencional es de 3.6 pulgadas, no obstante, esta se reduce drásticamente en un 75% para una mezcla de concreto con 40% de adición de E°N° respecto al CC, la cual ya no es trabajable y este problema ya no se puede salvar al utilizar aditivos plastificantes, ahora bien, en las adiciones de E°N° en 10%, 20% y 30%, también se reduce el asentamiento a 16.67%, 38.89% y 58.33% respecto al concreto convencional, indican que el valor de asentamiento del concreto fresco disminuye al

aumentar E°N° sobre porcentajes del agregado grueso. Todas estas consideraciones al trabajar con un concreto adicionado con E°N° que según los resultados de las pruebas Slump es poco trabajable y de consistencia seca por tanto en la aplicación de este concreto necesariamente debe utilizarse vibrador de concreto.

4.9.1.2 Comprobación de normalidad de las muestras de trabajabilidad.

Antes de realizar la evaluación estadística de los resultados del ensayo de trabajabilidad del CC sin y con adición de E°N° a los 28 días, se procedió a verificar y comprobar si los datos obtenidos eran normales para tal finalidad de utilizo el método Shapiro Wilk para comprobar o rechazar la normalidad de los datos. ya que este método se usa para contrastar si un conjunto de datos sigue una distribución normal o no. Por ello se procedió probar la hipótesis estadística respecto al ensayo de trabajabilidad obtenida en el ensayo de laboratorio al adicionar E°N° en el CC, postulando como hipótesis estadística lo siguiente:

H₀: Los datos del ensayo de consistencia con adición de E°N° en un CC provienen de una distribución normal.

H_a: Los datos del ensayo de consistencia con adición de E°N° en un CC provienen de una distribución normal.

Tabla 84

Prueba de normalidad del ensayo de trabajabilidad.

Prueba de normalidad Shapiro Wilk		
Descripción	Nro. Muestras	Significancia
CC	3	0.551
CC con 10% de adición de E°N°	3	0.551
CC con 20% de adición de E°N°	3	0.551
CC con 30% de adición de E°N°	3	0.980
CC con 40% de adición de E°N°	3	0.551

Si la significación consecuente de la prueba de normalidad es mayor a 0.05, se acepta o se admite la hipótesis nula; en caso contrario se rechaza la misma.

Como se muestra en la tabla 84 de pruebas de normalidad para los datos del ensayo de trabajabilidad del concreto resultante, todos los valores de significancia por Shapiro-Wilk es mayor a 0.05, por estas consideraciones se admite el H_0 , por lo tanto, se afirma con certeza que los datos del ensayo de trabajabilidad del CC con adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ provienen de una distribución normal.

4.9.1.3 Evaluación estadístico y comprobación de hipótesis de trabajabilidad.

Para el estudio estadístico los resultados de los cinco grupos de prueba obtenidos de las pruebas de Slump se ha calculado la u y σ , estos datos son imprescindibles para la prueba t , es por ello que en la prueba de hipótesis se ha evaluado con la prueba estadística mencionado ya sea para aceptar o rechazar H_0 y la H_a .

4.9.1.3.1 Evaluación estadístico de la trabajabilidad del CC con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$.

Para realizar el estudio estadístico del primer grupo de control que corresponde a los resultados de asentamiento (X_i) del CC con adición de 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$, se ha determinado por estadística descriptiva la u y σ , para que con ellas calcular el estadístico t .

Tabla 85

Evaluación estadístico de los resultados de Slump del CC.

Muestra	S = (X_i)	$X_i - u$	$(X_i - u)^2$
CC-01	9.00	-0.03	0.00
CC-02	9.20	0.17	0.03
CC-03	8.90	-0.13	0.02

Nota: Los datos de la presente tabla también se va utilizar para el análisis estadístico del concreto con 20, 30 y 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ debido que el análisis estadístico de la trabajabilidad del CC no varía.

$$n = 3.00 \text{ y } \sum X_i = 27.10$$

Con la aplicación de la ecuación 11

$$u = 9.03 \text{ y } \sum (X_i - u)^2 = 0.05$$

Con la aplicación de la ecuación 12

$$\sigma = 0.15$$

Tabla 86

Evaluación estadístico de los resultados Slump del CC con 10% de E°N°.

Muestra	S = (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 10% de E°N°	7.80	0.17	0.03
CC con 10% de E°N°	7.50	-0.13	0.02
CC con 10% de E°N°	7.60	-0.03	0.00

Nota: $n = 3.00$; $\sum X_i = 22.9$; $u = 7.63$; $\sum (X_i - u)^2 = 0.05$ y $\sigma = 0.15$

4.9.1.3.2 Comprobación de hipótesis de trabajabilidad del CC con 10% de E°N°.

Una vez calculado las medidas de centralización como la u , σ^2 y σ tanto de los resultados de la trabajabilidad del CC y CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N° se procedió a realizar la validación de la prueba de hipótesis con la prueba t de Student, para tal fin se ha calculado el estadístico t (t_p) para compararlo con t_α .

Tabla 87

VARIABLES DE INTERÉS PARA COMPROBAR LA HIPÓTESIS DE SLUMP.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 10% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	9.03	7.63
Desviación estándar (σ)	0.15	0.15

Nota: Varianza común: $\Sigma p = 0.08$; estadístico t: $t_p = 14.97$; nivel de significancia: $\alpha = 0.05$.

Hipótesis nula

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

La adición de E°N° en 10% sobre porcentajes del A°G°, no incrementa la trabajabilidad del CC en estado fresco.

Hipótesis alternativa

$$H_a: u_1 < u_2$$

La adición de E°N° en 10% sobre porcentajes del A°G°, disminuye la trabajabilidad del CC en estado fresco.

Grados de libertad

$$G.L = n_1 + n_2 - 2$$

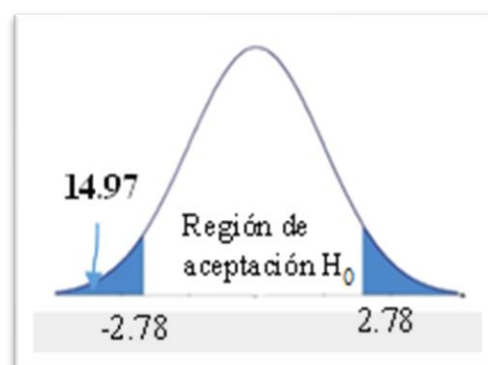
$$G.L = 3+3-2$$

$$G.L = 4.00$$

Con el valor de significancia, a través del uso de la tabla estadística del apéndice U se obtiene el valor de t_α y se compara con el valor obtenido de estadístico de prueba (t_p).

Figura 50

Gráfico del estadístico t para trabajabilidad con 10% de E°N°.



Nota: $t_\alpha = 2.132$; $t_p > t_\alpha$; $14.97 > 2.132$

Se rechaza H_0 si: $t_p > t_\alpha$ y se acepta H_0 si: $t_p < t_\alpha$

Decisión: Puesto que: $t_p > t_{\alpha}$; $14.970 > 2.132$, se refuta la hipótesis nula H_0 y se admite H_a por lo tanto se decide que al adicionar 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$ sobre porcentajes del $A^{\circ}G^{\circ}$ disminuye la trabajabilidad del concreto en estado fresco en comparación con el CC.

4.9.1.3.3 Evaluación estadístico de la trabajabilidad del CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$.

Para el estudio estadístico del segundo grupo de control que corresponde a los resultados de asentamiento (X_i) del CC con adición de 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$, se le ha determinado por estadística descriptiva la u , σ^2 y σ , para que con ellas calcular el estadístico t .

Tabla 88

Evaluación estadístico de los resultados del Slump del CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$.

Muestra	S = (X_i)	$X_i - u$	$(X_i - u)^2$
CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$	5.70	0.03	0.00
CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$	5.50	-0.17	0.03
CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$	5.80	0.13	0.02

Nota: Con los datos obtenidos de la tabla se determinó los valores de: $n = 3.00$;

$\sum X_i = 17.00$; $u = 5.67$; $\sum (X_i - u)^2 = 0.05$ y $\sigma = 0.15$.

4.9.1.3.4 Comprobación de hipótesis de trabajabilidad del CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$.

Tabla 89

Variables de interés para comprobar la hipótesis de Slump.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	9.03	5.67
Desviación estándar (σ)	0.15	0.15

Nota: Con los datos obtenidos de la tabla se determinó los valores de: $\sigma_p = 0.08$;

$t_p = 35.99$, G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

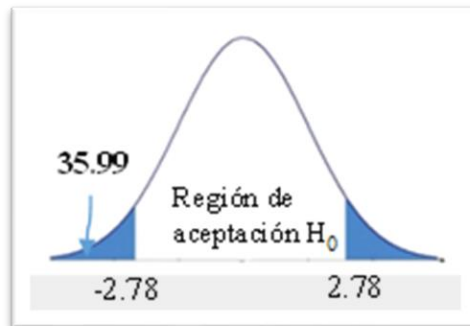
La adición de E°N° en 20% sobre porcentajes del A°G°, no incrementa la trabajabilidad del CC en estado fresco.

$$H_a: u_1 < u_2$$

La adición de E°N° en 20% sobre porcentajes del A°G°, disminuye la trabajabilidad del CC en estado fresco.

Figura 51

Gráfico del estadístico t para trabajabilidad con 20% de E°N°.



Nota: $t_\alpha = 2.132$; $t_p > t_\alpha$; $35.99 > 2.132$

Se rechaza H_0 si: $t_p > t_\alpha$ y se acepta H_0 si: $t_p < t_\alpha$

Decisión: Puesto que: $t_p > t_\alpha$; $35.990 > 2.132$, se refuta H_0 y se admite H_a por lo tanto se decide que al adicionar 20% de EN sobre porcentajes del A°G° disminuye la trabajabilidad del concreto en estado fresco en comparación con el CC.

4.9.1.3.5 Evaluación estadístico de la trabajabilidad del CC con 30% de E°N°.

Con lo que respecto al estudio estadístico del tercer grupo de control que corresponde a los resultados de asentamiento (X_i) del CC con adición de 30% de E°N°, se le ha determinado por estadística descriptiva la u , σ^2 y σ , para que con ellas calcular el estadístico t .

Tabla 90

Evaluación estadístico de los resultados del Slump del CC con 30% de E°N°.

Muestra	S = (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 30% de E°N°	3.80	0.10	0.01
CC con 30% de E°N°	3.60	-0.10	0.01
CC con 30% de E°N°	3.70	0.00	0.00

Nota: Con los datos obtenidos de la tabla se determinó los valores de: $n = 3.00$; $\sum Xi = 11.1$; $u = 3.70$; $\sum (Xi - u)^2 = 0.02$ y $\sigma = 0.10$.

4.9.1.3.6 Comprobación de hipótesis de trabajabilidad del CC con 30% de E°N°.

Tabla 91

VARIABLES DE INTERÉS PARA COMPROBAR LA HIPÓTESIS DE SLUMP.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 30% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	9.03	3.70
Desviación estándar (σ)	0.15	0.10

Nota: Con los datos obtenidos de la tabla se determinó los valores de: $\sigma_p = 0.06$; $t_p = 67.46$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

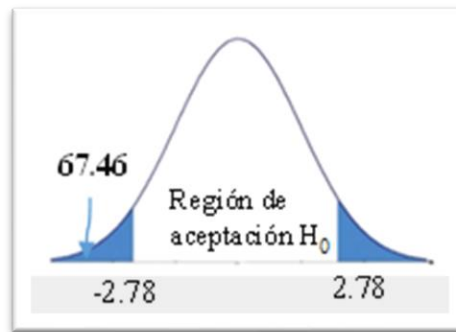
La adición de E°N° en 30% sobre porcentajes del A°G°, no incrementa la trabajabilidad del CC en estado fresco.

$$H_a: u_1 < u_2$$

La adición de E°N° en 30% sobre porcentajes del A°G°, disminuye la trabajabilidad del CC en estado fresco.

Figura 52

Gráfico del estadístico t para trabajabilidad con 30% de E°N°.



Nota: $t_{\alpha} = 2.132$; $t_p > t_{\alpha}$; $67.46 > 2.132$

Se rechaza H_0 si: $t_p > t_{\alpha}$ y se acepta H_0 si: $t_p < t_{\alpha}$

Decisión: Puesto que: $t_p > t_{\alpha}$; $67.460 > 2.132$, se refuta H_0 y se admite H_a por lo tanto se decide que al adicionar 30% de E°N° sobre porcentajes del A°G° disminuye la trabajabilidad del concreto en estado fresco en comparación con el CC.

4.9.1.3.7 Evaluación estadístico de la trabajabilidad del CC con 40% de E°N°.

Finalmente, para el estudio estadístico del primer grupo de control que corresponde a los resultados de asentamiento (X_i) del CC con adición de 40% de E°N°, se le ha determinado por estadística descriptiva la u y σ , para que con ellas calcular el estadístico t (t_p).

Tabla 92

Evaluación estadístico de los resultados del Slump del CC con 40% de E°N°.

Muestra	S = (X_i)	$X_i - u$	$(X_i - u)^2$
CC con 40% de E°N°	2.20	-0.13	0.02
CC con 40% de E°N°	2.50	0.17	0.03
CC con 40% de E°N°	2.30	-0.03	0.00

Nota: Con los datos obtenidos de la tabla se determinó los valores de: $n = 3.00$; $\sum X_i = 7.00$; $u = 2.33$; $\sum (X_i - u)^2 = 0.05$ y $\sigma = 0.15$.

4.9.1.3.8 Comprobación de hipótesis de trabajabilidad del CC con 40% de E°N°.

Tabla 93

Variables de interés para comprobar la hipótesis de Slump.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 40% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	9.03	2.33
Desviación estándar (σ)	0.15	0.15

Nota: Con los datos obtenidos de la tabla se determinó los valores de: $\sigma_p = 0.08$; $t_p = 71.63$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

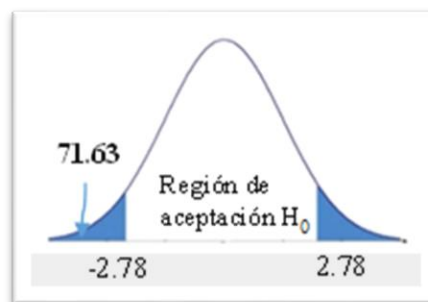
La adición de E°N° en 40% sobre porcentajes del A°G°, no incrementa la trabajabilidad

$$H_a: u_1 < u_2$$

La adición de E°N° en 40% sobre porcentajes del A°G°, disminuye la trabajabilidad del CC en estado fresco.

Figura 53

Gráfico del estadístico t para trabajabilidad con 40% de E°N°.



Nota: $t_\alpha = 2.132$; $t_p > t_\alpha$; $71.63 > 2.132$

Se rechaza H_0 si: $t_p > t_\alpha$ y se acepta H_0 si: $t_p < t_\alpha$

Decisión: Puesto que: $t_p > t_{\alpha}$; $71.630 > 2.132$, se refuta H_0 y se admite H_a por lo tanto se decide que al adicionar 40% de $E^{\circ} N^{\circ}$ sobre porcentajes del $A^{\circ} G^{\circ}$ disminuye la trabajabilidad del concreto en estado fresco en comparación con el CC.

4.10 EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

La interpretación de los resultados obtenidos con respecto a los ensayos a la densidad en estado endurecido, resistencia al esfuerzo de compresión y flexión se realizaron en irrestricto cumplimiento de las normas técnicas nacionales e internacionales además de ello se ha realizado la evaluación estadística con la la distribución normal y la prueba t previo a ello se ha realizado la comprobación de normalidad de los datos recabados con el método Shapiro Wilk.

4.10.1 Resultados de la densidad del CC sin y con adición de $E^{\circ} N^{\circ}$

Para determinar la densidad del concreto en estado fraguado, se ha evaluado tres probetas cilíndricas de CC, tres probetas cilíndricas de CC con adición de 10, 20, 30 y 40% de $E^{\circ} N^{\circ}$ respectivamente teniendo en cuenta que la variación de la densidad de un concreto obedece de la densidad de los agregados, de la cantidad de aire atrapado, y la relación a/c que ya se ha determinado en el diseño de mezclas. para calcular las densidades se ha utilizado la relación de peso de la probeta cilíndrica contenido con concreto entre el volumen de esta, cuyos resultados se describen a detalle en la tabla 54, no obstante, en la tabla 94 y figura 54 se presenta el cuadro resumen comparativo de la densidad obtenida.

De la tabla 94 y figura 54 se desprende que la densidad promedio del CC sin adición de $E^{\circ} N^{\circ}$ es igual 2402.66 kg/m^3 y la densidad del CC adicionado con $E^{\circ} N^{\circ}$ de 10, 20, 30 y 40% es 2416.88 , 2428.45 , 2440.76 y 2452.37 kg/m^3 , por tanto, se afirma con certeza que a mayor porcentaje de adición de $E^{\circ} N^{\circ}$ aumenta la densidad del concreto.

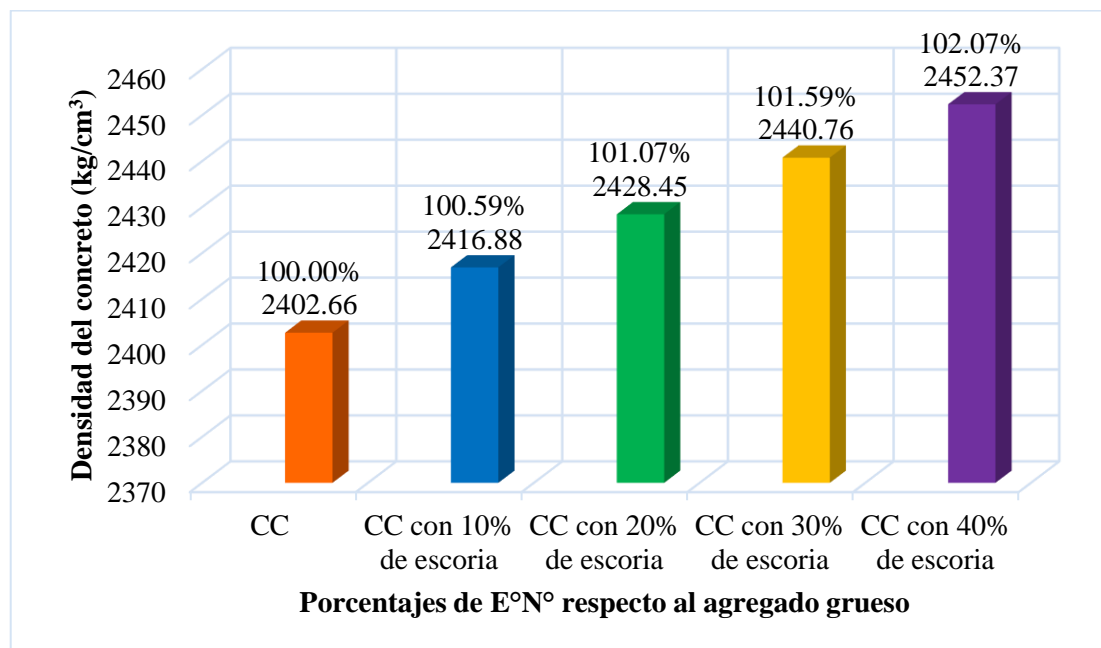
Tabla 94

Resumen de densidad de las probetas cilíndricas del CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄.

Descripción	Densidad Promedio
CC	2402.66
CC con 10% de E°N°	2416.88
CC con 20% de E°N°	2428.45
CC con 30% de E°N°	2440.76
CC con 40% de E°N°	2452.37

Figura 54

Comparación de resultados de densidad del concreto con y sin adición de E°N°.



Por otro lado, según Quenta (2019), afirma en su investigación de post grado que según que establece Reglamento comité ACI - 318 (2014) que la densidad para un CC varía entre 2155 y 2560 kg/m³ y generalmente se toma se toma entre 2320 y 2400 kg/m³. Por lo tanto, en la presente investigación la densidad obtenida de los diferentes grupos de control está dentro los intervalos establecidos por la norma mencionado.



Por los motivos indicados se concluye válidamente que al adicionar más de 40% de E°N° agregar la densidad del concreto aumenta por lo tanto concordamos con Veles (2013, pp. 150-151), concluyó que la escoria siderúrgica es alrededor de 1.5 veces más pesada que un agregado natural, es por ello que el CC con escoria de acero presenta mayor densidad en comparación con el CC, por ello en la tabla 94 donde se presenta el cuadro resumen de la densidad de los agregados y de la E°N° que es 1.4 veces más pesado que el agregado grueso, por lo tanto es coherente y valido que al adicionar más E°N° va aumentar la densidad del concreto.

4.10.1.1 Comprobación de normalidad de las muestras de densidad.

Antes de realizar la evaluación estadística de los resultados del ensayo de densidad del CC sin y con adición de E°N°, se procedió a verificar y comprobar si los datos obtenidos eran normales para tal finalidad de utilizo el método Shapiro Wilk para comprobar o rechazar la normalidad de los datos. ya que este método se utiliza para contrastar si un conjunto de datos sigue una distribución normal o no. En ese entender se procedió a probar la hipótesis estadística respecto al ensayo de densidad en estado endurecido obtenida en el ensayo de laboratorio al adicionar E°N° en el CC, postulando como hipótesis estadística lo siguiente:

H₀: Los datos del ensayo de densidad con adición de E°N° en un CC provienen de una distribución normal.

H_a: Los datos del ensayo de densidad con adición de E°N° en un CC provienen de una distribución normal.

Si la significación consecuente de la prueba de normalidad es mayor a 0.05, se acepta o se admite la hipótesis nula; en caso contrario se rechaza la misma.

Tabla 95

Prueba de normalidad de ensayo de densidad.

Prueba de normalidad Shapiro Wilk		
Descripción	Nro. Muestras	Significancia
CC	3	0.387
CC con 10% de adición de E°N°	3	0.382
CC con 20% de adición de E°N°	3	0.900
CC con 30% de adición de E°N°	3	0.225
CC con 40% de adición de E°N°	3	0.460

Como se muestra en la tabla 95 de pruebas de normalidad para los datos del ensayo de densidad del concreto resultante, todos los valores obtenidos de significancia por Shapiro-Wilk es mayor a 0.05, por estas consideraciones se admite el H_0 , por lo tanto, se afirma con certeza que los datos del ensayo de trabajabilidad del CC con adición de E°N° provienen de una distribución normal.

4.10.1.2 Evaluación estadístico y comprobación de hipótesis para la densidad con prueba t.

Para el estudio estadístico se ha utilizado los resultados de los cinco grupos de control obtenidos en el ensayo de densidad tanto al CC y CC₁, CC₂, CC₃, y CC₄ y se ha calculado la \bar{u} y σ , estos datos son necesarios para la prueba t, es por ello que en la prueba de hipótesis se ha evaluado con la prueba estadística mencionado ya sea para aceptar o rechazar H_0 y la H_a planteadas.

4.10.1.2.1 Evaluación estadístico de la densidad del CC con 10% de E°N°.

Para realizar el estudio estadístico del primer grupo de control que corresponde a los resultados de la densidad (X_i) del CC con adición de 10% de E°N°, se le ha determinado por estadística descriptiva que son la \bar{u} , σ^2 y σ , para que con ellas calcular el estadístico t.

Tabla 96

Evaluación estadística de los resultados de la densidad del CC.

Muestra	D = (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC-01	2401.96	-0.70	0.49
CC-02	2403.66	1.00	1.01
CC-03	2402.35	-0.31	0.09

Nota: Los datos de la presente tabla también se va se va utilizar para el análisis estadístico del concreto con 20, 30 y 40% de E°N° debido que el análisis estadístico de la densidad del CC no varía.

$$n = 3.00$$

$$\sum Xi = 7207.97$$

Con la aplicación de la ecuación 11

$$u = 2402.66$$

$$\sum (Xi - u)^2 = 1.59$$

Con la aplicación de la ecuación 12

$$\sigma = 0.89$$

Tabla 97

Evaluación estadístico de los resultados de la densidad del CC con 10% de E°N°.

Muestra	D = (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 10% de E°N°	2415.06	-1.83	3.34
CC con 10% de E°N°	2412.81	-4.08	16.62
CC con 10% de E°N°	2422.79	5.90	34.85

Nota: n = 3.00; $\sum Xi = 7250.66$; u = 2416.89; $\sum (Xi - u)^2 = 54.81$ y $\sigma = 5.23$

4.10.1.2.2 Comprobación de hipótesis de la densidad del CC con 10% de E°N°.

Una vez calculado las medidas de centralización como la u, σ^2 y σ tanto de los resultados de la densidad del CC y CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N° se ha proseguido a realizar la validación de comprobación de hipótesis con la prueba t de Student, para tal fin se ha calculado el estadístico t (t_p) para compararlo con t_α .

Tabla 98

VARIABLES DE INTERÉS PARA COMPROBAR LA HIPÓTESIS DE DENSIDAD.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 10% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	2402.66	2416.89
Desviación estándar (σ)	0.89	5.23

Nota: $\sigma_p = 1.88$; $t_p = -6.19$; $\alpha = 0.05$ y G.L = 4.

$H_0: u_1 \leq u_2$

Que el CC tiene una densidad menor en comparación al concreto con adición de 10% de E°N° sobre porcentajes del A°G°.

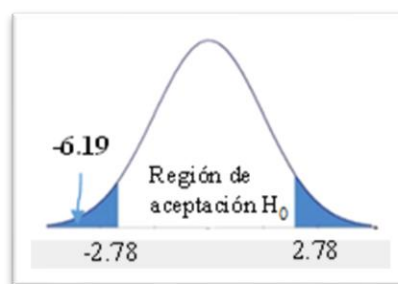
$H_a: u_1 > u_2$

La adición de E°N° en 10% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la densidad del CC en estado endurecido a los 28 días.

Con el valor de significancia, a través del uso de la tabla estadística del apéndice U se obtiene el valor de t_α y se compara con el valor obtenido de estadístico de prueba (t_p)

Figura 55

Gráfico del estadístico t para la densidad con 10% de E°N°.



Nota: $t_\alpha = 2.132$; $t_p < t_\alpha$; $-6.19 < 2.132$

Se acepta H_0 si: $t_p < t_\alpha$ y se rechaza H_0 si: $t_p > t_\alpha$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_\alpha$; $-6.190 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una densidad menor en comparación al CC con adición de 10% de E°N° sobre porcentajes del A°G°.

4.10.1.2.3 Evaluación estadístico de la densidad del CC con 20% de E°N°.

Para realizar el estudio estadístico del segundo grupo de control que corresponde a los resultados de la densidad (X_i) del CC con adición de 20% de E°N°, se le ha determinado por estadística descriptiva que son la u , σ^2 y σ , para que con ellas calcular el estadístico t .

Tabla 99

Evaluación estadístico de los resultados de la densidad del CC con 20% de E°N°.

Muestra	D = (X_i)	$X_i - u$	$(X_i - u)^2$
CC con 20% de E°N°	2421.05	-7.40	54.76
CC con 20% de E°N°	2435.45	7.00	49.00
CC con 20% de E°N°	2428.85	0.40	0.16

Nota: Con los datos obtenidos de la tabla se determinó los valores de: $n = 3.00$; $\sum X_i = 7285.35$; $u = 2428.45$; $\sum (X_i - u)^2 = 103.92$ y $\sigma = 7.21$.

4.10.1.2.4 Comprobación de hipótesis de la densidad del CC con 20% de E°N°.

Tabla 100

VARIABLES DE INTERÉS PARA COMPROBAR LA HIPÓTESIS DE DENSIDAD.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 20% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	2402.66	2428.45
Desviación estándar (σ)	0.89	7.21

Nota: Con los datos obtenidos de la tabla se determinó los valores de: $\sigma_p = 2.57$; $t_p = -8.20$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

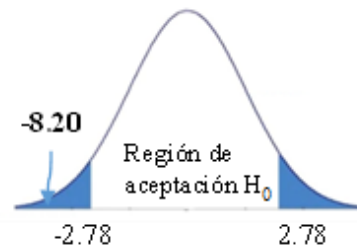
Que el CC tiene una densidad menor en comparación al CC con adición de 20% de E°N° sobre porcentajes del A°G°.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 20% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la densidad del CC en estado endurecido a los 28 días.

Figura 56

Gráfico del estadístico para la densidad con 20% de E°N°.



Nota: $t_\alpha = 2.132$; $t_p < t_\alpha$; $-8.20 < 2.132$

Se acepta H_0 si: $t_p < t_\alpha$ y se rechaza H_0 si: $t_p > t_\alpha$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_\alpha$; $-8.20 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una densidad menor en comparación al CC con adición de 20% de E°N° sobre porcentajes del A°G°.

4.10.1.2.5 Evaluación estadístico de la densidad del CC con 30% de E°N°.

Para realizar el estudio estadístico del tercer grupo de control que corresponde a los resultados de la densidad (X_i) del CC con adición de 30% de E°N°, se le ha determinado por estadística descriptiva que son la media u , σ^2 y σ , para que con ellas calcular el estadístico t .

Tabla 101

Evaluación estadístico de los resultados de la densidad del CC con 30% de E°N°.

Muestra	D = (Xi)	$X_i - u$	$(X_i - u)^2$
CC con 30% de E°N°	2441.70	0.94	0.89
CC con 30% de E°N°	2442.17	1.41	2.00
CC con 30% de E°N°	2438.40	-2.36	5.55

Nota: Con los datos obtenidos de la tabla se determinó los valores de: $n = 3.00$; $\sum X_i = 7322.27$; $u = 2440.76$; $\sum (X_i - u)^2 = 8.44$ y $\sigma = 2.05$.

4.10.1.2.6 Comprobación de hipótesis de la densidad del CC con 30% de E°N°.

Tabla 102

Variables de interés para comprobar la hipótesis de densidad.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 30% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	2402.66	2440.76
Desviación estándar (σ)	0.89	2.05

Nota: Con los datos obtenidos de la tabla se determinó los valores de: $\sigma_p = 0.79$; $t_p = -39.30$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

Que el CC tiene una densidad menor en comparación al CC con adición de 30% de E°N° sobre porcentajes del A°G°.

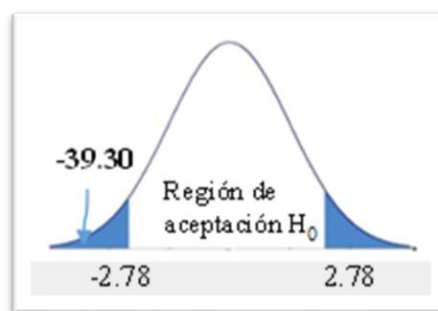
$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 30% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la densidad del CC en estado endurecido a los 28 días.

Se acepta H_0 si: $t_p < t_\alpha$ y se rechaza H_0 si: $t_p > t_\alpha$

Figura 57

Gráfico del estadístico t para la densidad con 30% de E°N°.



Nota: $t_\alpha = 2.132$; $t_p < t_\alpha$; $-39.300 < 2.132$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_\alpha$; $-39.300 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una densidad menor en comparación al CC con adición de 30% de E°N° sobre porcentajes del A°G°.

4.10.1.2.7 Evaluación estadístico de la densidad del CC con 40% de E°N°.

Para realizar el estudio estadístico del cuarto grupo de control que corresponde a los resultados de la densidad (X_i) del CC con adición de 40% de E°N°, se le ha determinado por estadística descriptiva que son la u , σ^2 y σ , para que con ellas calcular el estadístico t .

Tabla 103

Evaluación estadístico de los resultados de la densidad del CC con 40% de E°N°.

Muestra	D = (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 40% de E°N°	2453.44	1.07	1.14
CC con 40% de E°N°	2455.56	3.19	10.15
CC con 40% de E°N°	2448.12	-4.25	18.09

Nota: Con los datos obtenidos de la tabla se determinó los valores de: $n = 3.00$; $\sum X_i = 7357.12$; $u = 2452.37$; $\sum (X_i - u)^2 = 29.38$ y $\sigma = 3.83$.

4.10.1.2.8 Comprobación de hipótesis de la densidad del CC con 40% de E°N°.

Tabla 104

Variables de interés para comprobar la hipótesis de densidad.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 40% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	2402.66	2452.37
Desviación estándar (σ)	0.89	3.83

Nota: Con los datos obtenidos de la tabla se determinó los valores de: $\sigma_p = 1.39$; $t_p = -29.18$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

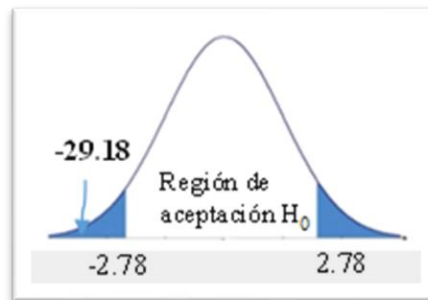
Que el CC tiene una densidad menor en comparación al concreto con adición de 40% de E°N° sobre porcentajes del A°G°.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 40% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la densidad del CC en estado endurecido a los 28 días.

Figura 58

Gráfico del estadístico t para la densidad con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$.



Nota: $t_{\alpha} = 2.132$; $t_p < t_{\alpha}$; $-29.18 < 2.132$

Se acepta H_0 si: $t_p < t_{\alpha}$ y se rechaza H_0 si: $t_p > t_{\alpha}$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_{\alpha}$; $-29.180 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una densidad menor en comparación al concreto con adición de 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ sobre porcentajes del $A^{\circ}G^{\circ}$.

4.10.2 Análisis y comparación de probetas cilíndricas sometidas a compresión

En la prueba de compresión axial se han elaborado, nueve probetas sin adición de $E^{\circ}N^{\circ}$, nueve probetas con adición de 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$, nueve probetas con adición de 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$, nueve probetas con adición de 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$ y nueve probetas con adición de 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$; sumado en total 45 probetas cilíndricas, estas probetas han sido sometidos a compresión a los 7, 14 y 28 días. Los resultados de este procedimiento se detallan en las tablas 105, 106 y 107 y figuras 59, 60 y 61.

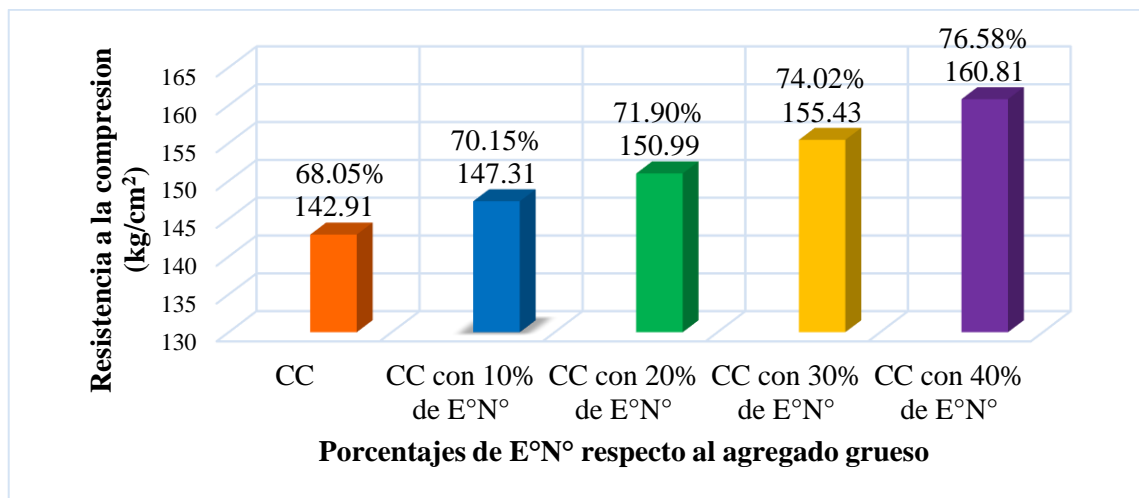
Tabla 105

Resultados de prueba de compresión con y sin adición de E°N° a los 7 días.

Descripción	Edad (días)	Resist. alcanzada (Kg/cm ²)	Resist. de diseño (Kg/cm ²)	% de resist.	Resist. promedio	% de resist. promedio
CC	7	143.11	210	68.15	142.91	68.05%
		140.94	210	67.12		
		144.67	210	68.89		
CC con 10% de E°N°	7	147.59	210	70.28	147.31	70.15%
		149.46	210	71.17		
		144.87	210	68.99		
CC con 20% de E°N°	7	151.09	210	71.95	150.99	71.90%
		150.19	210	71.52		
		151.7	210	72.24		
CC con 30% de E°N°	7	154.59	210	73.61	155.43	74.02%
		159.15	210	75.79		
		152.56	210	72.65		
CC con 40% de E°N°	7	159.42	210	75.91	160.81	76.58%
		160.63	210	76.49		
		162.39	210	77.33		

Figura 59

Resultados de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas a los 7 días.



Nota: Comparación de resultados de probetas cilíndricas de CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄ sometidos a compresión a los 7 días.

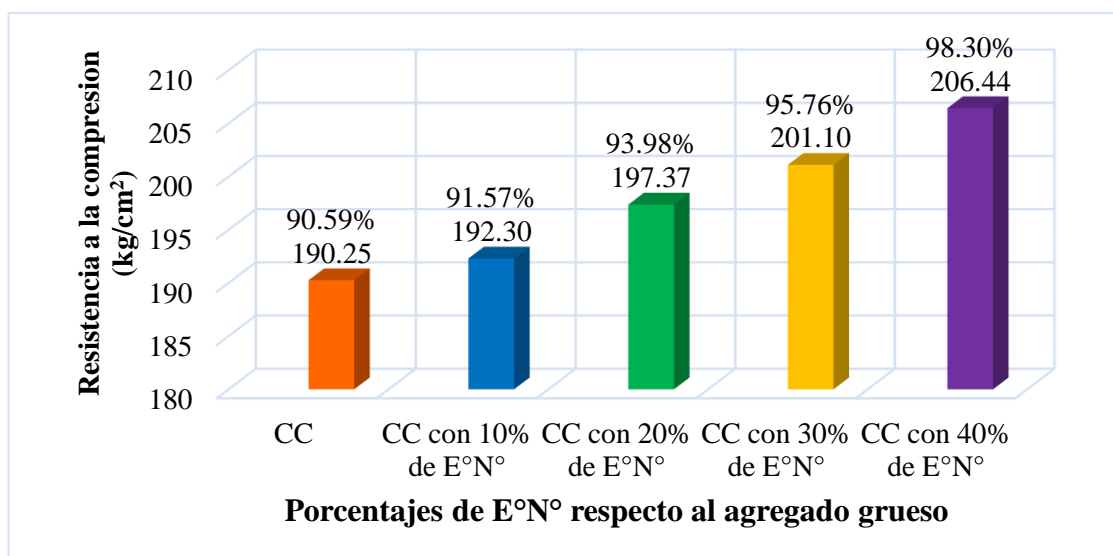
Tabla 106

Resultados de prueba a compresión con y sin adición de E°N° a los 14 días.

Descripción	Edad (días)	Resist. alcanzada (Kg/cm ²)	Resist. de diseño (Kg/cm ²)	% de resist.	Resist. promedio	% de resist. promedio
CC	14	190.42	210	90.68	190.25	90.59%
		188.88	210	89.94		
		191.44	210	91.16		
CC con 10% de E°N°	14	192.43	210	91.63	192.3	91.57%
		191.01	210	90.96		
		193.45	210	92.12		
CC con 20% de E°N°	14	195.17	210	92.94	197.37	93.98%
		196.22	210	93.44		
		200.7	210	95.57		
CC con 30% de E°N°	14	201.23	210	95.83	201.1	95.76%
		203.31	210	96.81		
		198.76	210	94.65		
CC con 40% de E°N°	14	203.74	210	97.02	206.44	98.30%
		206.67	210	98.41		
		208.91	210	99.48		

Figura 60

Resultados de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas a los 14 días.



Nota: Comparación de resultados de probetas cilíndricas de CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄ sometidos a compresión a los 14 días.

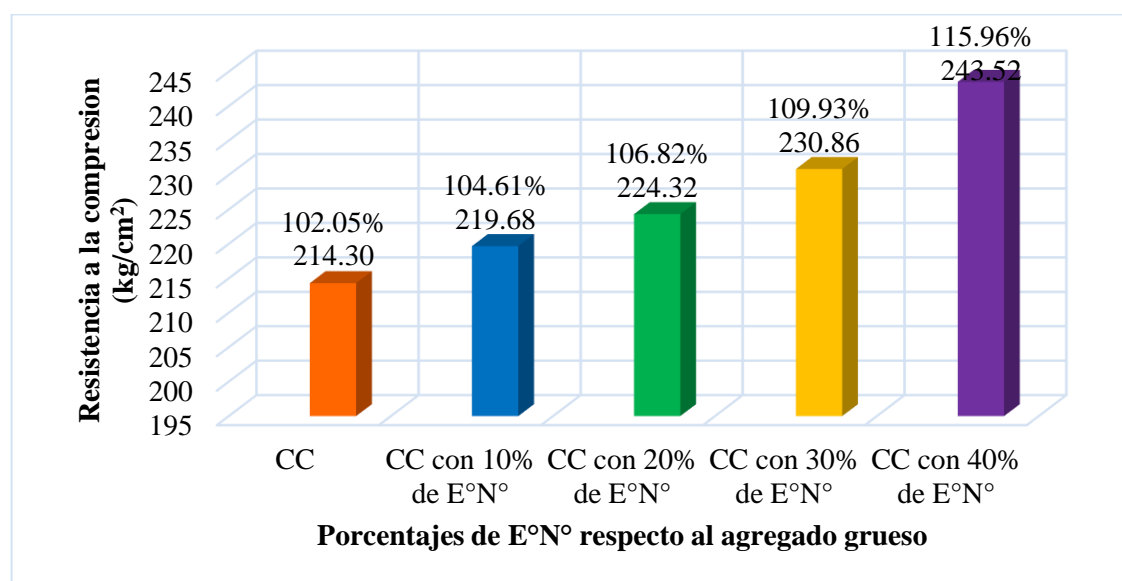
Tabla 107

Resultados de prueba a compresión con y sin adición de E°N° a los 28 días.

Descripción	Edad días	Resist. alcanzada (Kg/cm ²)	Resist. de diseño (Kg/cm ²)	% de resist.	Resist. promedio	% de resist. promedio
CC	28	214.75	210	102.26	214.30	102.05%
		216.64	210	103.16		
		211.51	210	100.72		
CC con 10% de E°N°	28	219.93	210	104.73	219.68	104.61%
		218.05	210	103.83		
		221.06	210	105.27		
CC con 20% de E°N°	28	227.66	210	108.41	224.32	106.82%
		222.11	210	105.76		
		223.2	210	106.28		
CC con 30% de E°N°	28	226.4	210	107.81	230.86	109.93%
		231.98	210	110.47		
		234.21	210	111.53		
CC con 40% de E°N°	28	241.32	210	114.92	243.52	115.96%
		245.3	210	116.81		
		243.93	210	116.16		

Figura 61

Resultados de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas a los 28 días.



Nota: Comparación de resultados de probetas cilíndricas de CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄ sometidos a compresión a los 28 días de curado.

Tabla 108

Resultados de prueba a compresión con y sin adición de E°N° a los 7, 14 y 28 días.

Descripción	Resistencia a la compresión con respecto a 210 kg/cm ²					
	7 días		14 días		28 días	
	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
Resistencia teórica ≥	140.70	67.00	180.60	86.00	210.00	100.00
CC	142.91	68.05	190.25	90.59	214.30	102.05
CC con 10% de E°N°	147.31	70.15	192.30	91.57	219.68	104.61
CC con 20% de E°N°	150.99	71.90	197.37	93.98	224.32	106.82
CC con 30% de E°N°	155.43	74.02	201.10	95.76	230.86	109.93
CC con 40% de E°N°	160.81	76.58	206.44	98.30	243.52	115.96

Nota: En la tabla se visualiza el resumen de resultados de resistencia a la compresión de CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄ a los 7, 14 y 28 días.

Teniendo resultados de las probetas cilíndricas de CC sin adición de E°N° sometidos a compresión a los 7, 14 y 28 días la resistencia promedio es igual a 142.91, 190.25 y 214.30 kg/cm² respectivamente, estos resultados validan la dosificación de mezclas por método de ACI 211 ya que se ha superado la resistencia prevista de 210 kg/cm².

Observando los resultados de las probetas cilíndricas de CC con adición de 10%, 20%, 30% y 40% de E°N° sometidos a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado respectivamente alcanzaron una resistencia media de 147.31, 192.30 y 219.68 kg/cm²; 150.99, 197.37 y 224.32 kg/cm²; 155.43, 201.10 y 230.86 kg/cm²; 160.81, 206.44 y 243.52 kg/cm².

De los datos descritos en el párrafo precedente se infiere que a los 7 días de curado el efecto de la adición de E°N° en 10%, 20%, 30% y 40% presenta un leve aumento en la resistencia a la compresión con respecto al CC, a los 14 días de curado se aprecia que con la adición de 10%, 20%, 30% y 40% de E°N°, la resistencia a la compresión varía entre 1.08% hasta 8.51% con respecto al CC.



A los 28 días de curado se aprecia que con una adición de 10% de E°N° aumenta la resistencia a la compresión axial en 2.51% respecto al CC, con adición de 20% de E°N° aumenta la resistencia a la compresión en 4.68%, con adición de 30% de E°N° aumenta la resistencia a la compresión en 7.73% y con la adición de 40% de E°N° aumenta la resistencia a la compresión en 13.64%.

4.10.2.1 Comprobación de normalidad de los resultados de compresión.

Antes de realizar la evaluación estadística de los resultados de los ensayos de compresión del CC sin y con adición de E°N° a los 7, 14 y 28 días, se procedió a verificar y comprobar si los datos obtenidos son normales para tal finalidad de utilizó el método Shapiro Wilk para comprobar o rechazar la normalidad de los datos. ya que este método se usa para contrastar si un conjunto de datos sigue una distribución normal o no. Por ello se procedió probar la hipótesis estadística respecto al ensayos de compresión postulando como hipótesis estadística lo siguiente:

H₀: Los datos del ensayo de resistencia sometidas a esfuerzo de compresión a los 7, 14 y 28 días con adición de E°N° en un CC provienen de una distribución normal.

H_a: Los datos del ensayo de resistencia sometidas a esfuerzo de compresión a los 7, 14 y 28 días con adición de E°N° en un CC no provienen de una distribución normal.

Si la significación consecuente de la prueba de normalidad es mayor a 0.05, se acepta o se admite la hipótesis nula; en caso contrario se rechaza la misma.

Como se muestra en las tablas 109, 110 y 111 de pruebas de normalidad para los datos del ensayo de resistencia a compresión del concreto resultante, todos los valores de significancia por Shapiro-Wilk es mayor a 0.05, por estas consideraciones se admite el *H₀*, por lo tanto, se afirma con certeza que los datos de los ensayos de la resistencia al esfuerzo de compresión del CC con adición de E°N° provienen de una distribución normal.

Tabla 109

Prueba de normalidad a compresión del CC sin y con adición de E°N° a 7 días.

Prueba de normalidad Shapiro Wilk		
Descripción	Nro. Muestras	Significancia
CC	3	0.828
CC con 10% de adición de E°N°	3	0.808
CC con 20% de adición de E°N°	3	0.797
CC con 30% de adición de E°N°	3	0.486
CC con 40% de adición de E°N°	3	0.808

Tabla 110

Prueba de normalidad a compresión del CC sin y con adición de E°N° a 14 días.

Prueba de normalidad Shapiro Wilk		
Descripción	Nro. Muestras	Significancia
CC	3	0.777
CC con 10% de adición de E°N°	3	0.828
CC con 20% de adición de E°N°	3	0.348
CC con 30% de adición de E°N°	3	0.900
CC con 40% de adición de E°N°	3	0.859

Tabla 111

Prueba de normalidad a compresión del CC sin y con adición de E°N° a 28 días.

Prueba de normalidad Shapiro Wilk		
Descripción	Nro. Muestras	Significancia
CC	3	0.685
CC con 10% de adición de E°N°	3	0.715
CC con 20% de adición de E°N°	3	0.340
CC con 30% de adición de E°N°	3	0.460
CC con 40% de adición de E°N°	3	0.603

4.10.2.2 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión.

Para esto, se ha utilizado las medidas de centralización que son la u_o , u_m y u con los resultados obtenidos se procedió a construir la tabla de frecuencias con la finalidad de graficar el histograma de frecuencias y calcular las medidas de dispersión que son la σ^2 ,

σ y CV, sobre la base de los resultados obtenidos se prosiguió a calcular las medidas de asimetría específicamente la distribución normal (campana de Gauss).

4.10.2.1.1 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC a 7 días.

Tabla 112

Datos de la resistencia a la compresión del CC obtenidas a los 7 días.

Muestra	f ^c = (Xi)
CC	143.11
CC	140.94
CC	144.67

Tabla 113

Medidas de centralización y dispersión del CC a los 7 días.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	3.73
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	2.00
Media (u)	143.27
Mediana (u _m)	143.44
Moda (u _o)	143.61
Varianza (σ^2)	1.33
Desviación estándar (σ)	1.15
Coefficiente de variación (CV)	0.81

Tabla 114

Cuadro estadístico de distribución de frecuencias del CC a los 7 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[140.94 142.94 >	141.94	1.00	1.00	141.94	-1.33	1.78	1.78
[142.94 144.94 >	143.94	2.00	3.00	287.88	0.67	0.44	0.89
[144.94 146.94 >	145.94	0.00	3.00	0.00	2.67	7.11	0.00
	3.00			429.82		9.33	2.67

Figura 62

Histograma de frecuencias del CC a los 7 días de curado.

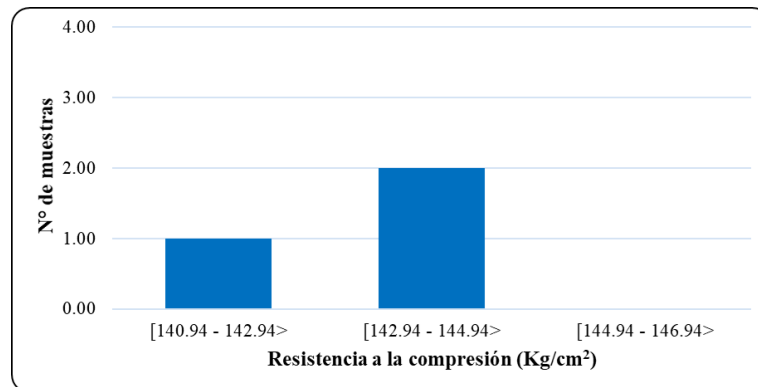
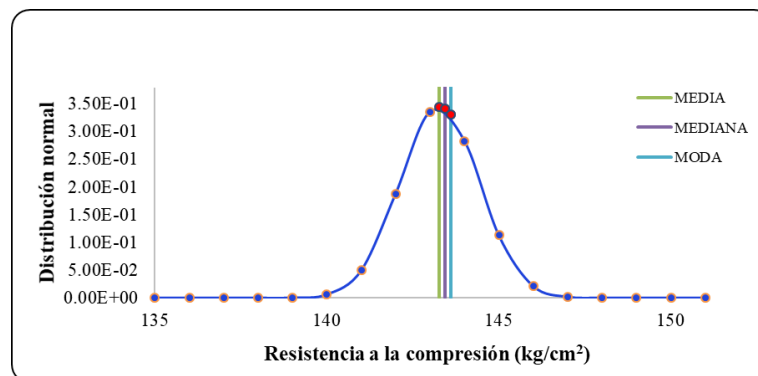


Figura 63

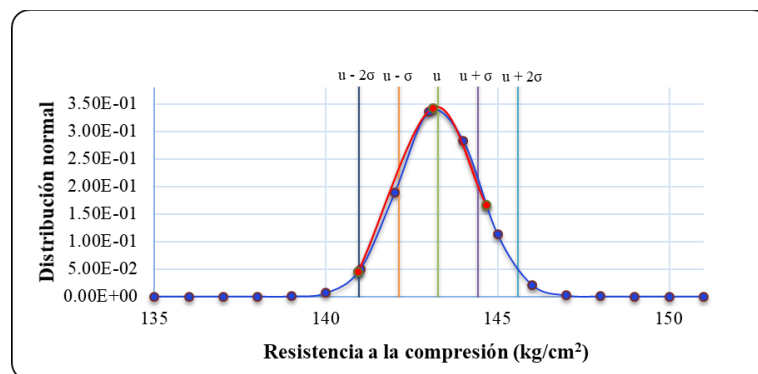
Distribución de campana de Gauss de CC a los 7 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la izquierda.

Figura 64

Distribución normal del CC a los 7 días de curado.



4.10.2.2.2 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión de CC a 14 días.

Tabla 115

Datos de resistencia a la compresión del CC obtenidas a los 14 días.

Muestra	f'c = (Xi)
CC	190.42
CC	188.88
CC	191.44

Tabla 116

Cuadro estadístico de distribución de frecuencias del CC a los 14 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[188.88 189.88 >	189.38	1.00	1.00	189.38	-1.00	1.00	1.00
[189.88 190.88 >	190.38	1.00	2.00	190.38	0.00	0.00	0.00
[190.88 191.88 >	191.38	1.00	3.00	191.38	1.00	1.00	1.00
	3.00			571.14		2.00	2.00

Tabla 117

Medidas de centralización y dispersión del CC a los 14 días.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	2.56
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	1.00
Media (u)	190.38
Mediana (u _m)	190.38
Moda (u _o)	189.88
Varianza (σ ²)	1.00
Desviación estándar (σ)	1.00
Coefficiente de variación (CV)	0.53

Figura 65

Histograma de frecuencias del CC a los 14 días.

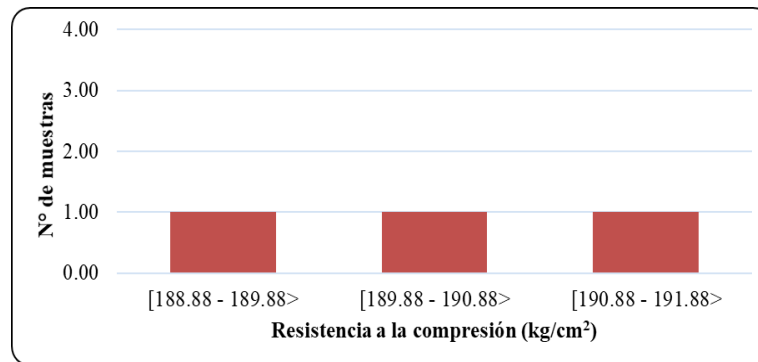
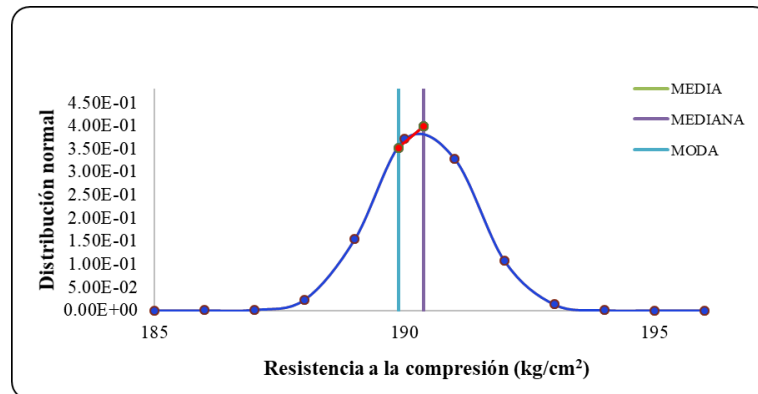


Figura 66

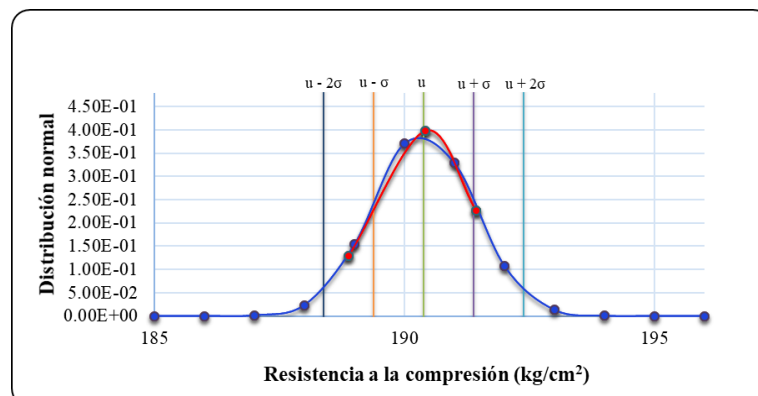
Distribución de campana de Gauss de CC a los 14 días.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 67

Distribución normal del CC a los 14 días.



4.10.2.2.3 Evaluación estadístico de resistencia a compresión del CC a 28 días.

Tabla 118

Datos de resistencia a la compresión del CC obtenidas a los 28 días.

Muestra	f'c = (Xi)
CC	214.75
CC	216.64
CC	211.51

Tabla 119

Cuadro estadístico de distribución de frecuencias del CC a los 28 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[211.51 213.51 >	212.51	1.00	1.00	212.51	-2.00	4.00	4.00
[213.51 215.51 >	214.51	1.00	2.00	214.51	0.00	0.00	0.00
[215.51 217.51 >	216.51	1.00	3.00	216.51	2.00	4.00	4.00
		3.00		643.53		8.00	8.00

Tabla 120

Medidas de centralización y dispersión del CC a los 28 días.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	5.13
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	2.00
Media (u)	214.51
Mediana (u _m)	214.51
Moda (u _o)	213.51
Varianza (σ ²)	4.00
Desviación estándar (σ)	2.00
Coefficiente de variación (CV)	0.93

Figura 68

Histograma de frecuencias del CC a los 28 días de curado.

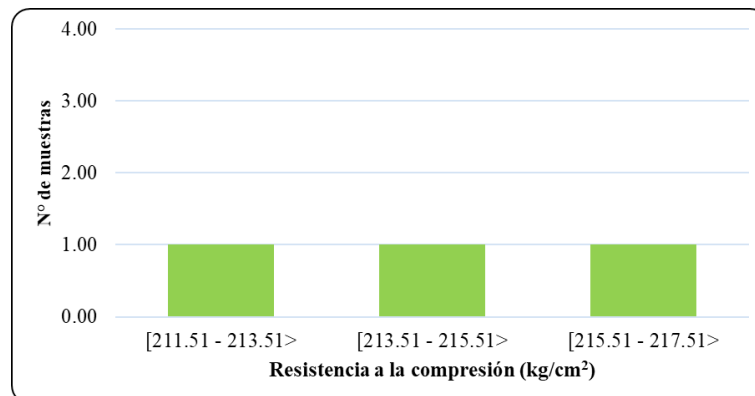
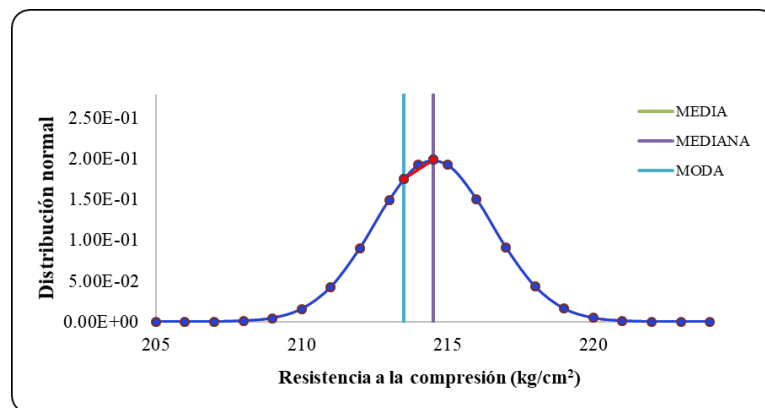


Figura 69

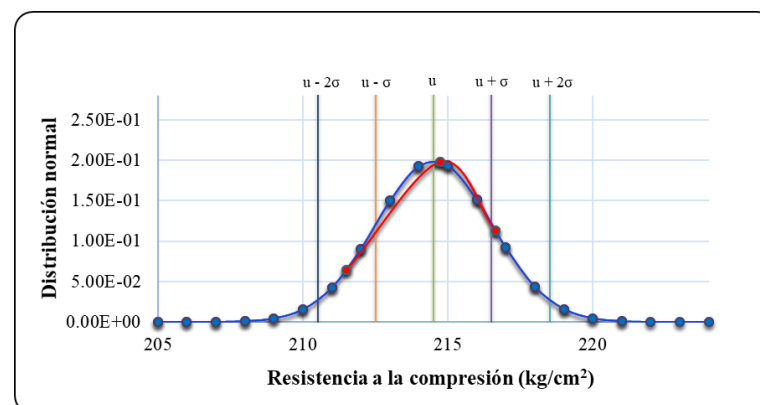
Distribución de campana de Gauss de CC a los 28 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 70

Distribución normal del CC a los 28 días de curado.



4.10.2.2.4 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 10% de E°N° a los 7 días.

Tabla 121

Datos de resistencia a la compresión del CC con 10% de E°N° a los 7 días.

Muestra	f°c = (Xi)
CC con 10% de E°N°	147.59
CC con 10% de E°N°	149.46
CC con 10% de E°N°	144.87

Tabla 122

Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 7 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[144.87 146.87 >	145.87	1.00	1.00	145.87	-2.00	4.00	4.00
[146.87 148.87 >	147.87	1.00	2.00	147.87	0.00	0.00	0.00
[148.87 150.87 >	149.87	1.00	3.00	149.87	2.00	4.00	4.00
	3.00			443.61		8.00	8.00

Tabla 123

Medidas de centralización y dispersión del CC con 10% de E°N°.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	4.59
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	2.00
Media (u)	147.87
Mediana (u _m)	147.87
Moda (u _o)	146.87
Varianza (σ ²)	4.00
Desviación estándar (σ)	2.00
Coeficiente de variación (CV)	1.35

Figura 71

Histograma de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 7 días de curado.

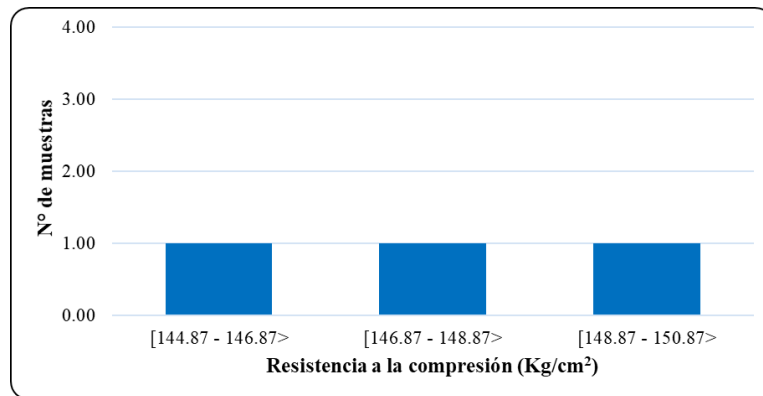
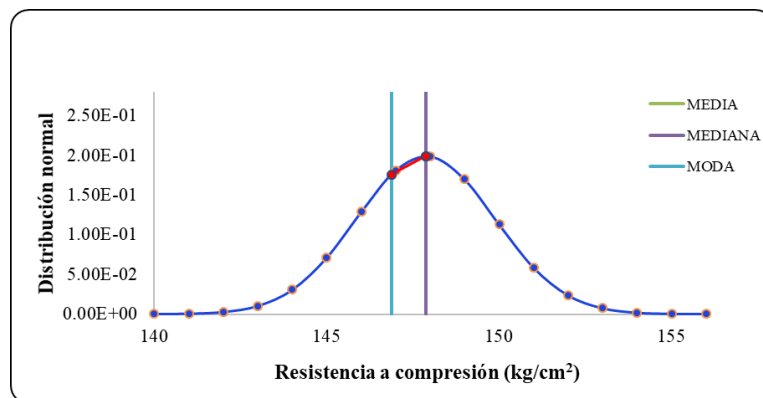


Figura 72

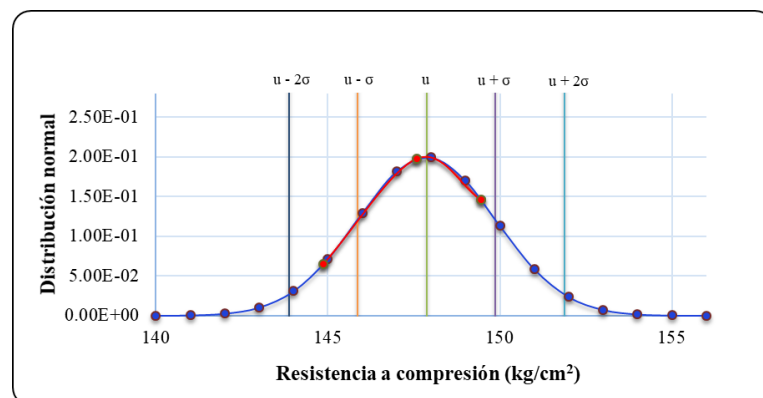
Distribución de campana de Gauss de CC con 10% de E°N° a los 7 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 73

Distribución normal del CC con 10% de E°N° a los 7 días de curado.



4.10.2.2.5 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 10% de E°N° a los 14 días.

Tabla 124

Datos de resistencia a la compresión del CC con 10% de E°N° a los 14 días.

Muestra	f°c= (Xi)
CC con 10% de E°N°	192.43
CC con 10% de E°N°	191.01
CC con 10% de E°N°	193.45

Tabla 125

Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 14 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[191.01 192.01 >	191.51	1.00	1.00	191.51	-1.00	1.00	1.00
[192.01 193.01 >	192.51	1.00	2.00	192.51	0.00	0.00	0.00
[193.01 194.01 >	193.51	1.00	3.00	193.51	1.00	1.00	1.00
	3.00			577.53		2.00	2.00

Tabla 126

Medidas de centralización y dispersión del CC con 10% de E°N°.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	2.44
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	1.00
Media (u)	192.51
Mediana (u _m)	192.51
Moda (u _o)	192.01
Varianza (σ ²)	1.00
Desviación estándar (σ)	1.00
Coefficiente de variación (CV)	0.52

Figura 74

Histograma de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 14 días de curado.

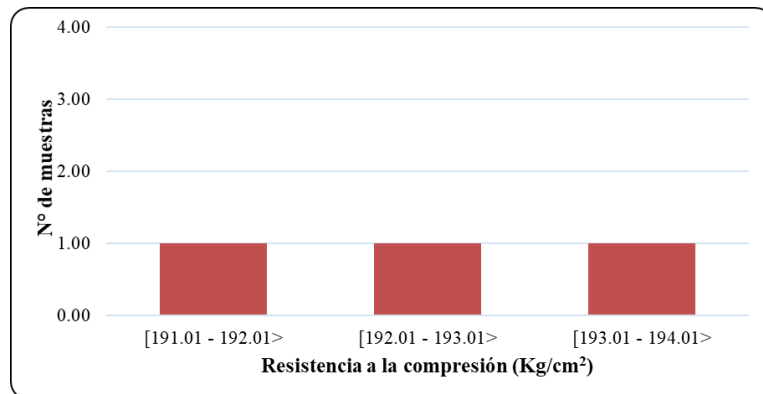
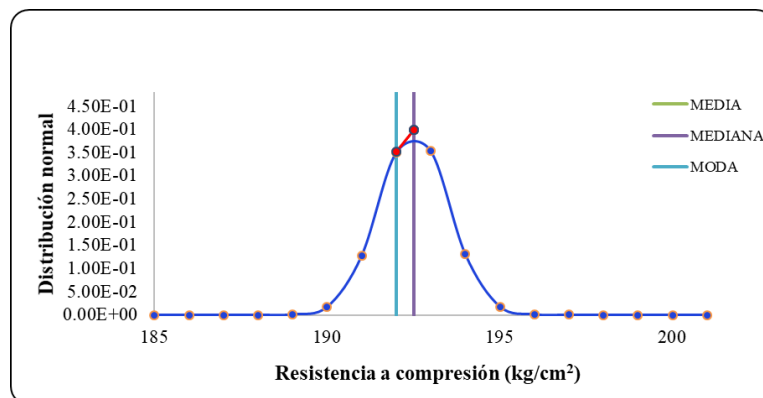


Figura 75

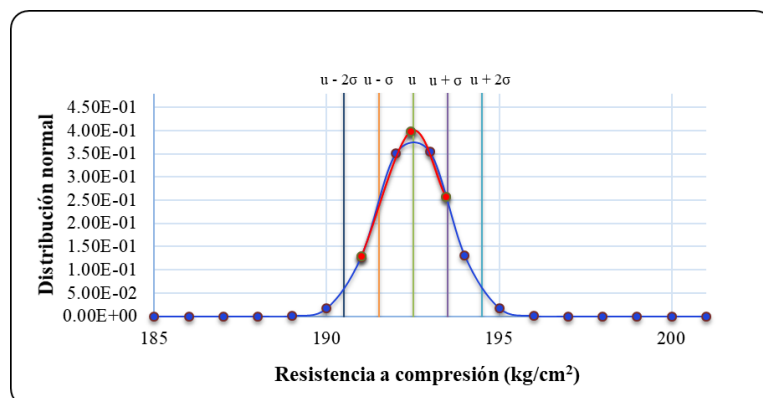
Distribución de campana de Gauss de CC con 10% de E°N° a los 14 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 76

Distribución normal del CC con 10% de E°N° a los 14 días de curado.



4.10.2.2.6 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 10% de E°N° a los 28 días.

Tabla 127

Datos de resistencia a la compresión del CC con 10% de E°N° a los 28 días.

Muestra	f°c (Xi)
CC con 10% de E°N°	219.93
CC con 10% de E°N°	218.05
CC con 10% de E°N°	221.06

Tabla 128

Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 28 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[218.05 220.05 >	219.05	2.00	2.00	438.10	-0.67	0.44	0.89
[220.05 222.05 >	221.05	1.00	3.00	221.05	1.33	1.78	1.78
[222.05 224.05 >	223.05	0.00	3.00	0.00	3.33	11.11	0.00
		3.00		659.15		13.33	2.67

Tabla 129

Medidas de centralización y dispersión del CC con 10% de E°N°.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	3.01
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	2.00
Media (u)	219.72
Mediana (u _m)	219.55
Moda (u _o)	219.38
Varianza (σ ²)	1.33
Desviación estándar (σ)	1.15
Coeficiente de variación (CV)	0.53

Figura 77

Histograma de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 28 días de curado.

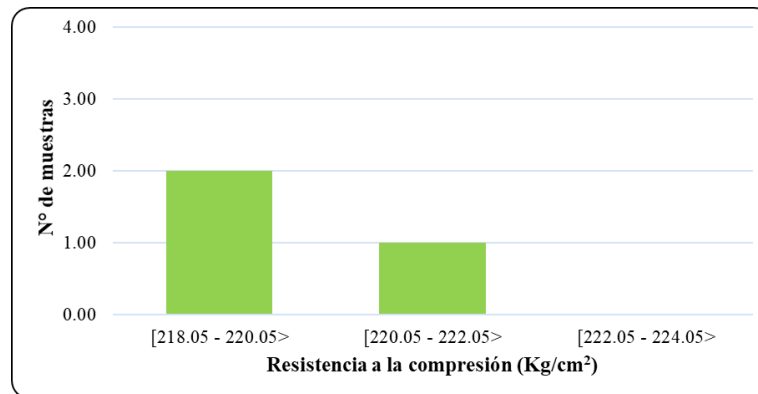
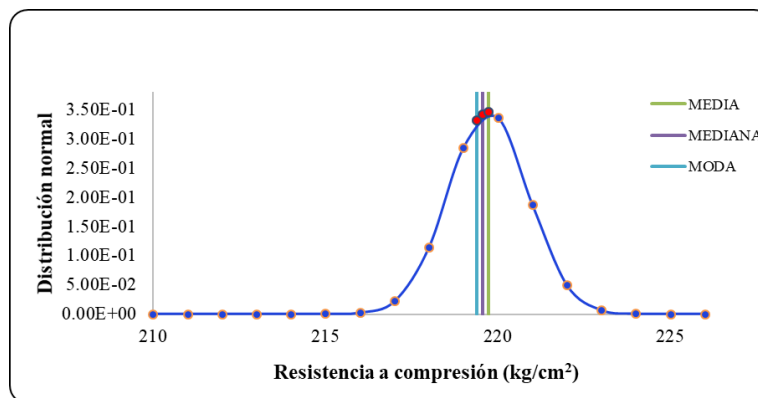


Figura 78

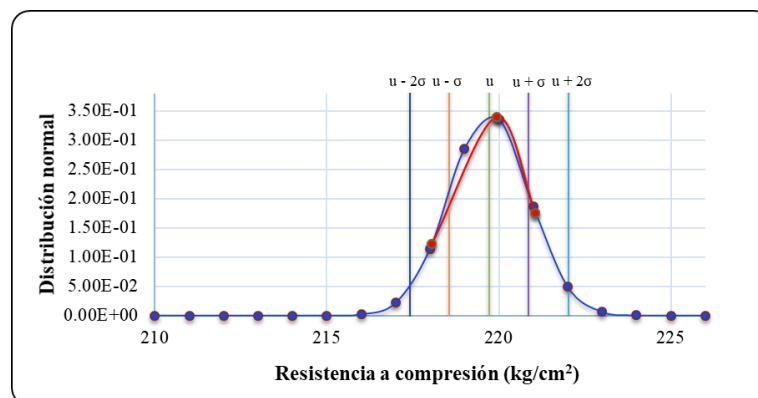
Distribución de campana de Gauss de CC con 10% de E°N° a los 28 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha

Figura 79

Distribución normal del CC con 10% de EN a los 28 días de curado.



4.10.2.2.7 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 20% de E°N° a los 7 días.

Tabla 130

Datos de resistencia a la compresión del CC con 20% de E°N° a los 7 días.

Muestra	f'c (Xi)
CC con 20% de E°N°	151.09
CC con 20% de E°N°	150.19
CC con 20% de E°N°	151.70

Tabla 131

Cuadro estadístico de distribución de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 7 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[150.19 151.19 >	150.69	2.00	2.00	301.38	-0.33	0.11	0.22
[151.19 152.19 >	151.69	1.00	3.00	151.69	0.67	0.44	0.44
[152.19 153.19 >	152.69	0.00	3.00	0.00	1.67	2.78	0.00
	3.00			453.07		3.33	0.67

Tabla 132

Medidas de centralización y dispersión del CC con 20% de E°N°.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	1.51
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	1.00
Media (u)	151.02
Mediana (u _m)	150.94
Moda (u _o)	150.86
Varianza (σ ²)	0.33
Desviación estándar (σ)	0.58
Coeficiente de variación (CV)	0.38

Figura 80

Histograma de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 7 días de curado.

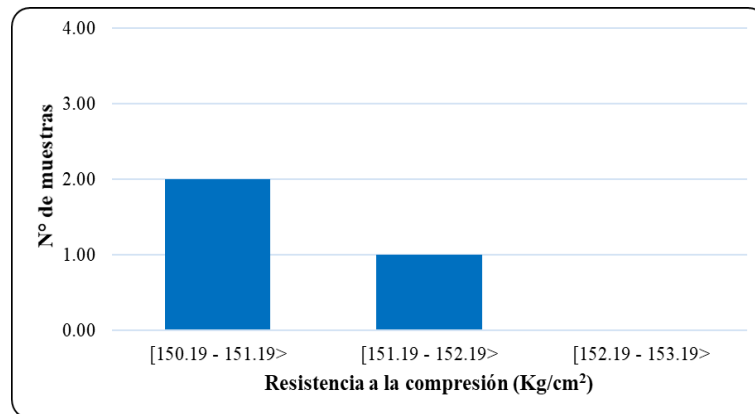
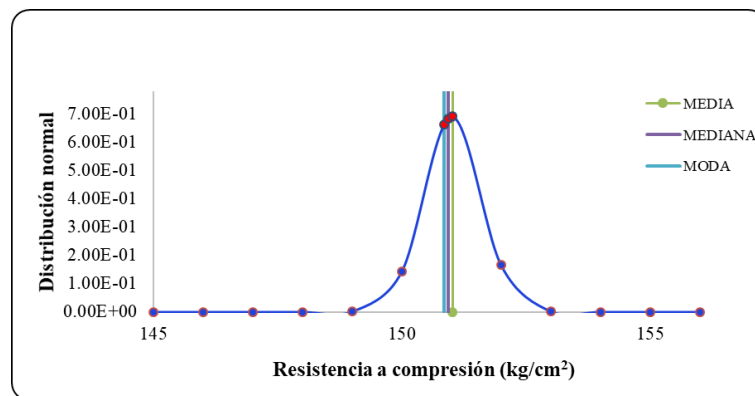


Figura 81

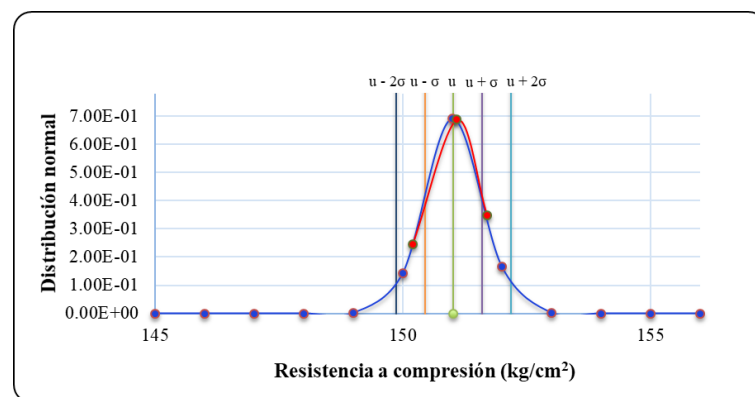
Distribución de campana de Gauss de CC con 20% de EN a los 7 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 82

Distribución normal del CC con 20% de E°N° a los 7 días de curado.



4.10.2.2.8 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 20% de E°N° a los 14 días.

Tabla 133

Datos de resistencia a la compresión del CC con 20% de E°N° a los 14 días.

Muestra	f'c (Xi)
CC con 20% de E°N°	195.17
CC con 20% de E°N°	196.22
CC con 20% de E°N°	200.70

Tabla 134

Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 14 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[195.17 197.17 >	196.17	2.00	2.00	392.34	-1.33	1.78	3.56
[197.17 199.17 >	198.17	0.00	2.00	0.00	0.67	0.44	0.00
[199.17 201.17 >	200.17	1.00	3.00	200.17	2.67	7.11	7.11
	3.00			592.51		9.33	10.67

Tabla 135

Medidas de centralización y dispersión del CC con 20% de E°N°.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	5.53
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	2.00
Media (u)	197.50
Mediana (u _m)	196.67
Moda (u _o)	196.17
Varianza (σ ²)	5.33
Desviación estándar (σ)	2.31
Coeficiente de variación (CV)	1.17

Figura 83

Histograma de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 14 días de curado.

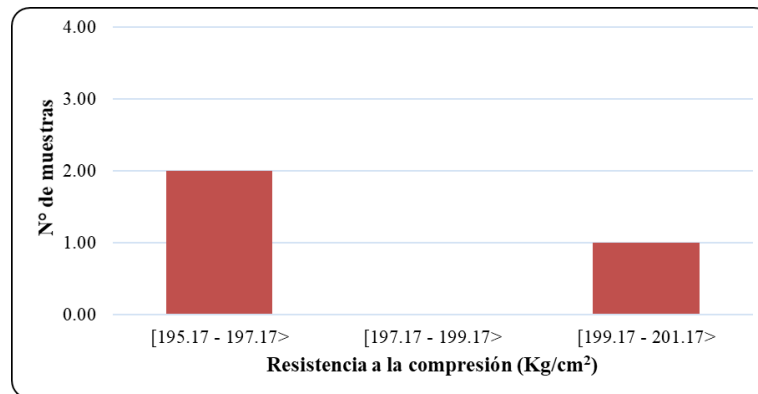
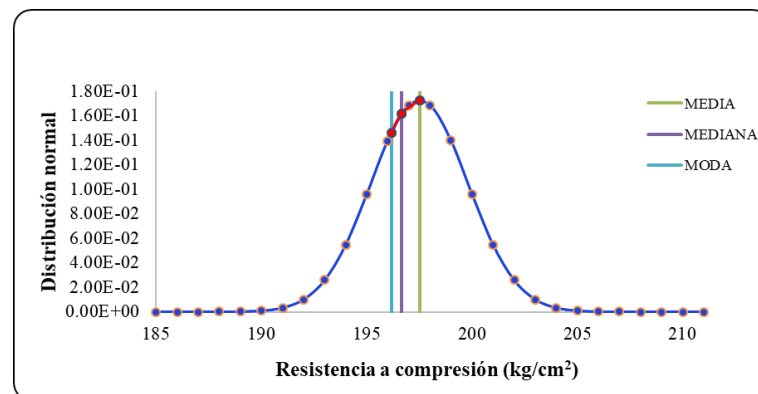


Figura 84

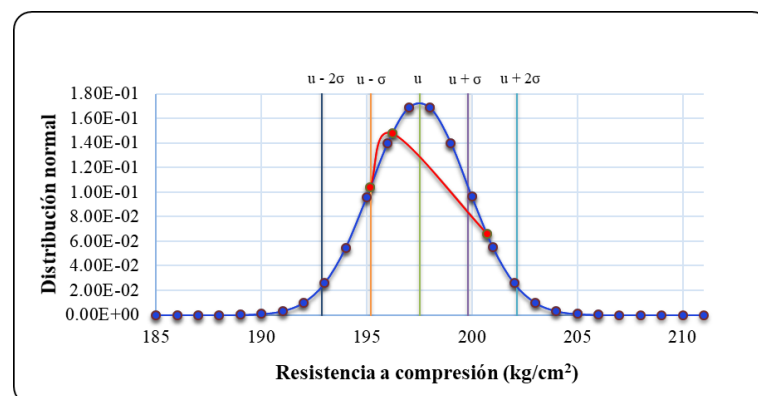
Distribución de campana de Gauss de CC con 20% de E°N° a los 14 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 85

Distribución normal del CC con 20% de E°N° a los 14 días de curado.



4.10.2.2.9 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 20% de E°N° a los 28 días.

Tabla 136

Datos de resistencia a la compresión del CC con 20% de E°N° a los 28 días.

Muestra	f°c = (Xi)
CC con 20% de E°N°	227.66
CC con 20% de E°N°	222.11
CC con 20% de E°N°	223.20

Tabla 137

Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 28 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[222.11 224.11 >	223.11	2.00	2.00	446.22	-1.33	1.78	3.56
[224.11 226.11 >	225.11	0.00	2.00	0.00	0.67	0.44	0.00
[226.11 228.11 >	227.11	1.00	3.00	227.11	2.67	7.11	7.11
		3.00		673.33		9.33	10.67

Tabla 138

Medidas de centralización y dispersión del CC con 20% de E°N°.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	5.55
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	2.00
Media (u)	224.44
Mediana (u _m)	223.61
Moda (u _o)	223.11
Varianza (σ ²)	5.33
Desviación estándar (σ)	2.31
Coeficiente de variación (CV)	1.03

Figura 86

Histograma de frecuencias del CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días de curado.

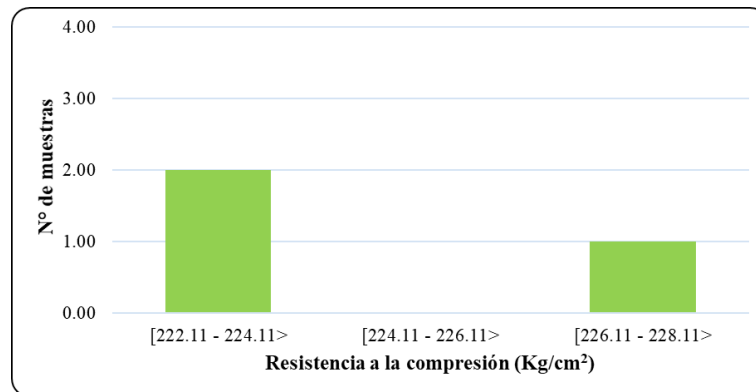
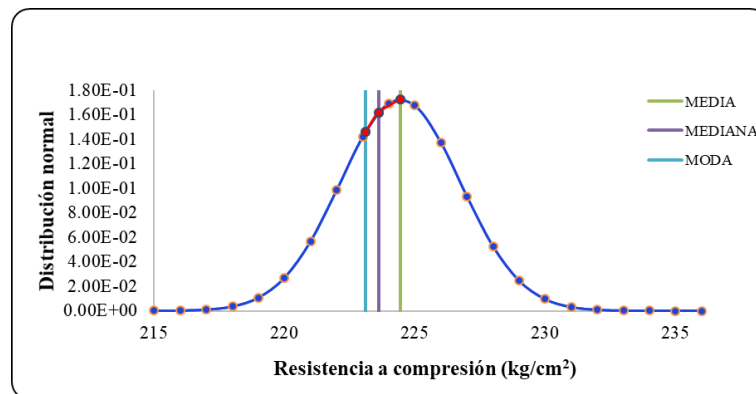


Figura 87

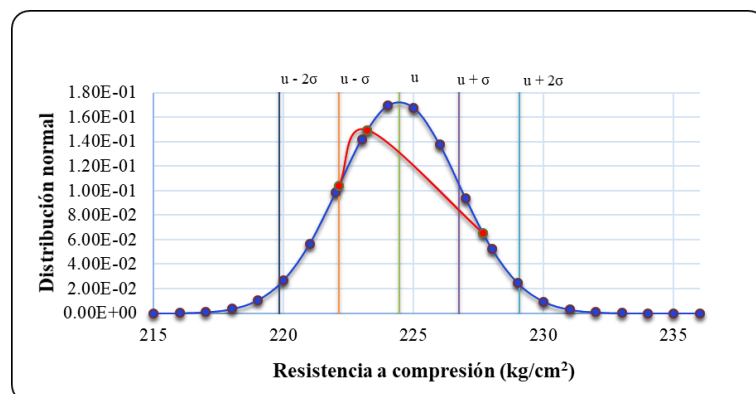
Distribución de campana de Gauss de CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 88

Distribución normal del CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días de curado.



4.10.2.2.10 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 30% de E°N° a los 7 días.

Tabla 139

Datos de resistencia a la compresión del CC con 30% de E°N° a los 7 días.

Muestra	f°c= (Xi)
CC con 30% de E°N°	154.59
CC con 30% de E°N°	159.15
CC con 30% de E°N°	152.56

Tabla 140

Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 7 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[152.56 155.56 >	154.06	2.00	2.00	308.12	-2.00	4.00	8.00
[155.56 158.56 >	157.06	0.00	2.00	0.00	1.00	1.00	0.00
[158.56 161.56 >	160.06	1.00	3.00	160.06	4.00	16.00	16.00
	3.00			468.18		21.00	24.00

Tabla 141

Medidas de centralización y dispersión del CC con 30% de E°N°.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	6.59
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	3.00
Media (u)	156.06
Mediana (u _m)	154.81
Moda (u _o)	154.06
Varianza (σ ²)	12.00
Desviación estándar (σ)	3.46
Coeficiente de variación (CV)	2.22

Figura 89

Histograma de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 7 días de curado.

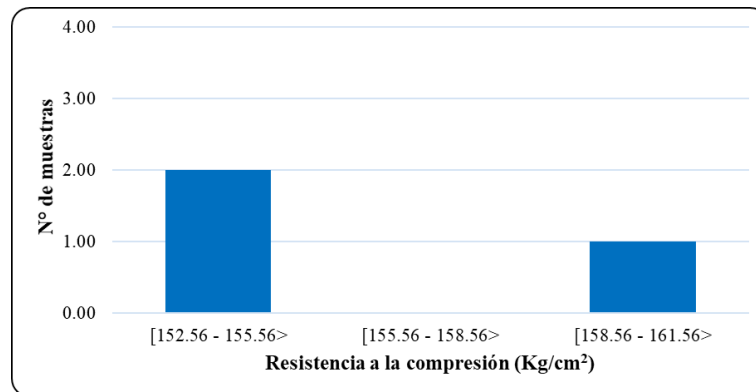
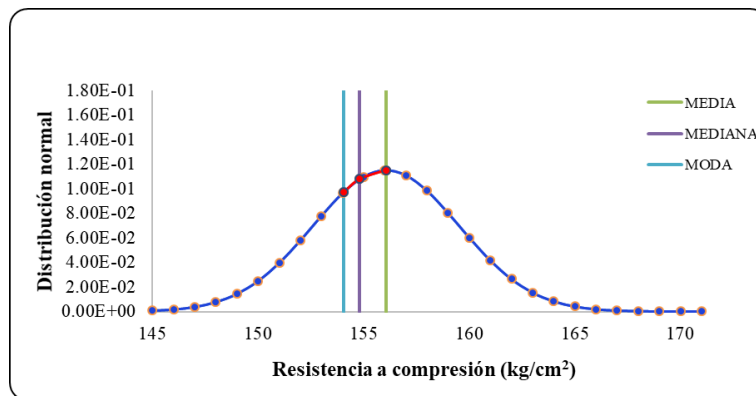


Figura 90

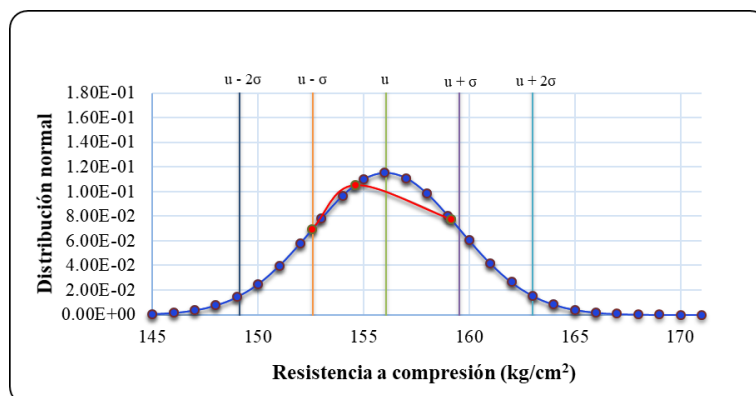
Distribución de campana de Gauss de CC con 30% de E°N° a los 7 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 91

Distribución normal del CC con 30% de E°N° a los 7 días de curado.



4.10.2.2.11 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 30% E°N° a los 14 días.

Tabla 142

Datos de resistencia a la compresión del CC con 30% de E°N° a los 14 días.

Muestra	f'c (Xi)
CC con 30% de E°N°	201.23
CC con 30% de E°N°	203.31
CC con 30% de E°N°	198.76

Tabla 143

Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 14 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[198.76 200.76 >	199.76	1.00	1.00	199.76	-2.00	4.00	4.00
[200.76 202.76 >	201.76	1.00	2.00	201.76	0.00	0.00	0.00
[202.76 204.76 >	203.76	1.00	3.00	203.76	2.00	4.00	4.00
		3.00		605.28		8.00	8.00

Tabla 144

Medidas de centralización y dispersión del CC con 30% de E°N°.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	4.55
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	2.00
Media (u)	201.76
Mediana (u _m)	201.76
Moda (u _o)	200.76
Varianza (σ ²)	4.00
Desviación estándar (σ)	2.00
Coefficiente de variación (CV)	0.99

Figura 92

Histograma de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 14 días de curado.

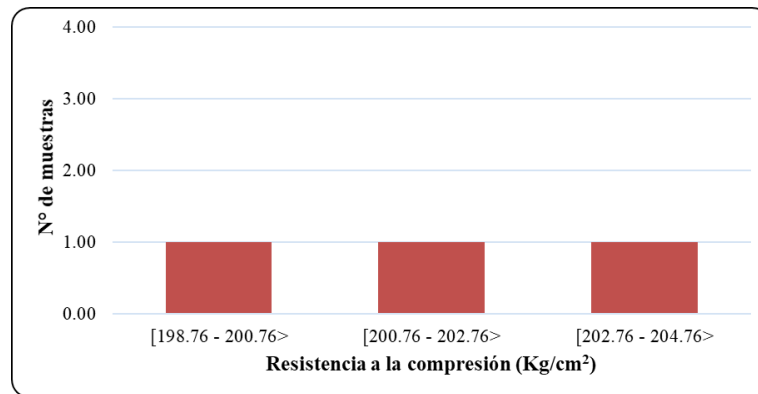
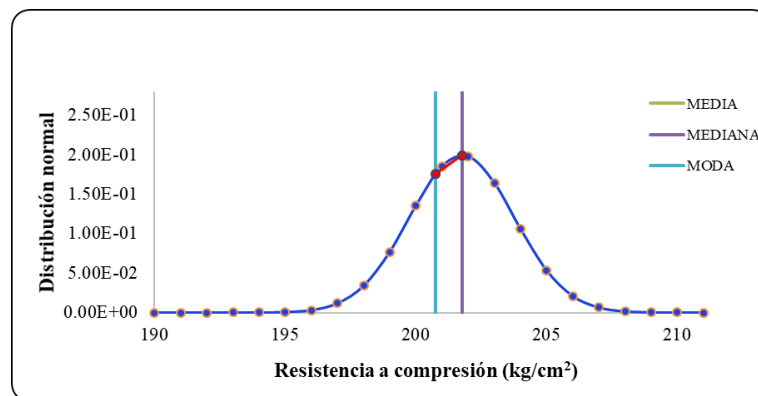


Figura 93

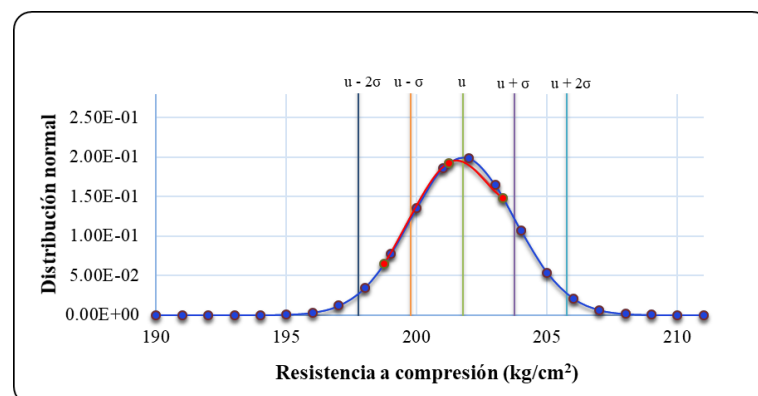
Distribución de campana de Gauss de CC con 30% de E°N° a los 14 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 94

Distribución normal del CC con 30% de E°N° a los 14 días de curado.



4.10.2.2.12 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 30% E°N° a los 28 días.

Tabla 145

Datos de resistencia a la compresión del CC con 30% de E°N° a los 28 días.

Muestra	f'c = (Xi)
CC con 30% de E°N°	226.40
CC con 30% de E°N°	231.98
CC con 30% de E°N°	234.21

Tabla 146

Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 28 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[226.40 229.40 >	227.90	1.00	1.00	227.90	-3.00	9.00	9.00
[229.40 232.40 >	230.90	1.00	2.00	230.90	0.00	0.00	0.00
[232.40 235.40 >	233.90	1.00	3.00	233.90	3.00	9.00	9.00
	3.00			692.70		18.00	18.00

Tabla 147

Medidas de centralización y dispersión del CC con 30% de E°N° a los 28 días.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	7.81
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	3.00
Media (u)	230.90
Mediana (u _m)	230.90
Moda (u _o)	229.40
Varianza (σ ²)	9.00
Desviación estándar (σ)	3.00
Coeficiente de variación (CV)	1.30

Figura 95

Histograma de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 28 días de curado.

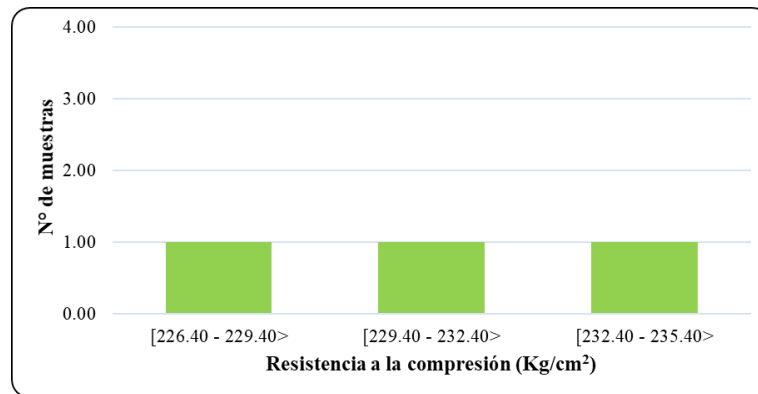
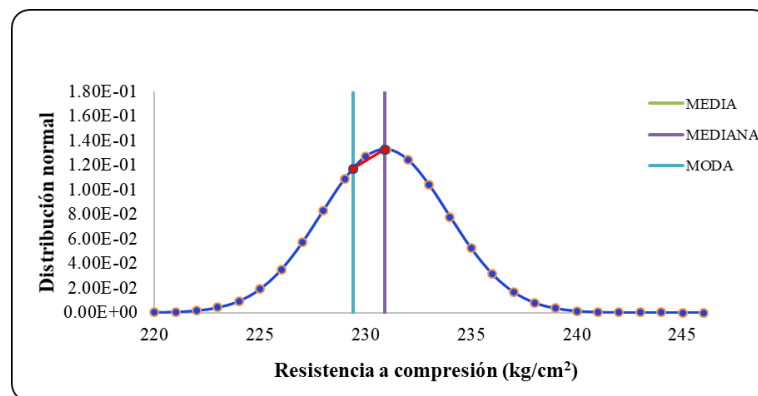


Figura 96

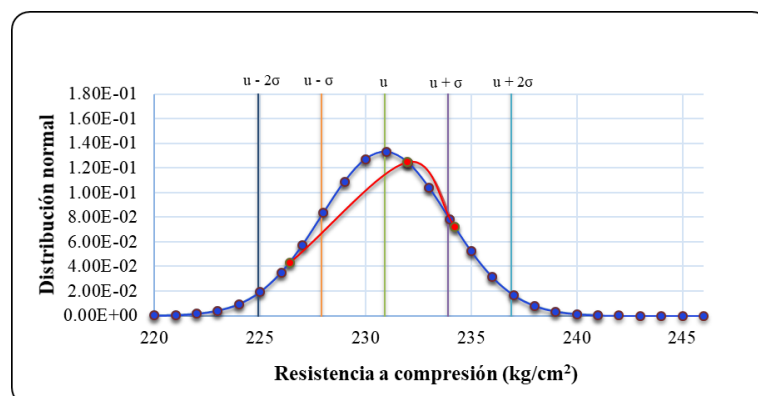
Distribución de campana de Gauss de CC con 30% de E°N° a los 28 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 97

Distribución normal del CC con 30% de E°N° a los 28 días de curado.



4.10.2.2.13 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 40% de E°N° a los 7 días.

Tabla 148

Datos de resistencia a la compresión del CC con 40% de E°N° a los 7 días.

Muestra	f'c = (Xi)
CC con 40% de E°N°	159.42
CC con 40% de E°N°	160.63
CC con 40% de E°N°	162.39

Tabla 149

Cuadro estadístico de distribución de frecuencias del CC con 40% de E°N° a los 7 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[159.42 160.42 >	159.92	1.00	1.00	159.92	-1.00	1.00	1.00
[160.42 161.42 >	160.92	1.00	2.00	160.92	0.00	0.00	0.00
[161.42 162.42 >	161.92	1.00	3.00	161.92	1.00	1.00	1.00
	3.00			482.76		2.00	2.00

Tabla 150

Medidas de centralización y dispersión del CC con 40% de E°N° a los 7 días.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	2.97
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	1.00
Media (u)	160.92
Mediana (u _m)	160.92
Moda (u _o)	160.42
Varianza (σ ²)	1.00
Desviación estándar (σ)	1.00
Coefficiente de variación (CV)	0.62

Figura 98

Histograma de frecuencias del CC con 40% de E°N° a los 7 días de curado.

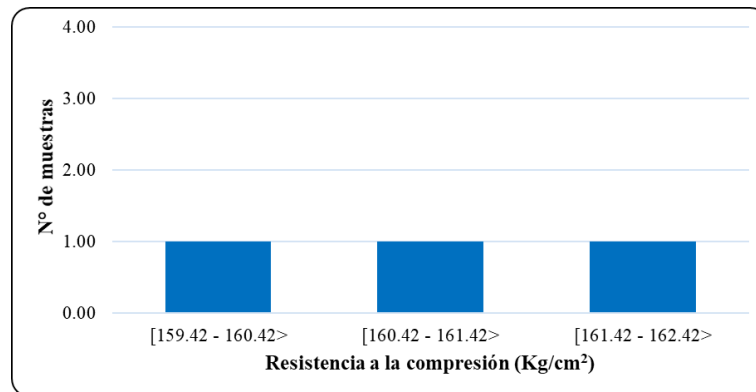
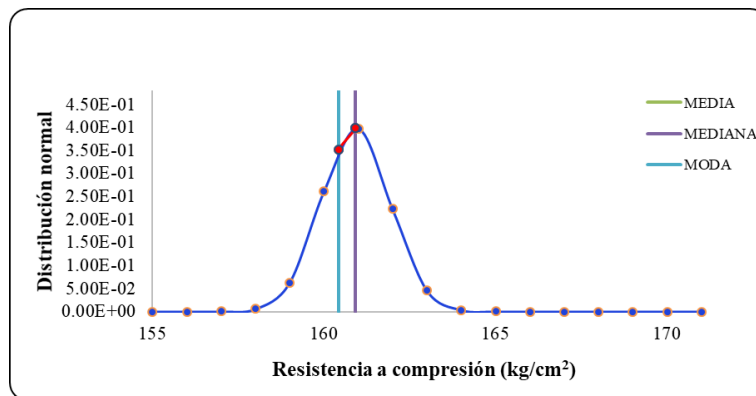


Figura 99

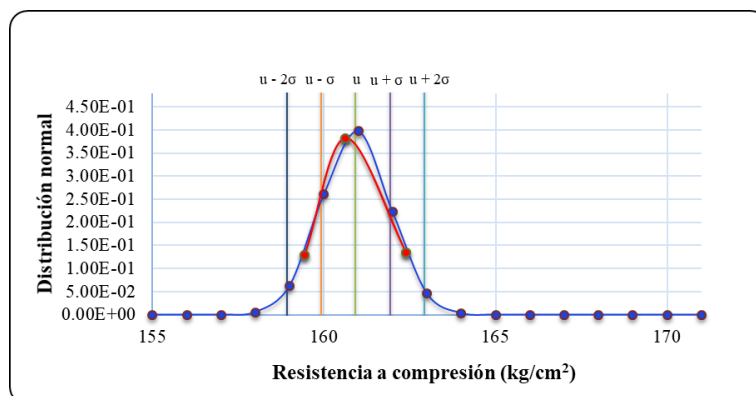
Distribución de campana de Gauss de CC con 40% de E°N° a los 7 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 100

Distribución normal del CC con 40% de E°N° a los 7 días de curado.



4.10.2.2.14 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 14 días.

Tabla 151

Datos de resistencia a la compresión del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 14 días.

Muestra	f'c (Xi)
CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	203.74
CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	206.67
CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	208.91

Tabla 152

Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 14 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[203.74 205.74 >	204.74	1.00	1.00	204.74	-2.00	4.00	4.00
[205.74 207.74 >	206.74	1.00	2.00	206.74	0.00	0.00	0.00
[207.74 209.74 >	208.74	1.00	3.00	208.74	2.00	4.00	4.00
		3.00		620.22		8.00	8.00

Tabla 153

Medidas de centralización y dispersión del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 14 días.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	5.17
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	2.00
Media (u)	206.74
Mediana (u_m)	206.74
Moda (u_o)	205.74
Varianza (σ^2)	4.00
Desviación estándar (σ)	2.00
Coefficiente de variación (CV)	0.97

Figura 101

Histograma de frecuencias del CC con 40% de E°N° a los 14 días de curado.

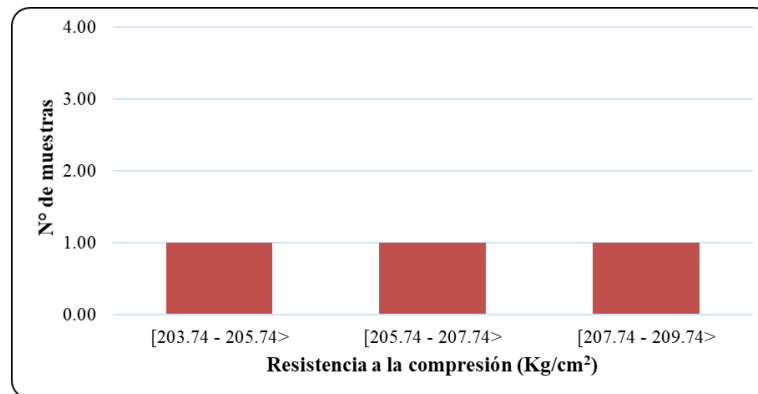
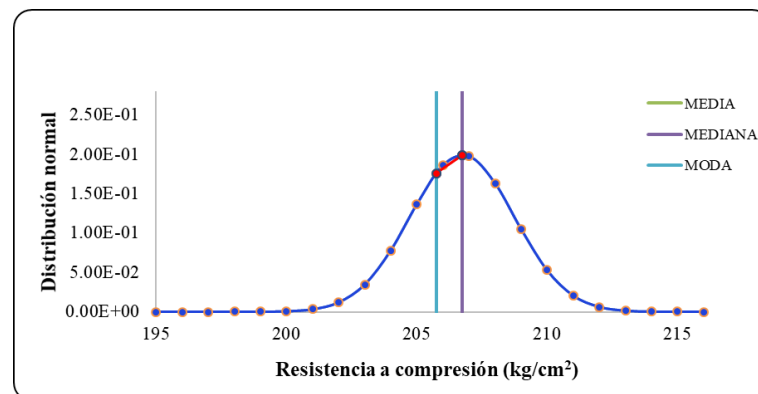


Figura 102

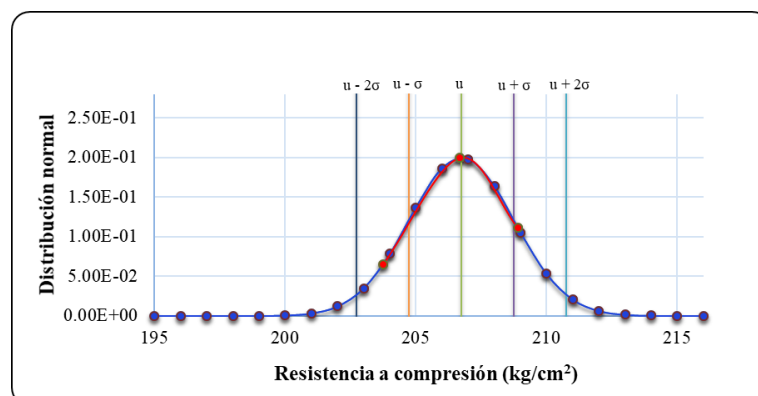
Distribución de campana de Gauss de CC con 40% de E°N° a los 14 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 103

Distribución normal del CC con 40% de E°N° a los 14 días de curado.



4.10.2.2.15 Evaluación estadístico de resistencia a la compresión del CC con 40% de E°N° a los 28 días.

Tabla 154

Datos de resistencia a la compresión del CC con 40% de E°N° a los 28 días.

Muestra	f°c= (Xi)
CC con 40% de E°N°	241.32
CC con 40% de E°N°	245.30
CC con 40% de E°N°	243.93

Tabla 155

Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 40% de E°N° a los 28 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[241.32 243.32 >	242.32	1.00	1.00	242.32	-1.33	1.78	1.78
[243.32 245.32 >	244.32	2.00	3.00	488.64	0.67	0.44	0.89
[245.32 247.32 >	246.32	0.00	3.00	0.00	2.67	7.11	0.00
		3.00		730.96		9.33	2.67

Tabla 156

Medidas de centralización y dispersión del CC con 40% de E°N° a los 28 días.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	3.00
Rango de datos (Rx)	3.98
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	2.00
Media (u)	243.65
Mediana (u _m)	243.82
Moda (u _o)	243.99
Varianza (σ ²)	1.33
Desviación estándar (σ)	1.15
Coefficiente de variación (CV)	0.47

Figura 104

Histograma de frecuencias del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días de curado.

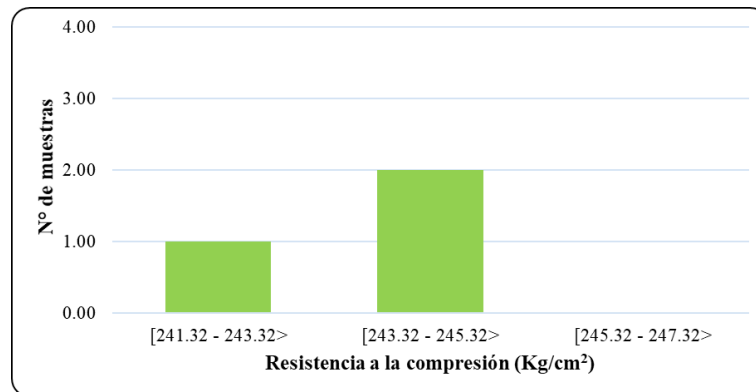
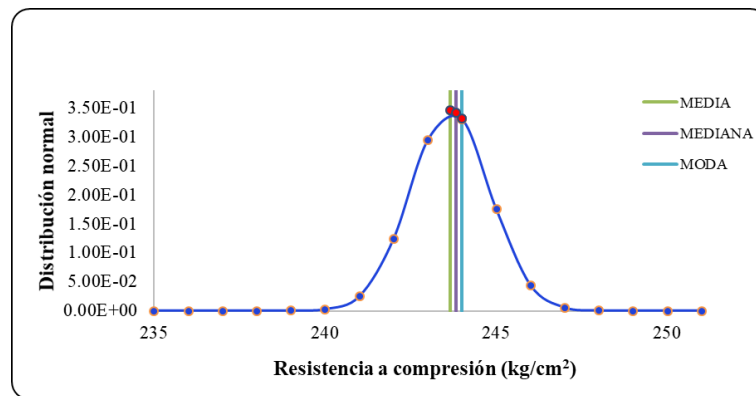


Figura 105

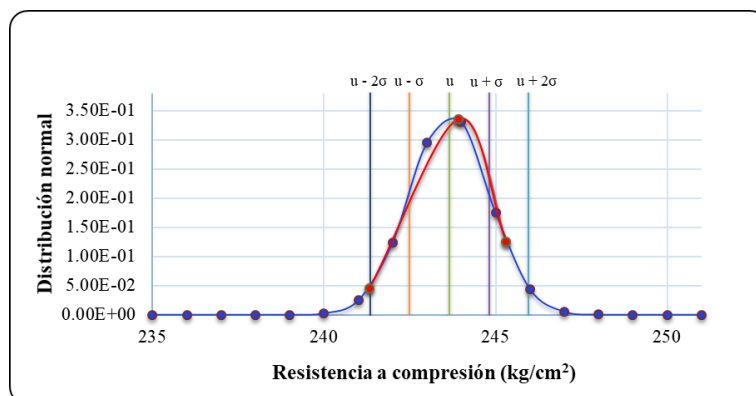
Distribución de campana de Gauss de CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la izquierda.

Figura 106

Distribución normal del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días de curado.



4.10.2.3 Comprobación de hipótesis de la resistencia a la compresión por distribución normal.

Una vez determinado las medidas de centralización, dispersión y de asimetría se procedió a realizar la prueba de hipótesis para tal fin se ha planteado hipótesis nula e hipótesis alternativa, para de tal manera validar o negar las hipótesis planeadas con respecto a la resistencia a la compresión del CC adicionado con E°N° en porcentajes sobre A°G°.

4.10.2.3.1 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 10% de E°N° a 7 días.

Tabla 157

Resultados estadísticos de CC y CC con 10% de E°N° a los 7 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 10% de E°N°
Número de muestras, n	3.00	3.00
Media, u	143.27	147.87
Varianza, σ^2	1.33	4.00

Se plantea que: u_1 : f°c media del CC y u_2 : f°c media del CC con 10% de E°N°.

H_0 : $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_0 < -Z$)

La adición de E°N° en 10%, no aumenta la resistencia a compresión del CC a los 7 días.

H_a : $u_1 < u_2$ H_a unilateral con cola a la izquierda

La adición de E°N° en 10%, aumenta la resistencia a compresión del CC a los 7 días.

El nivel de significancia considerado es $\alpha = 0.05$ y con una confiabilidad del 95% que corresponde al valor de $Z = 1.645$, se va refutar H_0 si: $Z_0 < -1.645$.

El estadístico de prueba utilizado para dos poblaciones con medias y varianzas conocidas al evaluar una hipótesis está dado por la ecuación 53.

$$Z_0 = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}} \quad (53)$$

Donde:

Z_0 : Estadístico de prueba.

u_1, u_2 : Resistencia promedio de los grupos.

σ_1, σ_2 : Desviación estándar de los grupos.

n_1, n_2 : Cantidad de muestras de los grupos.

Prueba Z: $Z_0 = -3.45$

Decisión: Se refuta: H_0 y se admite $H_a: u_1 < u_2$, debido que: ($Z_0 < -Z$) ó ($-3.45 < -1.645$) es verdadera, entonces se refuta $H_0: u_1 \geq u_2$; por tanto, se concluye que la adición de $E^\circ N^\circ$ en 10%, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 7 días.

4.10.2.3.2 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 10% de $E^\circ N^\circ$ a 14 días.

Tabla 158

Resultados estadísticos de CC y CC con 10% de $E^\circ N^\circ$ a los 14 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 10% de $E^\circ N^\circ$
Número de muestras, n	3.00	3.00
Media, u	190.38	192.51
Varianza, σ^2	1.00	1.00

Se plantea que: u_1 : f'c media del CC y u_2 : f'c media del CC con 10% de $E^\circ N^\circ$.

$H_0: u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_0 < -Z$): La adición de $E^\circ N^\circ$ en 10%, no aumenta la resistencia a compresión del CC a los 14 días.

Ha: $u_1 < u_2$ Ha unilateral con cola a la izquierda: La adición de E°N° en 10%, aumenta la resistencia a compresión del CC a los 14 días.

Para la comprobación de hipótesis se ha considerado: $\alpha = 0.05$; $Z = 1.645$ y $Z_0 = -2.61$, es necesario precisar que α y Z son constantes.

Decisión: Se refuta: H_0 y se admite Ha: $u_1 < u_2$, debido que: ($Z_0 < -Z$) ó ($-2.61 < -1.645$) es verdadera, entonces se refuta H_0 : $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de E°N° en 10%, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 14 días.

4.10.2.3.3 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 10% de E°N° a 28 días

Tabla 159

Resultados estadísticos de CC y CC con 10% de E°N° a los 28 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 10% de E°N°
Número de muestras, n	3.00	3.00
Media, u	214.51	219.72
Varianza, σ^2	4.00	1.33

Se plantea que: u_1 : f'c media del CC y u_2 : f'c media del CC con 10% de E°N°.

H_0 : $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_0 < -Z$): La adición de E°N° en 10%, no aumenta la resistencia a compresión del CC a los 28 días.

Ha: $u_1 < u_2$ Ha unilateral con cola a la izquierda: La adición de E°N° en 10%, aumenta la resistencia a compresión del CC a los 28 días.

Es necesario precisar que α y Z son constantes y $Z_0 = -2.61$.

Decisión: Se refuta: H_0 y se admite Ha: $u_1 < u_2$, debido que: ($Z_0 < -Z$) ó ($-2.61 < -1.645$) es verdadera, entonces se refuta H_0 : $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de E°N° en 10%, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 28 días.

4.10.2.3.4 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 20% de E°N° a 7 días

Tabla 160

Resultados estadísticos de CC y CC con 20% de E°N° a los 7 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 20% de E°N°
Número de muestras, n	3.00	3.00
Media, u	143.27	151.02
Varianza, σ^2	1.33	0.33

Se plantea que: u_1 : f°c media del CC y u_2 : f°c media del CC con 20% de E°N°.

Ho: $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_o < -Z$): La adición de E°N° en 20%, no aumenta la resistencia a compresión del CC a los 7 días.

Ha: $u_1 < u_2$ Ha unilateral con cola a la izquierda: La adición de E°N° en 20%, aumenta la resistencia a compresión del CC a los 7 días.

Es necesario precisar que α y Z son constantes y $Z_o = -10.42$.

Decisión: Se refuta: Ho y se admite Ha: $u_1 < u_2$, debido que: ($Z_o < -Z$) ó (-10.42 < -1.645) es verdadera, entonces se refuta Ho: $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de E°N° en 20%, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 7 días.

4.10.2.3.5 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 20% de E°N° a 14 días

Tabla 161

Resultados estadísticos de CC y CC con 20% de E°N° a los 14 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 20% de E°N°
Número de muestras, n	3.00	3.00
Media, u	190.38	197.50
Varianza, σ^2	1.00	5.33



Se plantea que: u_1 : f'c media del CC y u_2 : f'c media del CC con 20% de E°N°.

Ho: $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_o < -Z$): La adición de E°N° en 20%, no aumenta la resistencia a compresión del CC a los 14 días.

Ha: $u_1 < u_2$ Ha unilateral con cola a la izquierda: La adición de E°N° en 20%, aumenta la resistencia a compresión del CC a los 14 días.

Es necesario precisar que α y Z son constantes y $Z_o = -4.90$.

Decisión: Se refuta: Ho y se admite Ha: $u_1 < u_2$, puesto que la expresión: ($Z_o < -Z$) ó ($-4.90 < -1.645$) es verdadera, entonces se refuta Ho: $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de E°N° en 20%, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 14 días.

4.10.2.3.6 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 20% de E°N° a 28 días.

Tabla 162

Resultados estadísticos de CC y CC con 20% de E°N° a los 28 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 20% de E°N°
Número de muestras, n	3.00	3.00
Media, u	214.51	224.44
Varianza, σ^2	4.00	5.33

Se plantea que: u_1 : f'c media del CC y u_2 : f'c media del CC con 20% de E°N°.

Ho: $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_o < -Z$): La adición de E°N° en 20%, no aumenta la resistencia a compresión del CC a los 28 días.

Ha: $u_1 < u_2$ Ha unilateral con cola a la izquierda: La adición de E°N° en 20%, aumenta la resistencia a compresión del CC a los 28 días.

Indicar que α y Z son constantes y $Z_o = -5.63$.

Decisión: Se refuta: H_0 y se admite H_a : $u_1 < u_2$, debido que: $(Z_0 < -Z)$ ó $(-5.63 < -1.645)$ es verdadera, entonces se refuta H_0 : $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en 20%, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 28 días.

4.10.2.3.7 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a 7 días.

Tabla 163

Resultados estadísticos de CC y CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 7 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$
Número de muestras, n	3.00	3.00
Media, u	143.27	156.06
Varianza, σ^2	1.33	12.00

Se plantea que: u_1 : f'c media del CC y u_2 : f'c media del CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$.

H_0 : $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: $(Z_0 < -Z)$: La adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en 30%, no aumenta la resistencia a compresión del CC a los 7 días.

H_a : $u_1 < u_2$ H_a unilateral con cola a la izquierda: La adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en 30%, aumenta la resistencia a compresión del CC a los 7 días.

Indicar que α y Z son constantes y $Z_0 = -6.07$.

Decisión: Se refuta: H_0 y se admite H_a : $u_1 < u_2$, debido que: $(Z_0 < -Z)$ ó $(-6.07 < -1.645)$ es verdadera, entonces se refuta H_0 : $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en 30%, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 7 días.

4.10.2.3.8 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 30% de E°N° a 14 días

Tabla 164

Resultados estadísticos de CC y CC con 30% de E°N° a los 14 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 30% de E°N°
Número de muestras, n	3.00	3.00
Media, u	190.38	201.76
Varianza, σ^2	1.00	4.00

Se plantea que: u_1 : f°c media del CC y u_2 : f°c media del CC con 30% de E°N°.

Ho: $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_o < -Z$): La adición de E°N° en 30%, no aumenta la resistencia a compresión del CC a los 14 días.

Ha: $u_1 < u_2$ Ha unilateral con cola a la izquierda: La adición de E°N° en 30%, aumenta la resistencia a compresión del CC a los 14 días.

Indicar que α y Z son constantes y $Z_o = -8.81$.

Decisión: Se refuta: Ho y se admite Ha: $u_1 < u_2$, debido que: ($Z_o < -Z$) ó ($-8.81 < -1.645$) es verdadera, entonces se refuta Ho: $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de E°N° en 30%, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 14 días.

4.10.2.3.9 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 30% de E°N° a 28 días

Tabla 165

Resultados estadísticos de CC y CC con 30% de E°N° a los 28 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 30% de E°N°
Número de muestras, n	3.00	3.00
Media, u	214.51	230.90
Varianza, σ^2	4.00	9.00

Se plantea que: u_1 : f'c media del CC y u_2 : f'c media del CC con 30% de E°N°.

Ho: $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_o < -Z$): La adición de E°N° en 30%, no aumenta la resistencia a compresión del CC a los 28 días.

Ha: $u_1 < u_2$ Ha unilateral con cola a la izquierda: La adición de E°N° en 30%, aumenta la resistencia a compresión del CC a los 28 días.

Es menester precisar que α y Z tienen valores constantes y $Z_o = -7.87$.

Decisión: Se refuta: Ho y se admite Ha: $u_1 < u_2$, debido que: ($Z_o < -Z$) ó ($-7.87 < -1.645$) es verdadera, entonces se refuta Ho: $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de E°N° en 30%, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 28 días.

4.10.2.3.10 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 40% de E°N° a 7 días

Tabla 166

Resultados estadísticos de CC y CC con 40% de E°N° a los 7 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 40% de E°N°
Número de muestras, n	3.00	3.00
Media, u	143.27	160.92
Varianza, σ^2	1.33	1.00

Se plantea que: u_1 : f'c media del CC y u_2 : f'c media del CC con 40% de E°N°.

Ho: $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_o < -Z$): La adición de E°N° en 40%, no aumenta la resistencia a compresión del CC a los 7 días.

Ha: $u_1 < u_2$ Ha unilateral con cola a la izquierda: La adición de E°N° en 40%, aumenta la resistencia a compresión del CC a los 7 días.

Es menester precisar que α y Z tienen valores constantes y $Z_o = -20.03$.

Decisión: Se refuta: H_0 y se admite H_a : $u_1 < u_2$. Debido que: $(Z_0 < -Z)$ ó $(-20.03 < -1.645)$ es verdadera, entonces se refuta H_0 : $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en 40%, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 7 días.

4.10.2.3.11 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a 14 días

Tabla 167

Resultados estadísticos de CC y CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 14 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$
Número de muestras, n	3.00	3.00
Media, u	190.38	206.74
Varianza, σ^2	1.00	4.00

Se plantea que: u_1 : f'c media del CC y u_2 : f'c media del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$.

H_0 : $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: $(Z_0 < -Z)$: La adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en 40%, no aumenta la resistencia a compresión del CC a los 14 días.

H_a : $u_1 < u_2$ H_a unilateral con cola a la izquierda: La adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en 40%, aumenta la resistencia a compresión del CC a los 14 días.

Es menester precisar que α y Z tienen valores constantes y $Z_0 = -12.67$.

Decisión: Se refuta: H_0 y se admite H_a : $u_1 < u_2$, debido que: $(Z_0 < -Z)$ ó $(-12.67 < -1.645)$ es verdadera, entonces se refuta H_0 : $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en 40%, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 14 días.

4.10.2.3.12 Comprobación de hipótesis de resistencia a la compresión de CC con 40% de E°N° a 28 días.

Tabla 168

Resultados estadísticos de CC y CC con 40% de E°N° a los 28 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 40% de E°N°
Número de muestras, n	3.00	3.00
Media, u	214.51	243.65
Varianza, σ^2	4.00	1.33

Se plantea que: u_1 : f'c media del CC y u_2 : f'c media del CC con 40% de E°N°.

Ho: $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_o < -Z$): La adición de E°N° en 40%, no aumenta la resistencia a compresión del CC a los 28 días.

Ha: $u_1 < u_2$ Ha unilateral con cola a la izquierda: La adición de E°N° en 40%, aumenta la resistencia a compresión del CC a los 28 días.

Es menester precisar que α y Z tienen valores constantes y $Z_o = -21.86$.

Decisión: Se refuta: Ho y se admite Ha: $u_1 < u_2$, debido que: ($Z_o < -Z$) ó (-21.86 < -1.645) es verdadera, entonces se refuta Ho: $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de E°N° en 40%, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 28 días.

4.10.2.4 Comprobación de hipótesis de la resistencia a la compresión por t de Student.

El estudio estadístico se ha realizado a los cinco grupos de control de los resultados de prueba a compresión de las 45 probetas cilíndricas de CC y CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N°, cada grupo de control conformado por cinco probetas, una vez determinado las medidas de centralización específicamente la u, σ^2 y σ se ha procedido a evaluar la comprobación de hipótesis utilizando la prueba t para admitir o refutar la hipótesis nula y alternativa.

4.10.2.4.1 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 10% de E°N° a los 7 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia a compresión a los siete días se ha evaluado el resultado de tres probetas cilíndricas del CC y tres probetas cilíndricas del CC con 10% de E°N°, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p).

Tabla 169

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a los 7 días del CC.

Muestra	f'c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC-01	143.11	0.20	0.04
CC-02	140.94	-1.97	3.87
CC-03	144.67	1.76	3.11

Nota: Los datos de la presente tabla también se va utilizar para el análisis estadístico del concreto con 20, 30 y 40% de E°N° debido que el análisis estadístico de resistencia al esfuerzo de compresión del CC no varía.

$$n = 3.00 \text{ y } \sum Xi = 428.72$$

Con la aplicación de la ecuación 11.

$$u = 142.91 \text{ y } \sum (Xi - u)^2 = 7.02$$

Con la aplicación de la ecuación 12.

$$\sigma = 1.87$$

Tabla 170

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 7 días del CC con 10% de E°N°.

Muestra	f'c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 10% de E°N°	147.59	0.28	0.08
CC con 10% de E°N°	149.46	2.15	4.64
CC con 10% de E°N°	144.87	-2.44	5.94

Nota: $n = 3.00$; $\sum Xi = 441.92$; $u = 147.31$; $\sum (Xi - u)^2 = 10.65$ y $\sigma = 2.31$.

4.10.2.4.2 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 10% de E°N° a los 7 días.

Una vez calculado las medidas de centralización como la u , σ^2 y σ tanto de los resultados de la resistencia a la compresión a los siete días del CC y CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N° se procedió a realizar la validación de la comprobación de hipótesis con la prueba t de Student, para tal fin se ha calculado el estadístico t (t_p) para compararlo con t_α de esa manera refutar o admitir la hipótesis nula (H_0).

Tabla 171

Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 7 días.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 10% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	142.91	147.31
Desviación estándar (σ)	1.87	2.31

Nota: $\sigma_p = 1.05$; $t_p = -3.42$; $\alpha = 0.05$ y G.L = 4.00.

H₀: $u_1 \leq u_2$

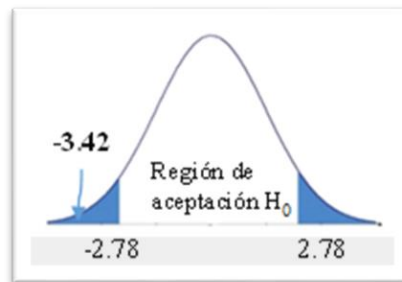
Que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 10% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 7 días.

H_a: $u_1 > u_2$

La adición de E°N° en 10% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 7 días.

Figura 107

Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 7 días.



Nota. $t_{\alpha} = 2.132$; $t_p < t_{\alpha}$; $-3.42 < 2.132$

Se admite H_0 si: $t_p < t_{\alpha}$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_{\alpha}$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_{\alpha}$; $-3.420 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$ sobre porcentajes del $A^{\circ}G^{\circ}$ a los 7 días.

4.10.2.4.3 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 7 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia a compresión a los siete días se ha evaluado el resultado de tres probetas cilíndricas del CC y tres probetas cilíndricas del CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p).

Tabla 172

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 7 días del CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$.

Muestra	$f \cdot c = (X_i)$	$X_i - u$	$(X_i - u)^2$
CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$	151.09	0.10	0.01
CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$	150.19	-0.80	0.65
CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$	151.70	0.71	0.50

Nota: Con los datos de la tabla se ha determinado: $n = 3.00$; $\sum X_i = 452.98$; $u = 150.99$; $\sum (X_i - u)^2 = 1.15$ y $\sigma = 0.76$.

4.10.2.4.4 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 20% de E°N° a los 7 días.

Tabla 173

Variabes para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 7 días.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 20% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	142.91	150.99
Desviación estándar (σ)	1.87	0.76

Nota: Con los datos de la tabla se ha determinado los valores de: $\sigma_p = 0.71$; $t_p = -9.24$; G.L = 4.00 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

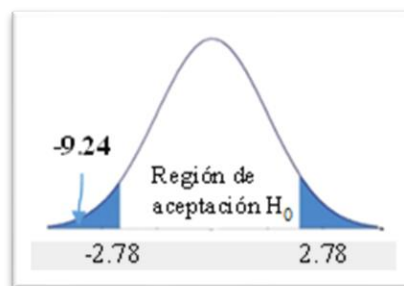
Que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 20% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 7 días.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 20% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 7 días.

Figura 108

Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 20% de E°N° a los 7 días.



Nota. $t_\alpha = 2.132$; $t_p < t_\alpha$; $-9.24 < 2.132$

Se admite H_0 si: $t_p < t_\alpha$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_\alpha$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_\alpha$; $-9.240 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 20% de $E^\circ N^\circ$ sobre porcentajes del $A^\circ G^\circ$ a los 7 días.

4.10.2.4.5 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 30% de $E^\circ N^\circ$ a los 7 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia a compresión a los siete días se ha evaluado el resultado de tres probetas cilíndricas del CC y tres probetas cilíndricas del CC con 30% de $E^\circ N^\circ$, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p).

Tabla 174

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 7 días del CC con 30% de $E^\circ N^\circ$.

Muestra	f°c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 30% de $E^\circ N^\circ$	154.59	-0.84	0.71
CC con 30% de $E^\circ N^\circ$	159.15	3.72	13.81
CC con 30% de $E^\circ N^\circ$	152.56	-2.87	8.26

Notas: Con los datos de la tabla se ha determinado: $n = 3.00$; $\sum Xi = 466.3$; $u = 155.43$; $\sum (Xi - u)^2 = 22.78$ y $\sigma = 3.37$.

4.10.2.4.6 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 30% de $E^\circ N^\circ$ a los 7 días.

Tabla 175

Variabes para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 7 días.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 30% de $E^\circ N^\circ$
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	142.91	155.43
Desviación estándar (σ)	1.87	3.37

Nota: Con los datos de la tabla se ha determinado los valores de: $\sigma_p = 1.36$; $t_p = -7.49$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

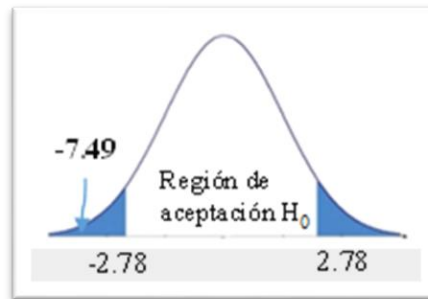
Que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 30% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 7 días.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 30% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 7 días.

Figura 109

Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 30% de E°N° a los 7 días.



Nota. $t_{\alpha} = 2.132$; $t_p < t_{\alpha}$; $-7.49 < 2.132$

Se admite H_0 si: $t_p < t_{\alpha}$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_{\alpha}$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_{\alpha}$; $-7.490 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 30% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 7 días.

4.10.2.4.7 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 40% de E°N° a los 7 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia a compresión a los siete días se ha evaluado el resultado de tres probetas cilíndricas del CC y tres probetas cilíndricas del CC con 40% de E°N°, con ellas se ha determinado la μ , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p).

Tabla 176

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 7 días del CC con 40% de E°N°.

Muestra	f°c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 40% de E°N°	159.42	-1.39	1.94
CC con 40% de E°N°	160.63	-0.18	0.03
CC con 40% de E°N°	162.39	1.58	2.49

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado: $n = 3.00$; $\sum Xi = 482.44$; $u = 160.81$; $\sum (Xi - u)^2 = 4.46$ y $\sigma = 1.49$.

4.10.2.4.8 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 40% de E°N° a los 7 días.

Tabla 177

Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 7 días.

Descripción	grupo 1	grupo 2
	CC	CC con 40% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	142.91	160.81
Desviación estándar (σ)	1.87	1.49

Nota: Con los datos de la tabla se ha calculado los valores de: $\sigma_p = 0.85$; $t_p = -17.26$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

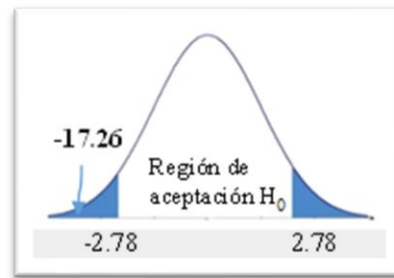
Que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 40% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 7 días

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 40% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 7 días.

Figura 110

Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 7 días.



Nota: $t_{\alpha} = 2.132$; $t_p < t_{\alpha}$; $-17.26 < 2.132$

Se admite H_0 si: $t_p < t_{\alpha}$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_{\alpha}$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_{\alpha}$; $-17.260 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ sobre porcentajes del $A^{\circ}G^{\circ}$ a los 7 días.

4.10.2.4.9 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 14 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia a compresión a los catorce días se ha evaluado el resultado de tres probetas cilíndricas del CC y tres probetas cilíndricas del CC con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p).

Tabla 178

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a los 14 días del CC.

Muestra	$f'c = (X_i)$	$X_i - u$	$(X_i - u)^2$
CC-01	190.42	0.17	0.03
CC-02	188.88	-1.37	1.87
CC-03	191.44	1.19	1.42

Nota: Los datos de la presente tabla también se va utilizar para el análisis estadístico del concreto con 20, 30 y 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ debido que el análisis estadístico de resistencia al esfuerzo de compresión del CC no varía. Además con los resultados de la tabla se ha determinado: $n = 3.00$; $\sum X_i = 570.74$; $u = 190.25$; $\sum (X_i - u)^2 = 3.32$ y $\sigma = 1.29$.

Tabla 179

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 14 días del CC con 10% de E°N°.

Muestra	f°c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 10% de E°N°	192.43	0.13	0.02
CC con 10% de E°N°	191.01	-1.29	1.66
CC con 10% de E°N°	193.45	1.15	1.33

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado: $n = 3.00$; $\sum Xi = 576.89$; $u = 192.30$; $\sum (Xi - u)^2 = 3.00$ y $\sigma = 1.23$.

4.10.2.4.10 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 10% de E°N° a los 14 días

Una vez calculado las medidas de centralización como la u , σ^2 y σ , tanto de los resultados de la resistencia a la compresión a los catorce días del CC y CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N se procedió a realizar la validación de la comprobación de hipótesis con la prueba t de Student, para tal fin se ha calculado el estadístico t (t_p) para compararlo con t_α de esa manera refutar o admitir la hipótesis nula (H_0).

Tabla 180

VARIABLES PARA COMPROBAR LA HIPÓTESIS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 10% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	190.25	192.30
Desviación estándar (σ)	1.29	1.23

Nota: Con los resultados de la tabla se ha calculado los valores de: $\sigma_p = 0.63$; $t_p = -2.66$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

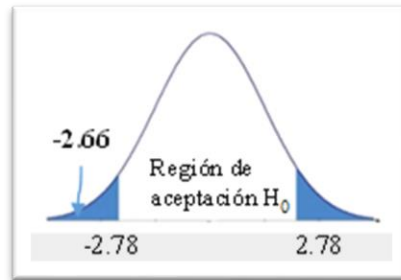
Que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 10% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 14 días.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 10% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 14 días.

Figura 111

Gráfico del estadístico t para la resistencia a compresión con 10% de E°N° a los 14 días.



Nota: $t_{\alpha} = 2.132$; $t_p < t_{\alpha}$; $-2.66 < 2.132$

Se admite H_0 si: $t_p < t_{\alpha}$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_{\alpha}$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_{\alpha}$; $-2.660 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 10% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 14 días.

4.10.2.4.11 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 20% de E°N° a los 14 días

Para el estudio estadístico de la resistencia a compresión a los catorce días se ha evaluado el resultado de tres probetas cilíndricas del CC y tres probetas cilíndricas del CC con 20% de E°N°, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p).

Tabla 181

Evaluación estadístico resistencia a compresión a los 14 días del CC con 20% de E°N°.

Muestra	f°c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 20% de E°N°	195.17	-2.19	4.81
CC con 20% de E°N°	196.22	-1.14	1.31
CC con 20% de E°N°	200.70	3.34	11.13

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado: $n = 3.00$; $\sum Xi = 592.09$; $u = 197.36$; $\sum (Xi - u)^2 = 17.25$ y $\sigma = 2.94$

4.10.2.4.12 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 14 días

Tabla 182

Variabes para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 14 días.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	190.25	197.36
Desviación estándar (σ)	1.29	2.94

Nota. Con los resultados de la tabla se ha calculado los valores de: $\sigma_p = 1.13$; $t_p = -5.12$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

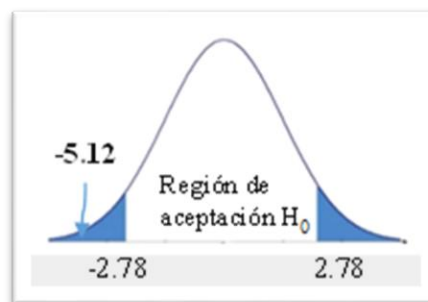
Que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ sobre porcentajes del $A^{\circ}G^{\circ}$ a los 14 días.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en 20% sobre porcentajes del $A^{\circ}G^{\circ}$, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 14 días.

Figura 112

Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 14 días.



Nota: $t_{\alpha} = 2.132$; $t_p < t_{\alpha}$; $-5.12 < 2.132$

Se admite H_0 si: $t_p < t_{\alpha}$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_{\alpha}$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_\alpha$; $-5.120 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 20% de $E^\circ N^\circ$ sobre porcentajes del $A^\circ G^\circ$ a los 14 días.

4.10.2.4.13 Análisis estadístico para resistencia a la compresión con 30% de $E^\circ N^\circ$ a los 14 días

Tabla 183

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 14 días del CC con 30% de $E^\circ N^\circ$.

Muestra	f°c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 30% de $E^\circ N^\circ$	201.23	0.13	0.02
CC con 30% de $E^\circ N^\circ$	203.31	2.21	4.88
CC con 30% de $E^\circ N^\circ$	198.76	-2.34	5.48

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado $n = 3.00$; $\sum Xi = 603.30$; $u = 201.10$; $\sum (Xi - u)^2 = 10.38$ y $\sigma = 2.28$.

4.10.2.4.14 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 30% de $E^\circ N^\circ$ a los 14 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia a compresión a los catorce días se ha evaluado el resultado de tres probetas cilíndricas del CC y tres probetas cilíndricas del CC con 30% de $E^\circ N^\circ$, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico $t (t_p)$.

Tabla 184

Variabes para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 14 días.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 30% de $E^\circ N^\circ$
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	190.25	201.10
Desviación estándar (σ)	1.29	2.28

Nota: Con los resultados de la tabla se ha calculado los valores de: $\sigma_p = 0.93$; $t_p = -9.58$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

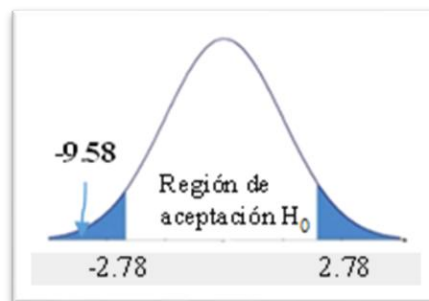
Que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 30% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 14 días.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 30% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 14 días.

Figura 113

Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 30% de E°N° a los 14 días.



Nota: $t_\alpha = 2.132$; $t_p < t_\alpha$; $-9.58 < 2.132$

Se admite H_0 si: $t_p < t_\alpha$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_\alpha$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_\alpha$; $-9.580 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 30% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 14 días.

4.10.2.4.15 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 40% de E°N° a los 14 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia a compresión a los catorce días se ha evaluado el resultado de tres probetas cilíndricas del CC y tres probetas cilíndricas del CC con 40% de E°N°, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p).

Tabla 185

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 14 días del CC con 40% de E°N°.

Muestra	f°c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 40% de E°N°	203.74	-2.70	7.29
CC con 40% de E°N°	206.67	0.23	0.05
CC con 40% de E°N°	208.91	2.47	6.10

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado: $n = 3.00$; $\sum Xi = 619.32$;

$u = 206.44$; $\sum (Xi - u)^2 = 13.44$ y $\sigma = 2.59$.

4.10.2.4.16 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 40% de E°N° a los 14 días.

Tabla 186

Variabes para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 14 días.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 40% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	190.25	206.44
Desviación estándar (σ)	1.29	2.59

Nota: Con los resultados de la tabla se ha calculado los valores de: $\sigma_p = 1.02$; $t_p = -12.92$;

G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

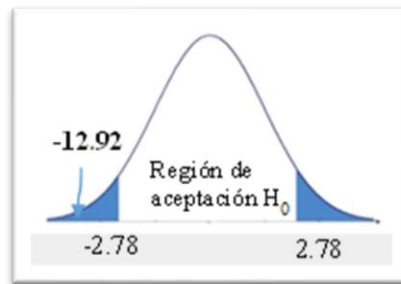
Que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 40% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 14 días.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 40% sobre porcentajes del agregado grueso, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 14 días.

Figura 114

Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 40% de E°N° a los 14 días.



Nota: $t_{\alpha} = 2.132$; $t_p < t_{\alpha}$; $-12.92 < 2.132$

Se admite H_0 si: $t_p < t_{\alpha}$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_{\alpha}$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_{\alpha}$; $-12.920 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 40% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 14 días.

4.10.2.4.17 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 10% de E°N° a los 28 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia a compresión a los veintiocho días se ha evaluado el resultado de tres probetas cilíndricas del CC y tres probetas cilíndricas del CC con 10% de E°N°, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p) para luego evaluar la prueba de hipótesis.

Tabla 187

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a los 28 días del CC.

Muestra	$f'c = (X_i)$	$X_i - u$	$(X_i - u)^2$
CC-01	214.75	0.45	0.20
CC-02	216.64	2.34	5.48
CC-03	211.51	-2.79	7.78

Nota: Los datos de la presente tabla también se va utilizar para el análisis estadístico del concreto con 20, 30 y 40% de E°N° debido que el análisis estadístico de resistencia al esfuerzo de compresión del CC no varía. Además con los resultados de la tabla se ha determinado $n = 3.00$, $\sum X_i = 642.9$; $u = 214.30$; $\sum (X_i - u)^2 = 13.46$ y $\sigma = 2.59$.

Tabla 188

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 28 días del CC con 10% de E°N°.

Muestra	f°c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 10% de E°N°	219.93	0.25	0.06
CC con 10% de E°N°	218.05	-1.63	2.66
CC con 10% de E°N°	221.06	1.38	1.90

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado: $n = 3.00$, $\sum Xi = 659.04$; $u = 219.68$; $\sum (Xi - u)^2 = 4.62$ y $\sigma = 1.52$.

4.10.2.4.18 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 10% de E°N° a los 28 días.

Una vez calculado las medidas de centralización como la u , σ^2 y σ tanto de los resultados de la resistencia a la compresión a los veintiocho días del CC y CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N° se procedió a realizar la validación de la comprobación de hipótesis con la prueba t de Student, para tal fin se ha calculado el estadístico t (t_p) para compararlo con t_{α} de esa manera refutar o admitir la hipótesis nula (H_0).

Tabla 189

VARIABLES PARA COMPROBAR LA HIPÓTESIS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 10% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	214.30	219.68
Desviación estándar (σ)	2.59	1.52

Nota: Con los resultados de la tabla se ha calculado los valores de: $\sigma_p = 1.06$; $t_p = -4.13$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$H_0: u_1 \leq u_2$

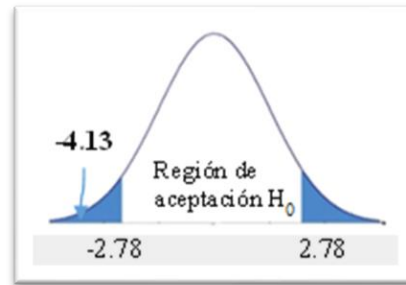
Que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 10% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 28 días.

$H_a: u_1 > u_2$

La adición de E°N° en 10% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 28 días.

Figura 115

Gráfico estadístico t para la resistencia a compresión con 10% de E°N° a los 28 días.



Nota: $t_{\alpha} = 2.132$; $t_p < t_{\alpha}$; $-4.13 < 2.132$

Se admite H_0 si: $t_p < t_{\alpha}$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_{\alpha}$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_{\alpha}$; $-4.130 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 10% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 28 días.

4.10.2.4.19 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 20% de E°N° a los 28 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia a compresión a los veintiocho días se ha evaluado el resultado de tres probetas cilíndricas del CC y tres probetas cilíndricas del CC con 20% de E°N°, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p) para luego evaluar la comprobación de hipótesis.

Tabla 190

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 28 días del CC con 20% de E°N°.

Muestra	f°c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 20% de E°N°	227.66	3.34	11.13
CC con 20% de E°N°	222.11	-2.21	4.90
CC con 20% de E°N°	223.20	-1.12	1.26

Nota: Con los datos de la tabla se determinó: $n = 3.00$; $\sum Xi = 672.97$; $u = 224.32$; $\sum (Xi - u)^2 = 17.29$ y $\sigma = 2.94$.

4.10.2.4.20 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Tabla 191

Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 28 días.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	214.30	224.32
Desviación estándar (σ)	2.59	2.94

Nota: Con los resultados de la tabla se ha calculado los valores de: $\sigma_p = 1.39$; $t_p = -5.90$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

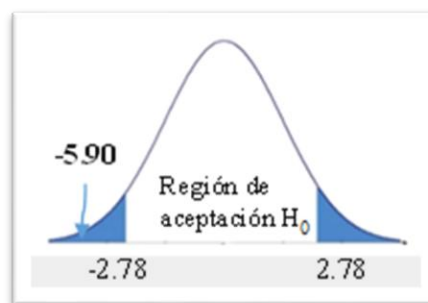
Que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ sobre porcentajes del $A^{\circ}G^{\circ}$ a los 28 días.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en 20% sobre porcentajes del $A^{\circ}G^{\circ}$, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 28 días.

Figura 116

Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.



Nota: $t_{\alpha} = 2.132$; $t_p < t_{\alpha}$; $-5.90 < 2.132$

Se admite H_0 si: $t_p < t_{\alpha}$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_{\alpha}$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_\alpha$; $-5.900 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 20% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 28 días.

4.10.2.4.21 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 30% de E°N° a los 28 días

Para el estudio estadístico de la resistencia a compresión a los veintiocho días se ha evaluado el resultado de tres probetas cilíndricas del CC y tres probetas cilíndricas del CC con 30% de E°N°, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p) para luego evaluar la comprobación de hipótesis.

Tabla 192

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 28 días del CC con 30% de E°N°.

Muestra	f°c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 30% de E°N°	226.40	-4.46	19.92
CC con 30% de E°N°	231.98	1.12	1.25
CC con 30% de E°N°	234.21	3.35	11.20

Nota: Con los datos de la tabla se ha determinado: $n = 3.00$; $\sum Xi = 692.59$; $u = 230.86$; $\sum (Xi - u)^2 = 32.37$ y $\sigma = 4.02$.

4.10.2.4.22 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 30% de E°N° a los 28 días.

Tabla 193

Variabes para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 28 días.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 30% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	214.30	230.86
Desviación estándar (σ)	2.59	4.02

Nota: Con los resultados de la tabla se ha calculado los valores de: $\sigma_p = 1.69$; $t_p = -7.99$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

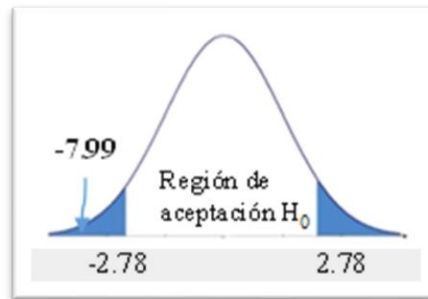
Que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 30% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 28 días.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 30% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 28 días.

Figura 117

Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 30% de E°N° a los 28 días.



Nota: $t_\alpha = 2.132$; $t_p < t_\alpha$; $-7.99 < 2.132$

Se admite H_0 si: $t_p < t_\alpha$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_\alpha$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_\alpha$; $-7.990 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 30% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 28 días.

4.10.2.4.23 Evaluación estadístico para resistencia a la compresión con 40% de E°N° a los 28 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia a compresión a los veintiocho días se ha evaluado el resultado de tres probetas cilíndricas del CC y tres probetas cilíndricas del CC con 40% de E°N°, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p) para luego evaluar la comprobación de hipótesis.

Tabla 194

Evaluación estadístico de resistencia a compresión a 28 días del CC con 40% de E°N°.

Muestra	f°c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 40% de E°N°	241.32	-2.20	4.83
CC con 40% de E°N°	245.30	1.78	3.18
CC con 40% de E°N°	243.93	0.41	0.17

Nota: Con los datos de la tabla se ha determinado $n = 3.00$; $\sum Xi = 730.55$; $u = 243.52$; $\sum (Xi - u)^2 = 8.18$ y $\sigma = 2.02$.

4.10.2.4.24 Comprobación de hipótesis para resistencia a la compresión con 40% de E°N° a los 28 días.

Tabla 195

Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a compresión a los 28 días.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 40% de E°N°
Número de muestras (n)	3.00	3.00
Media (u)	214.30	243.52
Desviación estándar (σ)	2.59	2.02

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado los valores de: $\sigma_p = 1.16$; $t_p = -20.51$; G.L = 4 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

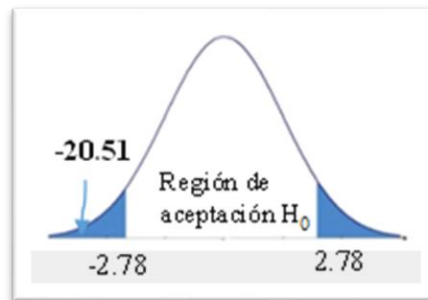
Que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 40% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 28 días.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La edición de E°N° en 40% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la resistencia a la compresión del CC a los 28 días.

Figura 118

Gráfico del estadístico t para resistencia a compresión con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.



Nota: $t_{\alpha} = 2.132$; $t_p < t_{\alpha}$; $-20.51 < 2.132$

Se admite H_0 si: $t_p < t_{\alpha}$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_{\alpha}$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_{\alpha}$; $-20.510 < 2.132$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la compresión menor en comparación al CC con adición de 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ sobre porcentajes del $A^{\circ}G^{\circ}$ a los 28 días.

4.10.3 Comparación de la resistencia a la flexión de las viguetas prismáticas

En el ensayo de flexión se han elaborado, cinco probetas prismáticas sin adición de $E^{\circ}N^{\circ}$, cinco probetas prismáticas con adición de 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$, cinco probetas prismáticas con adición de 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$, cinco probetas con adición de 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$ y cinco probetas con adición de 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$; sumado en total 25 probetas prismáticas, estas viguetas prismáticas han sido sometidos a compresión a flexión a los 28 días. Los resultados obtenidos de R (módulo de rotura) en kg/cm^2 se detallan en la tabla 196 y figura 119.

Tabla 196

Resultados del ensayo a flexión con y sin adición de E°N° a los 28 días de curado.

Descripción	Edad (días)	Lectura del dial (kg-f)	Lectura del dial N	Resistencia a la flexión (kg-f/cm ²)	Resistencia a la flexión promedio (kg-f/cm ²)	% de resistencia a la flexión promedio
CC	28	1382	13553	27.32	26.30	100
		1296	12710	25.91		
		1377	13504	27.39		
		1288	12631	25.48		
		1274	12494	25.41		
CC con 10% de E°N°	28	1384	13573	27.56	28.26	107.43
		1453	14250	28.67		
		1512	14828	30.19		
		1366	13396	26.99		
		1405	13779	27.87		
CC con 20% de E°N°	28	1528	14985	30.15	31.08	118.15
		1617	15858	32.10		
		1552	15220	30.95		
		1576	15456	31.12		
		1554	15240	31.07		
CC con 30% de E°N°	28	1645	16133	32.37	33.65	127.95
		1734	17005	34.10		
		1708	16750	33.88		
		1747	17133	34.79		
		1672	16397	33.12		
CC con 40% de E°N°	28	1868	18319	36.86	37.84	143.88
		1995	19565	39.65		
		1894	18574	37.44		
		1916	18790	38.13		
		1852	18163	37.13		

Nota: La tabla muestra la resistencia a la flexión promedio (R) para el CC es de 26.30 kg/cm² el cual representa el (100%).

Según Quenta (2019, p. 48) en su investigación de posgrado denominado efecto de las fibras de las botellas PET en las propiedades del CC en la ciudad de Puno; al someter un CC al ensayo de flexión en el centro del tramo de la vigueta prismática obtuvo un resultado de 23.84 kg/cm² este resultado lo considera como concreto patrón

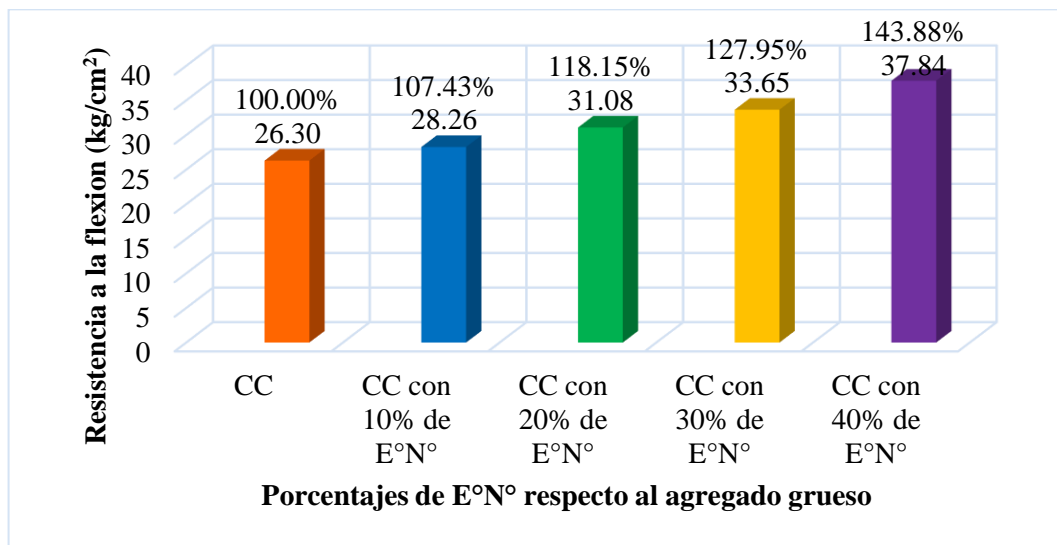
equivalente al 100%, a partir de ella analiza el incremento de la resistencia a la flexión y valida su estudio estadístico y comprobación de hipótesis. De la misma manera los investigadores Mollo y Rosas (2019, p. 196), Flores y Mamani (2018, p. 99) y Tupa (2018, p. 87) en sus trabajos de tesis; en sus ensayos de resistencia a la flexión para un CC obtuvieron 26.95, 26.64 y 25.16 kg/cm² respectivamente. Estos datos lo han considerado como concreto patrón equivalente al 100%, ya que visto y revisado la NTP 339.079 y el ASTM C 293-02 no establecen en ninguno de sus extremos la resistencia a flexión predeterminada para un CC. Por tanto, de los mencionados trabajos de investigación y en merito a los resultados obtenidos de la presente tesis se infiere válidamente que la resistencia a la flexión de un CC varía entre 23.00 a 27.00 kg/cm² aproximadamente. Por las consideraciones expuestas en esta investigación se ha considerado como concreto patrón al resultado de la resistencia a flexión del CC que es igual 26.47 kg/cm² a partir de ella se va hacer el análisis comparativo del CC con y sin adición de E°N° para luego realizar el estudio estadístico de campana de Gauss y t de Student para su respectiva validación de la prueba de hipótesis.

Teniendo resultados de las viguetas prismáticas del CC y CC con adición de 10, 20, 30 y 40% de E°N° sometidos a flexión a los 28 días de curado la resistencia promedio (R) es igual a 26.30, 28.26, 31.08, 33.65 y 37.84 kg/cm² respectivamente, estos resultados validan la dosificación de mezclas por método de ACI 211.

A los 28 días de curado se aprecia en la tabla 196 y figura 119 que con una adición de 10% de E°N° aumenta la resistencia a la flexión en 7.43% respecto al CC; con adición de 20% de E°N° aumenta la resistencia a la flexión en 18.15%, con inclusión de 30% de E°N° aumenta la resistencia a la flexión en 27.95% y con la adición de 40% de E°N° aumenta la resistencia a la flexión en 43.88%.

Figura 119

Resultados de las probetas prismáticas a los 28 días.



Nota: Comparación de resultados de viguetas prismáticas de CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄ sometidos a flexión a los 28 días.

Según los resultados logrados, descritos y analizados del ensayo de flexión aplicados a las viguetas prismáticas se concluye que incrementa considerablemente el módulo de ruptura (R) dicho incremento varía entre 7.43% (con adición de 10% de E°N°) a 43.88% (con adición de 40% de E°N°) con respecto al CC. Por tanto, se puede afirmar con certeza que a mayor adición de escoria aumenta la resistencia a la flexión del concreto.

4.10.3.1 Comprobación de normalidad de los resultados del ensayo de flexión.

Antes de realizar la evaluación estadística de los resultados del ensayo de flexión del CC sin y con adición de E°N° a los 28 días de curado, se procedió a verificar y comprobar si los datos obtenidos son normales para tal finalidad de utilizó el método Shapiro Wilk para comprobar o rechazar la normalidad de los datos ya que este método se usa para contrastar si un conjunto de datos sigue una distribución normal o no.

H₀: Los datos del ensayo de resistencia sometidas a esfuerzo de flexión a los 28 días con adición de E°N° en un CC provienen de una distribución normal.

H_a : Los datos del ensayo de resistencia sometidas a esfuerzo de flexión a los 28 días con adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en un CC no provienen de una distribución normal.

Si la significación consecuente de la prueba de normalidad es mayor a 0.05, se acepta o se admite la hipótesis nula; en caso contrario se rechaza la misma

Tabla 197

Prueba de normalidad a flexión del CC sin y con adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Prueba de normalidad Shapiro Wilk		
Descripción	Nro. Muestras	Significancia
CC	3	0.100
CC con 10% de adición de $E^{\circ}N^{\circ}$	3	0.546
CC con 20% de adición de $E^{\circ}N^{\circ}$	3	0.515
CC con 30% de adición de $E^{\circ}N^{\circ}$	3	0.914
CC con 40% de adición de $E^{\circ}N^{\circ}$	3	0.348

Como se muestra en la tabla 197 de pruebas de normalidad para los datos del ensayo de resistencia a flexión del concreto resultante, todos los valores de significancia por Shapiro-Wilk es mayor a 0.05, por estas consideraciones se admite el H_0 , por lo tanto, se afirma con certeza que los datos de los ensayos de la resistencia al esfuerzo de flexión del CC con adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ provienen de una distribución normal.

4.10.3.2 Evaluación estadístico de resistencia al esfuerzo de flexión.

Para el estudio estadístico de los resultados del ensayo de flexión de las viguetas prismática a $L/2$ se ha utilizado las medidas de centralización que son la u_o , u_m y u con los resultados obtenidos se procedió a construir la tabla de frecuencias con la finalidad de graficar el histograma de frecuencias y calcular las medidas de dispersión que son la σ^2 , σ y CV, con los resultados obtenidos se prosiguió a calcular las medidas de asimetría específicamente la campana de Gauss y la distribución.

4.10.3.2.1 Evaluación estadístico de resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Tabla 198

Datos de resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Muestra	f'c (Xi)
CC	27.32
CC	25.91
CC	27.39
CC	25.48
CC	25.41

Tabla 199

Cuadro estadístico de distribución de frecuencias del CC a los 28 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[25.41 26.41 >	25.91	3.00	3.00	77.73	-0.40	0.16	0.48
[26.41 27.41 >	26.91	2.00	5.00	53.82	0.60	0.36	0.72
[27.41 28.41 >	27.91	0.00	5.00	0.00	1.60	2.56	0.00
		5.00		131.55		3.08	1.20

Tabla 200

Medidas de centralización y dispersión del CC a los 28 días.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	5.00
Rango de datos (Rx)	1.98
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	1.00
Media (u)	26.31
Mediana (u _m)	26.24
Moda (u _o)	26.16
Varianza (σ ²)	0.30
Desviación estándar (σ)	0.55
Coefficiente de variación (CV)	2.08

Figura 120

Histograma de frecuencias del CC a los 28 días de curado.

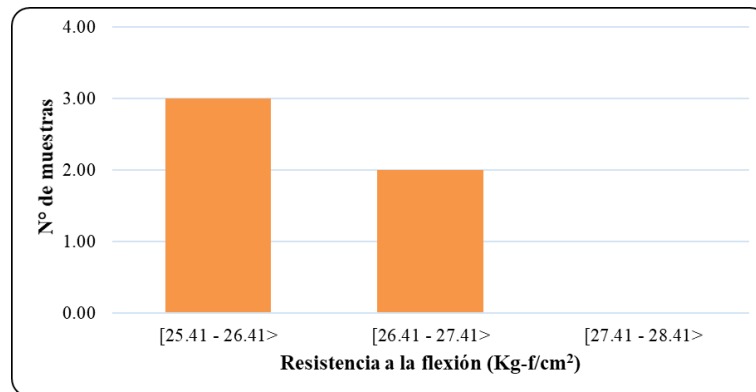
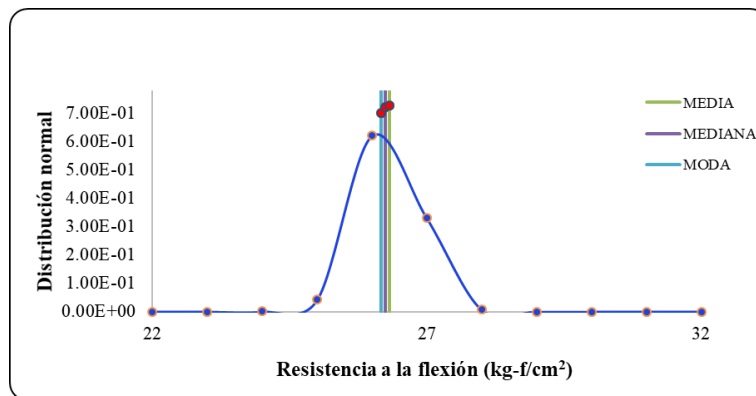


Figura 121

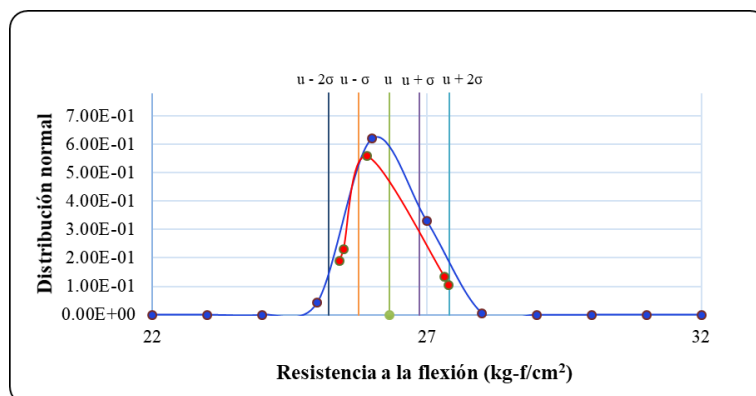
Distribución de campana de Gauss de CC a los 28 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 122

Distribución normal del CC a los 28 días de curado.



4.10.3.2.2 Evaluación estadístico de resistencia a la flexión del CC con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Tabla 201

Datos de resistencia a la flexión del CC con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Muestra	f'c = (Xi)
CC con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$	27.56
CC con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$	28.67
CC con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$	30.19
CC con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$	26.99
CC con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$	27.87

Tabla 202

Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[26.99 28.99 >	27.99	4.00	4.00	111.96	-0.40	0.16	0.64
[28.99 30.99 >	29.99	1.00	5.00	29.99	1.60	2.56	2.56
[30.99 32.99 >	31.99	0.00	5.00	0.00	3.60	12.96	0.00
	5.00			141.95		15.68	3.20

Tabla 203

Medidas de centralización y dispersión del CC con 10% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	5.00
Rango de datos (Rx)	3.20
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	2.00
Media (u)	28.39
Mediana (u_m)	28.24
Moda (u_o)	28.13
Varianza (σ^2)	0.80
Desviación estándar (σ)	0.89
Coefficiente de variación (CV)	3.15

Figura 123

Histograma de frecuencias del CC con 10% de E°N° a los 28 días de curado.

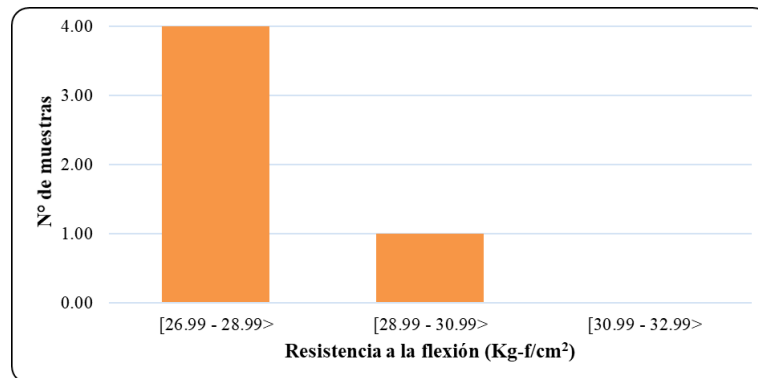
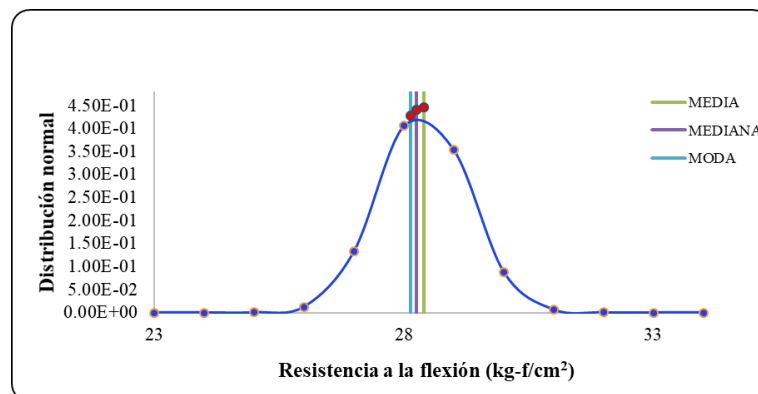


Figura 124

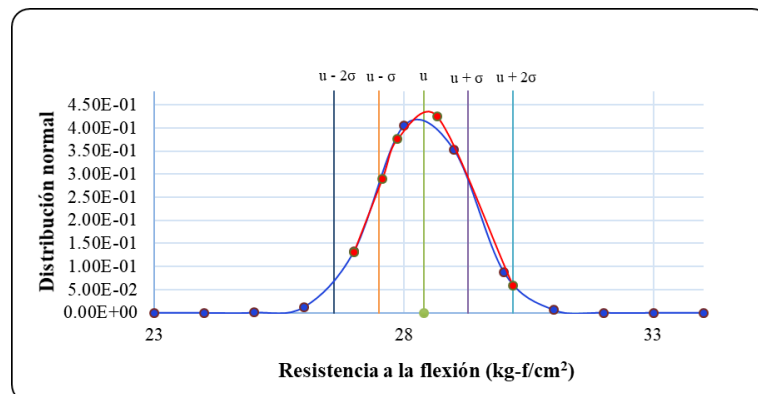
Distribución de campana de Gauss de CC con 10% de E°N° a los 28 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 125

Distribución normal del CC con 10% de E°N° a los 28 días de curado.



4.10.3.2.3 Evaluación estadístico de resistencia a la flexión del CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Tabla 204

Datos de resistencia a la flexión del CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Muestra	$f^{\circ}c= (Xi)$
CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$	30.15
CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$	32.10
CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$	30.95
CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$	31.12
CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$	31.07

Tabla 205

Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	$fi.Xi$	$Xi-u$	$(Xi-u)^2$	$fi.(Xi-u)^2$
[30.15 31.15 >	30.65	4.00	4.00	122.60	-0.20	0.04	0.16
[31.15 32.15 >	31.65	1.00	5.00	31.65	0.80	0.64	0.64
[32.15 33.15 >	32.65	0.00	5.00	0.00	1.80	3.24	0.00
	5.00			154.25		3.92	0.80

Tabla 206

Medidas de centralización y dispersión del CC con 20% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	5.00
Rango de datos (Rx)	1.95
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	1.00
Media (u)	30.85
Mediana (u_m)	30.78
Moda (u_o)	30.72
Varianza (σ^2)	0.20
Desviación estándar (σ)	0.45
Coefficiente de variación (CV)	1.45

Figura 126

Histograma de frecuencias del CC con 20% de E°N° a los 28 días de curado.

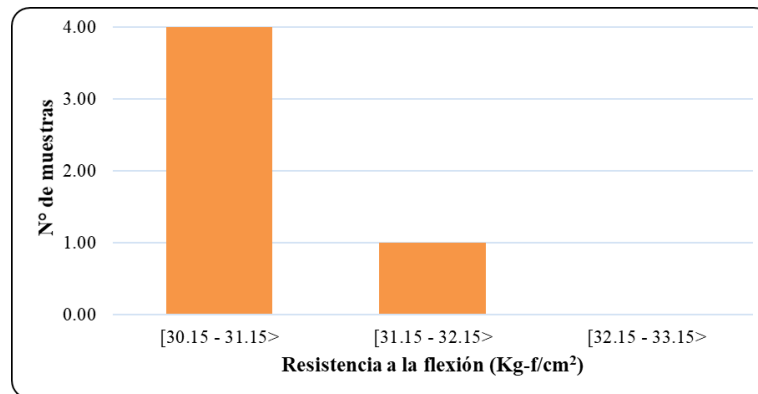
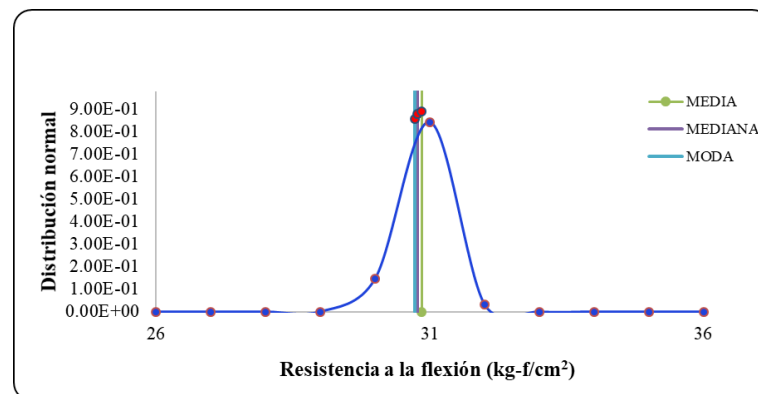


Figura 127

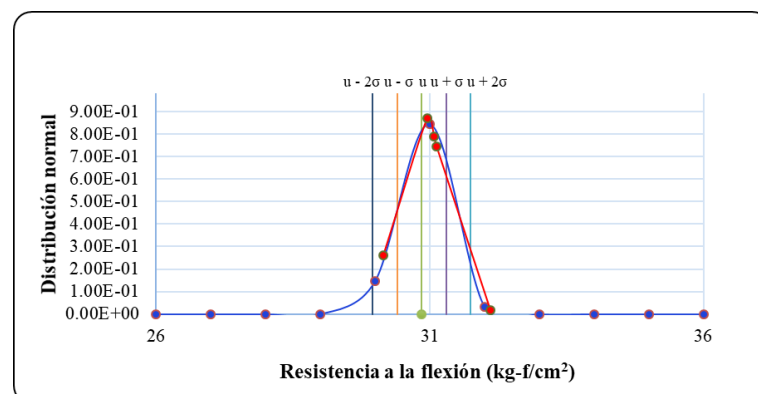
Distribución de campana de Gauss de CC con 20% de E°N° a los 28 días curado.



Nota. La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 128

Distribución normal del CC con 20% de E°N° a los 28 días de curado.



4.10.3.2.4 Evaluación estadístico de resistencia a la flexión del CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Tabla 207

Datos de resistencia a la flexión del CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Muestra	f ^c = (Xi)
CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$	32.37
CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$	34.10
CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$	33.88
CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$	34.79
CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$	33.12

Tabla 208

Cuadro de distribución de frecuencias del CC+30% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	(Xi-u) ²	fi.(Xi-u) ²
[32.37 33.37 >	32.87	2.00	2.00	65.74	-0.80	0.64	1.28
[33.37 34.37 >	33.87	2.00	4.00	67.74	0.20	0.04	0.08
[34.37 35.37 >	34.87	1.00	5.00	34.87	1.20	1.44	1.44
	5.00			168.35		2.12	2.80

Tabla 209

Medidas de centralización y dispersión del CC con 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	5.00
Rango de datos (Rx)	2.42
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	1.00
Media (u)	33.67
Mediana (u _m)	33.62
Moda (u _o)	33.37
Varianza (σ^2)	0.70
Desviación estándar (σ)	0.84
Coficiente de variación (CV)	2.48

Figura 129

Histograma de frecuencias del CC con 30% de E°N° a los 28 días de curado.

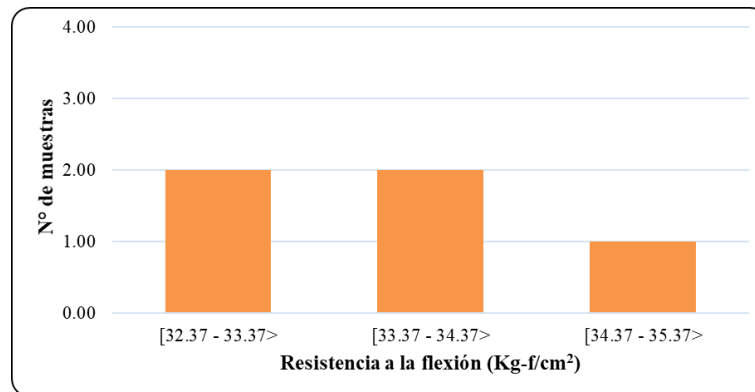
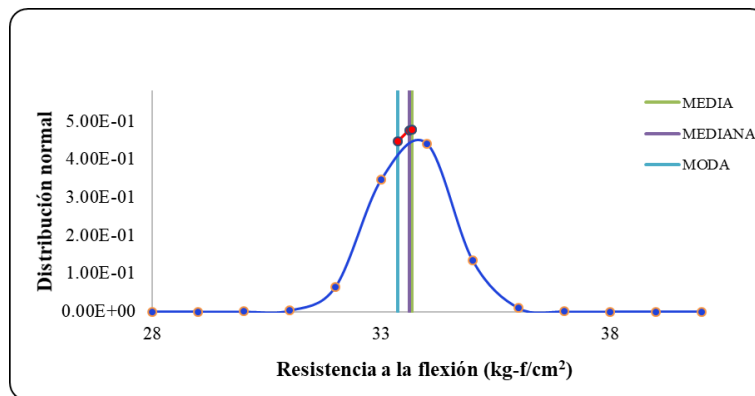


Figura 130

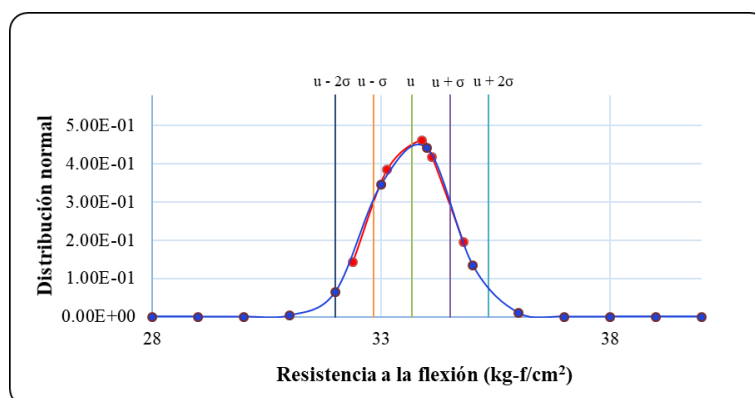
Distribución de campana de Gauss de CC con 30% de E°N° a los 28 días curado.



Nota: La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 131

Distribución normal del CC con 30% de E°N° a los 28 días de curado.



4.10.3.2.5 Análisis estadístico de resistencia a la flexión del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Tabla 210

Datos de resistencia a la flexión del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Muestra	$f^{\circ}c= (Xi)$
CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	36.86
CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	39.65
CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	37.44
CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	38.13
CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	37.13

Tabla 211

Cuadro de distribución de frecuencias del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Intervalos de clase	Xi	fi	Fi	fi.Xi	Xi-u	$(Xi-u)^2$	fi.(Xi-u) ²
[36.86 37.86 >	37.36	3.00	3.00	112.08	-0.60	0.36	1.08
[37.86 38.86 >	38.36	1.00	4.00	38.36	0.40	0.16	0.16
[38.86 39.86 >	39.36	1.00	5.00	39.36	1.40	1.96	1.96
	5.00			189.80		2.48	3.20

Tabla 212

Medidas de centralización y dispersión del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$.

Descripción	Resultados
Número de muestras (N)	5.00
Rango de datos (Rx)	2.79
Número de intervalos de clase (K)	3.00
Amplitud o tamaño de intervalos de clase (C)	1.00
Media (u)	37.96
Mediana (u_m)	37.69
Moda (u_o)	37.46
Varianza (σ^2)	0.80
Desviación estándar (σ)	0.89
Coefficiente de variación (CV)	2.36

Figura 132

Histograma de frecuencias del CC con 40% de E°N° a los 28 días de curado.

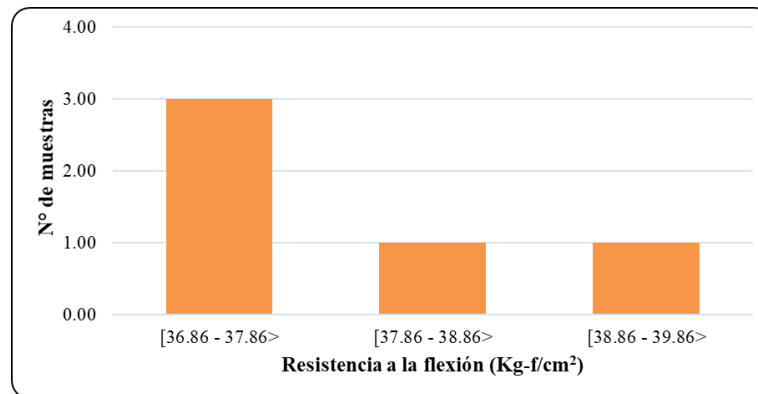
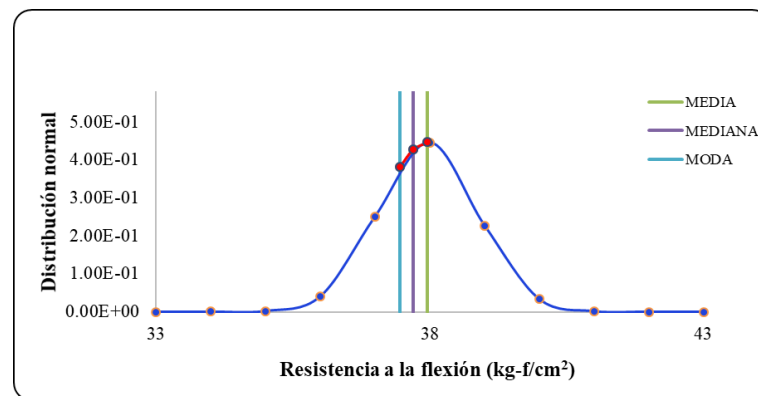


Figura 133

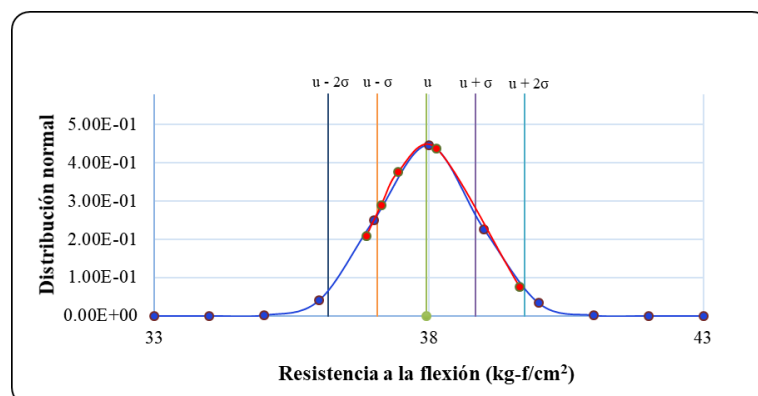
Distribución de campana de Gauss de CC con 40% de E°N° a los 28 días curado.



Nota. La distribución es asimétrica hacia la derecha.

Figura 134

Distribución normal del CC con 40% de E°N° a los 28 días de curado.



4.10.3.3 Comprobación de hipótesis de resistencia a la flexión.

Una vez determinado las medidas de centralización, dispersión y de asimetría se procedió a realizar la prueba de hipótesis para tal fin se ha planteado hipótesis nula e hipótesis alternativa, para de tal manera validar o negar las hipótesis planeadas con respecto a la resistencia a la compresión del CC adicionado con E°N° en porcentajes sobre A°G°. Para tal fin se ha utilizado el coeficiente de correlación de pearson y el t de Student.

4.10.3.3.1 Comprobación de hipótesis de resistencia a la flexión de CC con 10% de E°N° a 28 días.

Tabla 213

Resultados estadísticos de CC y CC con 10% de E°N° a los 28 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 10% de E°N°
Número de muestras, n	5.00	5.00
Media, u	26.31	28.39
Varianza, σ^2	0.30	0.80

Se plantea que: u_1 : f'c media del CC; u_2 : f'c media del CC con 10% de E°N°.

Ho: $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_o < -Z$): La adición de E°N° en 10%, no aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Ha: $u_1 < u_2$ Ha unilateral con cola a la izquierda: La adición de E°N° en 10%, aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Teniendo en cuenta que: $\alpha = 0.05$; y la confiabilidad del 95% $Z = 1.645$ (ver anexo U) y $Z_o = -4.43$.

Decisión: Se refuta: Ho y se admite Ha: $u_1 < u_2$, debido que: ($Z_o < -Z$) ó ($-4.43 < -1.645$) es verdadera, entonces se refuta Ho: $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de E°N° en 10%, aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

4.10.3.3.2 Comprobación de hipótesis de resistencia a la flexión de CC con 20% de E°N° a 28 días.

Tabla 214

Resultados estadísticos de CC y CC con 20% de E°N° a los 28 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 20% de E°N°
Número de muestras, n	5.00	5.00
Media, u	26.31	30.85
Varianza, σ^2	0.30	0.20

Se plantea que: u_1 : f°c media del CC y u_2 : f°c media del CC con 20% de E°N°.

Ho: $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_0 < -Z$): La adición de E°N° en 20%, no aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Ha: $u_1 < u_2$ Ha unilateral con cola a la izquierda: La adición de E°N° en 20%, aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Es necesario precisar que $\alpha = 0.05$ y $Z = 1.645$ son constantes y por lo tanto $Z_0 = 14.36$.

Decisión: Se refuta: Ho y se admite Ha: $u_1 < u_2$, debido que: ($Z_0 < -Z$) ó ($-14.36 < -1.645$) es verdadera, entonces se refuta Ho: $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de E°N° en 20%, aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

4.10.3.3.3 Comprobación de hipótesis de resistencia a la flexión de CC con 30% de E°N° a 28 días.

Tabla 215

Resultados estadísticos de CC y CC con 30% de E°N° a los 28 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC+30% de E°N°
Número de muestras, n	5.00	5.00
Media, u	26.31	33.67
Varianza, σ^2	0.30	0.70

Se plantea que: u_1 : f'c media del CC; u_2 : f'c media del CC con 30% de E°N°.

Ho: $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_0 < -Z$): La adición de E°N° en 30%, no aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Ha: $u_1 < u_2$ Ha unilateral con cola a la izquierda: La adición de E°N° en 30%, aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Es menester precisar que $\alpha = 0.05$ y $Z = 1.645$ son constantes y por lo tanto $Z_0 = -16.46$.

Decisión: Se refuta: Ho y se admite Ha: $u_1 < u_2$, debido que: ($Z_0 < -Z$) ó (-16.46 < -1.645) es verdadera, entonces se refuta Ho: $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de E°N° en 30%, aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

4.10.3.3.4 Comprobación de hipótesis de resistencia a la flexión de CC con 40% de E°N° a 28 días.

Tabla 216

Resultados estadísticos de CC y CC con 40% de E°N° a los 28 días.

Descripción	Muestra patrón	Muestra comparada
	CC	CC con 40% de E°N°
Número de muestras, n	5.00	5.00
Media, u	26.31	37.96
Varianza, σ^2	0.30	0.80

Se plantea que: u_1 : f'c media del CC y u_2 : f'c media del CC con 40% de E°N°.

Ho: $u_1 \geq u_2$ Se refuta si: ($Z_0 < -Z$): La adición de E°N° en 40%, no aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Ha: $u_1 < u_2$ Ha unilateral con cola a la izquierda: La adición de E°N° en 40%, aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Es menester precisar que $\alpha = 0.05$ y $Z = 1.645$ son constantes y por lo tanto $Z_0 = -24.84$.

Decisión: Se refuta: H_0 y se admite H_a : $u_1 < u_2$, debido que: $(Z_0 < -Z)$ ó $(-24.84 < -1.645)$ es verdadera, entonces se refuta H_0 : $u_1 \geq u_2$; se concluye que la adición de $E^\circ N^\circ$ en 40%, aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

4.10.3.4 Evaluación estadístico y comprobación de hipótesis con t de Student

El estudio estadístico se ha realizado a los cinco grupos de control de los resultados del ensayo a flexión de las viguetas prismáticas, cada grupo de control está conformado por cinco viguetas, una vez determinado las medidas de centralización específicamente la media, varianza y desviación estándar se ha procedido a evaluar la comprobación de hipótesis utilizando la prueba t para admitir o refutar la hipótesis nula y alternativa.

4.10.3.4.1 Evaluación estadístico de resistencia a la flexión de CC con 10% de $E^\circ N^\circ$ a los 28 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia al esfuerzo de flexión a los veintiocho días se ha evaluado el resultado de tres viguetas del CC y tres viguetas del CC con 10% de $E^\circ N^\circ$, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p).

Tabla 217

Evaluación estadístico de resistencia a flexión a los 28 días del CC.

Muestra	$f'c = (X_i)$	$X_i - u$	$(X_i - u)^2$
CC-01	27.32	1.02	1.04
CC-02	25.91	-0.39	0.15
CC-03	27.39	1.09	1.18
CC-04	25.48	-0.82	0.68
CC-05	25.41	-0.89	0.80

Nota: Los datos de la presente tabla también se va utilizar para el análisis estadístico del concreto con 20, 30 y 40% de $E^\circ N^\circ$ debido que el análisis estadístico de resistencia al esfuerzo de flexión del CC no varía.

$$n = 5.00 \text{ y } \sum X_i = 131.51$$

Con la aplicación de la ecuación 11.

$$u = 26.30 \text{ y } \sum (X_i - u)^2 = 3.85$$

Con la aplicación de la ecuación 12.

$$\sigma = 0.98$$

Tabla 218

Evaluación estadístico de resistencia a flexión a los 28 días del CC con 10% de E°N°.

Muestra	f°c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 10% de E°N°	27.56	-0.70	0.48
CC con 10% de E°N°	28.67	0.41	0.17
CC con 10% de E°N°	30.19	1.93	3.74
CC con 10% de E°N°	26.99	-1.27	1.60
CC con 10% de E°N°	27.87	-0.39	0.15

Nota: $n = 5.00$; $\sum X_i = 141.28$; $u = 28.26$; $\sum (X_i - u)^2 = 6.15$ y $\sigma = 1.24$.

4.10.3.4.2 Comprobación de hipótesis de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 10% de E°N° a los 28 días.

Una vez calculado las medidas de centralización como la u , σ^2 y σ tanto de los resultados de la resistencia a la flexión a los veintiocho días del CC y CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N° se procedió a realizar la validación de la comprobación de hipótesis con la prueba t de Student, para tal fin se ha calculado el estadístico t (t_p) para compararlo con t_{α} de esa manera refutar o admitir la hipótesis nula (H_0).

Tabla 219

Variabes para comprobar la hipótesis de resistencia a flexión a los 28 días.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 10% de E°N°
Número de muestras (n)	5.00	5.00
Media (u)	26.30	28.26
Desviación estándar (σ)	0.98	1.24

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado los valores de: $\sigma_p = 0.40$; $t_p = -3.13$; G.L = 8 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

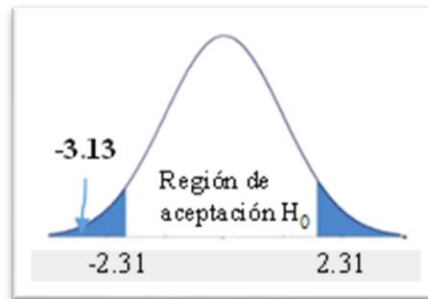
Que el CC tiene una resistencia a la flexión menor en comparación al CC con adición de 10% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 28 días.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 10% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Figura 135

Gráfico del estadístico t para la resistencia a flexión con 10% de E°N° a los 28 días.



Nota: $t_\alpha = 1.860$; $t_p < t_\alpha$; $-3.13 < 1.860$

Se admite H_0 si: $t_p < t_\alpha$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_\alpha$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_\alpha$; $-3.13 < 1.860$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la flexión menor en comparación al CC con adición de 10% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 28 días.

4.10.3.4.3 Evaluación estadístico de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 20% de E°N° a los 28 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia a flexión a los veintiocho días se ha evaluado el resultado de tres viguetas del CC y tres viguetas del CC con 20% de E°N°, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p).

Tabla 220

Evaluación estadístico de resistencia a flexión a los 28 días del CC con 20% de E°N°.

Muestra	f'c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 20% de E°N°	30.15	-0.93	0.86
CC con 20% de E°N°	32.10	1.02	1.04
CC con 20% de E°N°	30.95	-0.13	0.02
CC con 20% de E°N°	31.12	0.04	0.00
CC con 20% de E°N°	31.07	-0.01	0.00

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado: $n = 5$; $\sum Xi = 155.39$; $u = 31.08$; $\sum (Xi - u)^2 = 1.92$ y $\sigma = 0.69$.

4.10.3.4.4 Comprobación de hipótesis de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 20% de E°N° a los 28 días

Tabla 221

Variabes para comprobar la hipótesis de resistencia a flexión a los 28 días.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 20% de E°N°
Número de muestras (n)	5.00	5.00
Media (u)	26.30	31.08
Desviación estándar (σ)	0.98	0.69

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado los valores de: $\sigma_p = 0.30$; $t_p = -10.06$; G.L = 8 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

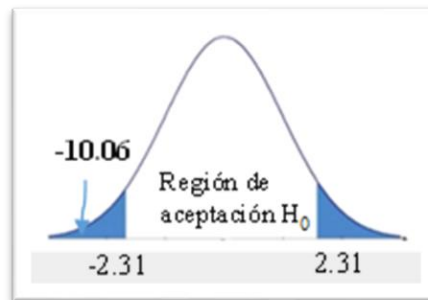
Que el CC tiene una resistencia a la flexión menor en comparación al CC con adición de 20% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 28 días.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 20% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Figura 136

Gráfico del estadístico t para la resistencia a flexión con 20% de E°N° a los 28 días.



Nota: $t_{\alpha} = 1.860$; $t_p < t_{\alpha}$; $-10.06 < 1.860$

Se admite H_0 si: $t_p < t_{\alpha}$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_{\alpha}$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_{\alpha}$; $-10.06 < 1.860$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la flexión menor en comparación al CC con adición de 20% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 28 días.

4.10.3.4.5 Evaluación estadístico de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 30% de E°N° a los 28 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia a flexión a los veintiocho días se ha evaluado el resultado de tres viguetas del CC y tres viguetas del CC con 30% de E°N°, con ellas se ha determinado u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p).

Tabla 222

Evaluación estadístico de resistencia a flexión a los 28 días del CC con 30% de E°N°.

Muestra	f°c= (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 30% de E°N°	32.37	-1.28	1.64
CC con 30% de E°N°	34.10	0.45	0.20
CC con 30% de E°N°	33.88	0.23	0.05
CC con 30% de E°N°	34.79	1.14	1.30
CC con 30% de E°N°	33.12	-0.53	0.28

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado: $n = 5$; $\sum Xi = 168.26$; $u = 33.65$; $\sum (Xi - u)^2 = 3.47$ y $\sigma = 0.93$.

4.10.3.4.6 Comprobación de hipótesis de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 30% de E°N° a los 28 días.

Tabla 223

Variabes para comprobar la hipótesis de resistencia a flexión a los 28 días.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 30% de E°N°
Número de muestras (n)	5.00	5.00
Media (u)	26.30	33.65
Desviación estándar (σ)	0.98	0.93

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado los valores de: $\sigma_p = 0.34$; $t_p = -13.75$; G.L = 8 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

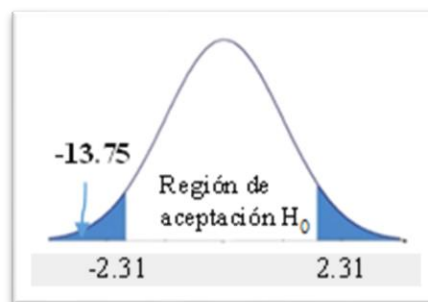
Que el CC tiene una resistencia a la flexión menor en comparación al CC con adición de 30% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 28 días.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 30% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Figura 137

Gráfico del estadístico t para la resistencia a flexión con 30% de E°N° a los 28 días.



Nota: $t_\alpha = 1.860$; $t_p < t_\alpha$; $-13.75 < 1.860$

Se admite H_0 si: $t_p < t_\alpha$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_\alpha$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_{\alpha}$; $-13.75 < 1.860$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la flexión menor en comparación al CC con adición de 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$ sobre porcentajes del $A^{\circ}G^{\circ}$ a los 28 días.

4.10.3.4.7 Evaluación estadístico de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Para el estudio estadístico de la resistencia a flexión a los veintiocho días se ha evaluado el resultado de tres viguetas del CC y tres viguetas del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$, con ellas se ha determinado la u , σ^2 y σ que son necesarios para determinar el estadístico t (t_p).

Tabla 224

Evaluación estadístico de resistencia a flexión a los 28 días del CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$.

Muestra	f'c = (Xi)	Xi - u	(Xi - u) ²
CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	36.86	-0.98	0.96
CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	39.65	1.81	3.27
CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	37.44	-0.40	0.16
CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	38.13	0.29	0.08
CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$	37.13	-0.71	0.51

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado: $n = 5$; $\sum Xi = 189.21$; $u = 37.84$; $\sum (Xi - u)^2 = 4.98$ y $\sigma = 1.12$.

4.10.3.4.8 Comprobación de hipótesis de resistencia al esfuerzo de flexión de CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ a los 28 días.

Tabla 225

Variables para comprobar la hipótesis de resistencia a flexión a los 28 días.

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	CC	CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$
Número de muestras (n)	5.00	5.00
Media (u)	26.30	37.84
Desviación estándar (σ)	0.98	1.12

Nota: Con los resultados de la tabla se ha determinado los valores de: $\sigma_p = 0.37$; $t_p = -19.65$; G.L = 8 y con $\alpha = 0.05$.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

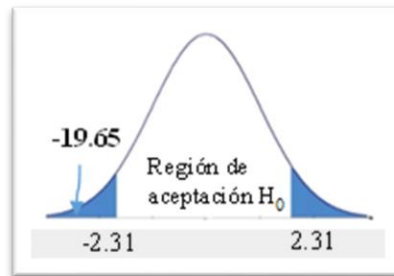
Que el CC tiene una resistencia a la flexión menor en comparación al CC con adición de 40% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 28 días.

$$H_a: u_1 > u_2$$

La adición de E°N° en 40% sobre porcentajes del A°G°, aumenta la resistencia a la flexión del CC a los 28 días.

Figura 138

Gráfico del estadístico t para la resistencia a flexión con 40% de E°N° a los 28 días.



Nota: $t_\alpha = 1.860$; $t_p < t_\alpha$; $-19.65 < 1.860$

Se admite H_0 si: $t_p < t_\alpha$ y se refuta H_0 si: $t_p > t_\alpha$

Decisión: Puesto que: $t_p < t_\alpha$; $-19.65 < 1.860$, se admite H_0 , lo que implica que el CC tiene una resistencia a la flexión menor en comparación al CC con adición de 40% de E°N° sobre porcentajes del A°G° a los 28 días.

4.11 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESPESOR DE PAVIMENTO CON Y SIN ADICIÓN DE E°N°

Los resultados de los espesores de la losa de pavimento rígido calculados por AASHTO 93, para todos los grupos de control CC, CC con 10%, 20%, 30% y 40% de E°N°, para un periodo de diseño de 25 años, se describen y se cuantificaron en la tabla 65 y en la figura 42 (véase pág. 170) del capítulo III de la presente investigación. Es por ello verificando los resultados obtenidos se infiere con certeza que la adición de E°N° en el CC reduce el espesor la losa del pavimento rígido el mismo varía desde un 20.51 cm



hasta un 16.24 cm respecto a concreto convencional esto según la cantidad de adición $E^{\circ}N^{\circ}$, por tanto, la reducción del espesor del pavimento rígido ha disminuido en 2” aproximadamente.

La razón de que a mayor adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ disminuye el espesor de la carpeta de rodadura del pavimento rígido, es porque la resistencia a flexión (módulo de ruptura) (véase tabla 196) del CC es de 26.30 kg/cm² y el módulo de ruptura de CC con 40% de $E^{\circ}N^{\circ}$ es de 37.84 kg/cm², por tanto se afirma que a mayor valor de la resistencia a la flexión (módulo de ruptura) de un concreto, el espesor de la losa del pavimento disminuye; es decir a mayor resistencia de flexión menor espesor de la carpeta de rodadura. Los resultados obtenidos son concordantes con las investigaciones precedentes a esta, las cuales son: Isidro, (2018, p. 174) y Humpiri (2023, p. 79) que han adicionado fibra de acero SIKA y fibras de acero FF1 al concreto convencional respectivamente, en donde concluyen al unísono que la adición de fibras de acero (SIKA FIBER CHO 80-60 NB) y las fibras de acero FF1 en el CC reduce el espesor de la losa. Se ha tomado como sustento las mencionadas investigaciones científicas debido a la similitud que se tiene con la presente investigación ya que en la presente se adicionado $E^{\circ}N^{\circ}$ provenientes de industrias siderúrgicas.

Con respecto al espesor optimo o ideal de la losa, verificando los resultados de la trabajabilidad, densidad y resistencia a la flexión del CC con y sin adición de $E^{\circ}N^{\circ}$ en porcentajes de 10, 20, 30 y 40% respectivamente véase tablas 83, 94 y 196, se tiene que con adición de 30% de $E^{\circ}N^{\circ}$ la trabajabilidad es de 1.50”, por tanto es poco trabajable, pero este problema se soluciona al utilizar aditivos plastificantes que van a mejorar la trabajabilidad, además de que la densidad del mencionado concreto es de 2440.76 kg/m³ (véase tabla 94) este valor está dentro de los límites de un concreto liviano o normal y su resistencia a la flexión de 33.65 Kg/cm² con este resultado se obtiene un espesor de

losa de 17.56 cm logrando una disminución 1". de espesor de losa con respecto CC. Por otro lado, se ha descartado utilizar la adición de 40% de E°N° debido a que su trabajabilidad es de 1" y ya no es trabajable y no se puede salvar este problema al utilizar aditivos plastificantes, además su densidad es 2452.37 kg/cm³ por lo tanto y tiende a ser ya un concreto pesado y finalmente no se ha considerado como óptimo la adición de 10 y 20% E°N° debido que la resistencia a la flexión no varía significativamente con respecto al CC (véase tabla 196), por tanto, la variación del espesor de la losa con los porcentajes mencionados no es considerable con respecto al CC.

4.12 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE C.U DEL PAVIMENTO SIN Y CON ADICIÓN DE E°N°

Calculados los espesores de la carpeta de rodadura por AASHTO 93 para un pavimento rígido con concreto convencional y con adición de 10, 20, 30 y 40% de E°N° respectivamente, se realizó el análisis C.U. por m³ para el CC con y sin adición de E°N° en los porcentajes ya mencionados, las mismas se describen el procedimiento en el capítulo III y cuyos resultados están en las tablas 66, 67, 68, 69 y 70, no obstante, en la tabla 226 y figura 139 se presentan el resumen comparativo de C.U. por m³ para CC.

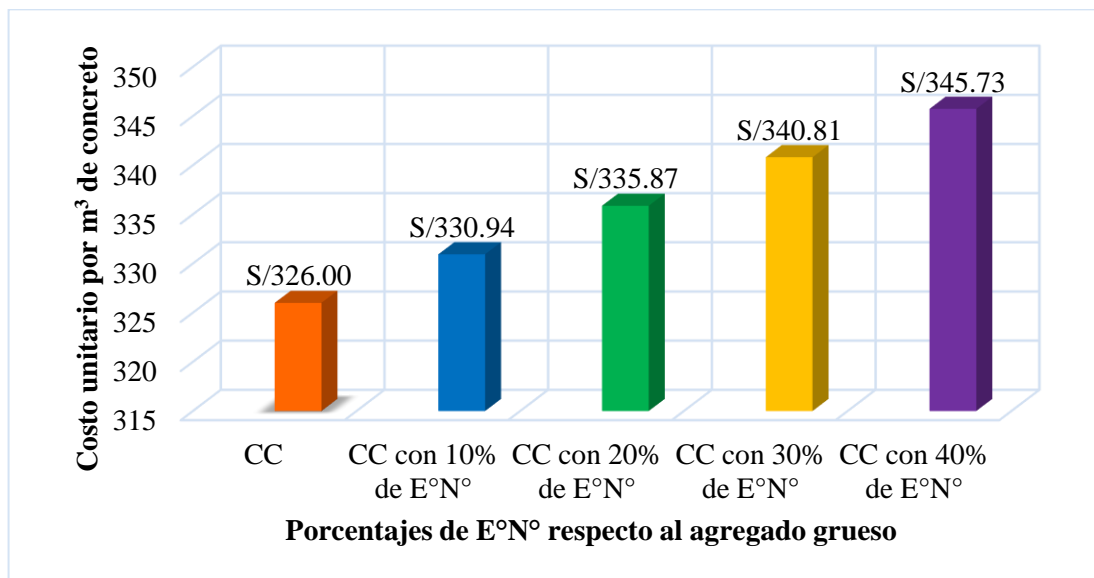
Tabla 226

Cuadro resumen comparativo de C.U por un m³ para CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄.

Costo por 1 m ³ de losa para un periodo de diseño de 25 años			
Descripción	Unidad	P.U	Diferencia con respecto al CC
C.U para CC	m ³	S/ 326.00	-
C.U para CC con 10% de E°N°	m ³	S/ 330.94	S/ 4.94
C.U para CC con 20% de E°N°	m ³	S/ 335.87	S/ 9.87
C.U para CC con 30% de E°N°	m ³	S/ 340.81	S/ 14.81
C.U para CC con 40% de E°N°	m ³	S/ 345.73	S/ 19.73

Figura 139

Análisis comparativo de la variación de CU por m³ de CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄.



Acto seguido se procedió a determinar los costos unitarios por m² para pavimento rígido sin y con adición de E°N° para un periodo de diseño de 25 años, cuya descripción del procedimiento se cuantificaron y se describen en las tablas 71, 72, 73, 74 y 75 (véase capítulo III). De las mencionadas tablas en el párrafo precedente se presentan en la tabla 227 y figura 140 resumen y comparativa de los costos por m² tanto para CC y CC con adición de E°N°

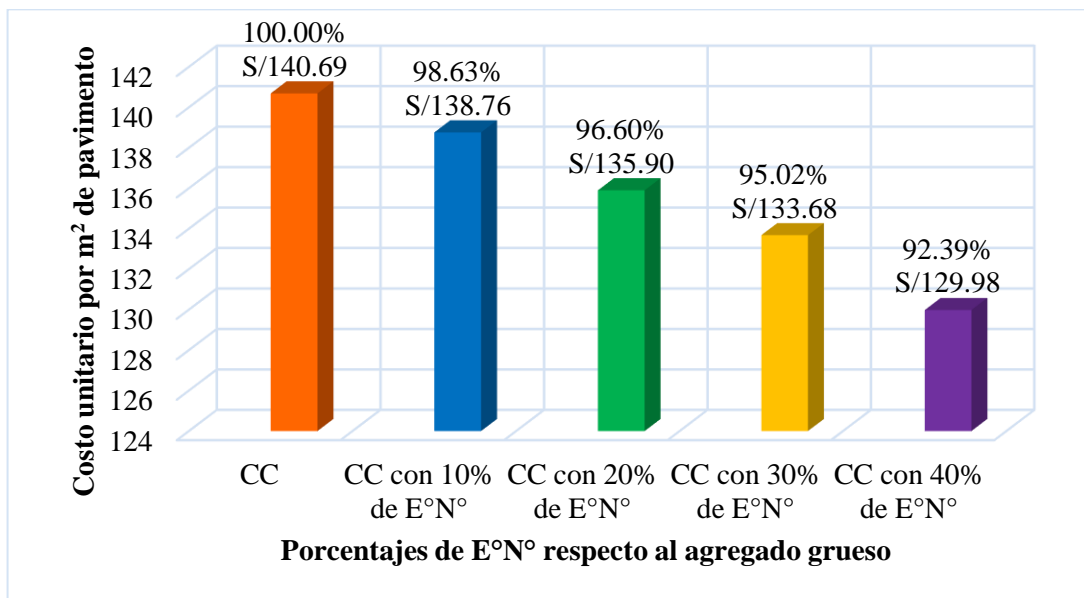
Tabla 227

Resumen comparativo de C.U por un metro cuadrado para CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄.

Costo por 1 m ² de losa para un periodo de diseño de 25 años			
Descripción	Unidad	P.U	Diferencia con respecto al CC
C.U para CC	m ²	S/ 140.69	-
C.U para CC con 10% de E°N°	m ²	S/ 138.76	S/ 1.93
C.U para CC con 20% de E°N°	m ²	S/ 135.90	S/ 4.79
C.U para CC con 30% de E°N°	m ²	S/ 133.68	S/ 7.01
C.U para CC con 40% de E°N°	m ²	S/ 129.98	S/ 10.71

Figura 140

Análisis comparativo de variación de CU por m² de CC, CC₁, CC₂, CC₃ y CC₄.



Ahora bien, conforme que se aprecia en la tabla 226, el C.U del concreto por m³ varia en la medida que se aumenta la E°N° en porcentajes, es decir a mayor adición de este material para la preparación de un m³ de concreto el costo de este aumenta, en el presente caso un m³ de CC cuesta S/ 326.00 y un 1.00 m³ de CC con 40% cuesta S/ 345.73, cuya diferencia es de S/ 19.73, por otro lado en contraste al analizar los C.U. por metro cuadrado de losa para un periodo de diseño de 25 años de pavimento rígido disminuye el costo a medida que se adiciona E°N° en porcentajes, tal como se aprecia en la tabla 227.

En líneas generales un m³ de CC y un CC con 40% de E°N° cuestan S/ 326.00 y 345.73 y un m² de losa cuesta S/ 140.69 y 129.98 respectivamente, esta contradicción de resultados se debe a la influencia del espesor del pavimento, ya que al adicionar 40% de E°N° al CC se obtuvo un espesor de losa igual a 16.24 cm equivalente 6 ½” disminuyendo en un 1 ½” con respecto al CC; por las consideraciones expuestas se afirma que conforme que disminuye el espesor de la losa del pavimento rígido disminuye el costo de ejecución, además es menester precisar que la variación de costos por m² de losa de pavimento no

es significativo debido de que la diferencia de costos entre CC y CC con 40% de E°N° es de S/ 10.71.

Por otro lado, como ya se ha determinado el espesor óptimo para una losa de pavimento que es igual a 17.56 cm equivalente a 7 pulgadas (véase pág. 303 - 304) que se obtiene con la adición de 30% de E°N° sobre porcentajes del A°G°, además el espesor que se obtuvo para un CC es de 20.51 cm equivalente a 8 pulgadas (véase tabla 65); por eso en la tabla 228 se presentan la variación de los espesores, costos por m³ de concreto y metro cuadrado de losa tanto del CC y de CC con 30% de E°N° este último representa el espesor óptimo para un pavimento rígido con concreto adicionado con E°N° sobre porcentajes de A°G°.

Después de analizar la comparación de costos unitarios para la elaboración de un CC y para un concreto con 10%, 20%, 30%, y 40% de E°N° respectivamente en un metro cuadrado de pavimento rígido con un periodo de diseño de 25 años en la ciudad de Puno; la variación de costos disminuye de manera no muy significativa debido que para la elaboración de un metro cuadrado de la losa de pavimento rígido con CC y con la adición de 30% de E°N° que representa el espesor óptimo la diferencia de costos es solo de 7.01 soles que representa una variación de 4.98% con respecto al CC por tanto se infiere que la variación no es significativa entonces se llega a la conclusión que si existe una variación relativa por metro cuadrado de la losa de pavimento entre un concreto adicionado con E°N° y CC.

Tabla 228

Comparación de espesor de losa para CC y CC con 30% de E°N° (espesor óptimo).

Descripción	Unidad	Espesor	Precio unitario por m³ de concreto	Precio unitario por m² de losa
CC	cm	8.00	326.00	140.69
CC con 30% de E°N°	cm	7.00	340.81	133.68



4.13 CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

4.13.1 Cumplimiento del primer objetivo específico planteado

Con respecto al primer objetivo específico planteado que es analizar la influencia de la adición de E°N° sobre porcentajes del A°G°, en la resistencia a la compresión simple y flexión del CC, primeramente se ha determinado los materiales a utilizarse para la elaboración del concreto las cuales fueron cemento Rumi de 42.5 kg cuyas características se describen en la tabla 1, agregados de la cantera Cutimbo de la ciudad de Puno cuyas propiedades y características se describen en la tabla 15 y figuras 11 y 12 (véase paginas 98-101) y E°N° proveniente de la planta siderúrgica denominado Aceros Arequipa S.A ubicado en la ciudad de Pisco región Ica, ver tabla 16 y figuras 13, 14 y 15. Para analizar la resistencia a la compresión y flexión tanto del CC y CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N° respectivamente se realizó 45 probetas cilíndricas y 25 viguetas prismáticas consistente en cinco grupos de prueba de control conformado cada grupo por nueve probetas cilíndricas y cinco viguetas prismáticas. Previo a la elaboración de las probetas y viguetas mencionadas se han realizado los ensayos de w (%), peso específico y absorción; peso unitario suelto y compactado y análisis granulométrico tanto al agregado grueso, fino y E°N°, respectivamente (véase capítulo III). Con los datos obtenidos de los ensayos mencionados se ha realizado la dosificación de mezclas por el método ACI 211 para determinar la relación a/c , cantidad de los agregados y E°N°, para CC y CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N°, respectivamente; cuyos resultados se cuantifican en las tablas 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51 y 52.

Una vez determinado la dosificación de mezcla por el método ACI 211 se procedió a elaborar las 45 probetas cilíndricas y 25 viguetas prismáticas y se ha realizado el proceso de curado correspondiente; las probetas cilíndricas se han sometido al ensayo de compresión según norma NTP 034 y ASTM C39 a los 7, 14 y 28 días de curado



respectivamente y se alcanzaron resistencias promedio a los 28 días 214.30 kg/cm^2 para CC, 219.68 kg/cm^2 para CC con 10% de E°N°; 224.32 kg/cm^2 para CC con 20% de E°N°; 230.86 kg/cm^2 para CC con 30% de E°N°; y 243.52 kg/cm^2 para CC con 40% de E°N°. (ver tabla 107, pág. 211) existiendo un incremento promedio de 13.91 % con respecto al CC (ver figuras 58, 59 y 60, pág. 208-210), los mencionados resultados se analizaron estadísticamente tanto los resultados del ensayo a compresión y flexión, calculando las medidas de centralización, cuadro de frecuencias, histograma de frecuencias, se calculó las medidas de dispersión y asimetría, distribución normal y finalmente se evaluado la comprobación de hipótesis con correlación de pearson y t de Student llegando a la conclusión de que se rechaza la H_0 y alternativa. Por tanto, el concreto con adición de E°N° sobre % del A°G° es más resistente a compresión que el CC.

Con relación a la resistencia a flexión de las 25 viguetas prismáticas se han sometido al ensayo de flexión según norma NTP 339.079 y ASTM C 293-02 a L/2 de la luz de viga a los 28 días de curado cuyos resultados son: 26.30 kg/cm^2 para CC, 28.26 kg/cm^2 para CC con 10% de E°N°, 31.08 kg/cm^2 para CC con 20% de E°N°, 33.65 kg/cm^2 para CC con 30% de E°N° y 37.84 kg/cm^2 para CC con 40% de E°N° (ver tabla 196, pág. 277) existiendo un incremento promedio de 43.88% con respecto al CC (ver figura 119, pág. 279). Por tanto, se puede afirmar con certeza que ha mayor adición de E°N° aumenta significativamente la resistencia a flexión del CC con 10, 20, 30, y 40% de E°N° con respecto a CC. Es menester precisar que el objetivo específico mencionado para validar la primera hipótesis planteada fue comprobado por la prueba de hipótesis tanto por distribución normal y la prueba t llegando a una conclusión concordante en donde se acepta que el concreto con adición de E°N° sobre porcentajes del agregado grueso es más resistente a compresión y flexión que el CC.



4.13.2 Cumplimiento del segundo objetivo específico planteado

Con respecto al segundo objetivo específico que es determinar la influencia de la adición de E°N° en la trabajabilidad del CC fresco se ha evaluado 15 pruebas de Slump conformados en cinco grupos de prueba de control, tres pruebas para CC, tres para CC con 10% de E°N°, tres para CC con 20% de E°N°, tres para CC con 30% de E°N° y tres para CC con 40% de E°N° cuyos resultados se describen en la tabla 83, pág. 188, por tanto se concluye que la trabajabilidad del CC es de 3.6 pulgadas, no obstante, la trabajabilidad para una mezcla de concreto de CC con 40% de E°N° es de una pulgada es decir la trabajabilidad se reduce drásticamente con respecto al CC en un 75%, ahora bien, con las adiciones de E°N° en 10%, 20% y 30%, también se reduce el asentamiento a 16.67%, 38.89% y 58.33% respecto al CC. (ver figura 49, pág. 188), la prueba de hipótesis de este objetivo se ha evaluado con la prueba t de Student llegándose a la conclusión que el valor de asentamiento del concreto fresco disminuye al aumentar E°N° sobre porcentajes del agregado grueso, es decir, a mayor adición del material mencionado en el CC menor trabajabilidad. Por tanto, se ha cumplido íntegramente con determinar la trabajabilidad del CC con y sin adición de E°N° en estado fresco según NTP 339.035 y ASTM C 43.

4.13.3 Cumplimiento del tercer objetivo específico planteado

En cuanto al tercer objetivo específico que es determinar la densidad del concreto a diferentes porcentajes con adición E°N° en el CC se ha evaluado 15 probetas cilíndricas consistentes en cinco grupos de prueba de CC y CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N° en estado endurecido las mismas se han calculado su peso unitario correspondiente y sus respectivas medidas de altura y diámetro con los datos obtenidos se calculó las densidades (ver tabla 94). La densidad promedio del CC es 2402.66 kg/m³ y para concreto con 10, 20, 30 y 40% de E°N° la densidad es 2416.88 kg/m³, 2428.45 kg/m³, 2440.76 kg/m³ y



2452.37 kg/m³ respectivamente a los 28 días, habiendo una diferencia entre CC y CC con 40% de E°N° de 49.71 kg/m³ equivalente 2.07% con respecto al CC (ver figura 54, pág. 199). Es necesario precisar que para determinar la densidad de un concreto también se puede determinar cuando esta se encuentra en estado fresco, la misma se calcula determinando el peso del molde cilíndrico vacío acto seguido se determina el peso del molde cilíndrico más el contenido de la mezcla de concreto, con estos dos datos se calcula el volumen de concreto fresco a partir de ella se calcula la densidad del concreto; en la presente investigación se ha visto por conveniente no utilizar el método mencionado debido que hay la posibilidad que existan burbujas de aire al momento de determinar el volumen de la mezcla además de que hay derrame de la mezcla que se adhiere al molde y por tanto el peso de esto varia como consecuencia la determinación de la densidad no es exacta. La prueba de hipótesis para este objetivo se ha evaluado con la prueba t de Student, en donde se ha determinado el estadístico t (t_p) para luego compararla con la tabla estadístico de Student (t_α) de esa manera rechazar o aceptar la hipótesis nula y alternativa, llegándose a la conclusión que a mayor porcentaje de adición de la E°N° en CC aumenta la densidad en estado endurecido.

4.13.4 Cumplimiento del cuarto objetivo específico planteado

Con lo que respecta al cuarto objetivo específico que es determinar la influencia de la adición de E°N° en el diseño del espesor del pavimento rígido con CC; para cumplimiento de este objetivo se ha utilizado el método de diseño AASHTO 93 para determinar el espesor de la carpeta de rodadura del pavimento para un CC y para un concreto con adición de E°N°, el periodo de diseño fue de 25 años. Un factor determinante para el diseño de espesor de losa de concreto para pavimento rígido con AASHTO 93 es el módulo de rotura del concreto que es nada más ni nada menos es la resistencia a la tracción por flexión la misma se ha determinado en la presente investigación (ver tabla



196), es decir el módulo de rotura se ha obtenido del ensayo de resistencia a flexión ya que es el primer objetivo de esta investigación además es necesario añadir que el módulo de rotura no solamente se utiliza como dato determinante para calcular el espesor de la losa del pavimento rígido por AASHTO 93 sino también se usa en el método de diseño PCA. Los espesores calculados para una losa de pavimento rígido con CC sin y con adición de E^oN^o se describe en la tabla 65 ya que para un CC el espesor obtenido es de 8 pulgadas y para un concreto adicionado con 40% de E^oN^o es 6.5 pulgadas no obstante se ha determinado el espesor óptimo teniendo en consideración el módulo de rotura, trabajabilidad y densidad la misma se obtiene con la adición de 30% de E^oN^o sobre porcentajes del agregado grueso al CC. Por las consideraciones expuestas a mayor adición de E^oN^o en el CC disminución espesor del pavimento rígido.

4.13.5 Cumplimiento del quinto objetivo específico planteado

Finalmente, respecto al cumplimiento del quinto objetivo específico que es comparar la variación de costos unitarios por m² de losa con concreto adicionado con E^oN^o y CC de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en pavimentos rígidos. Para esta finalidad se ha analizado los costos unitarios tanto de MO, equipos y materiales necesarios para la construcción de un metro cuadrado de losa de pavimento rígido ya sea con CC y para CC con 10, 20, 30 y 40% de E^oN^o. Por eso se ha analizado el costo unitario de un m³ de CC y del CC con 10, 20, 30 y 40% de E^oN^o cuyos resultados se describen en las tablas 66, 67, 68, 69 y 70 respectivamente, acto seguido se ha analizado el costo unitario para un metro cuadrado de pavimento rígido para ello se han considerado las partidas de encofrado y desencofrado, costo del concreto con y sin adición de E^oN^o por m³, juntas contracción, sellado con emulsión asfáltica y trabajos de acabado semipulido y curado de concreto (véase tablas 71, 72, 73, 74 y 75). Como se aprecia en la tabla 226 el costo unitario por 1 m³ de concreto aumenta a medida que se adiciona el material de E^oN^o, pero al realizar el



análisis de costos unitarios por metro cuadrado de losa el costo disminuye de manera no tan significativa a medida que se adiciona E°N° (ver tabla 227) en líneas generales se llega a la conclusión conforme que disminuye el espesor del pavimento rígido el costo unitario de ejecución disminuye de manera no muy significativa (ver figuras 139 y 140).

Después de analizar y evaluar el presente objetivo específico se concluye que el costo de la E°N° es nula debido que este material está en la actualidad acumulado en grandes cantidades en las instalaciones de la planta siderúrgica Aceros Arequipa. Es por eso para el análisis de C.U. se ha considerado el costo de transporte de E°N°.

4.14 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO GENERAL PLANTEADO

Previamente al analizar la influencia de la adición de E°N°, sobre porcentajes del A°G° en las propiedades del CC en pavimentos rígidos; se ha analizado las propiedades del CC y CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N° tanto en estado fresco y endurecido; en estado fresco se ha analizado la trabajabilidad y en estado fraguado se ha analizado la densidad, resistencia a compresión y flexión de los concretos mencionados. Después de analizar y evaluar los objetivos específicos se concluye que al adicionar E°N° en porcentajes en vez del A°G° para un CC cuyo diseño se ha realizado por el método de ACI 211, el mencionado concreto nuevo mejora significativamente la resistencia a compresión y flexión (ver tablas 108, 196) Por tanto, se afirma con certeza que a mayor adición de E°N° aumenta la densidad del concreto y la resistencia a la compresión y flexión; pero disminuye la trabajabilidad del concreto, como también disminuye el espesor de la losa del pavimento y finalmente con respecto a la variación de costos unitarios para un metro cuadrado de losa de pavimento con CC y con adición de E°N° varía relativamente por motivos expuestos se concluye que influye el CC con adición de E°N° sobre porcentajes del agregado grueso tiene propiedades significativamente mejores en comparación con el CC en pavimentos rígidos de la ciudad de Puno.



V. CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIÓN GENERAL

- Se concluye que al adicionar E°N° en porcentajes sobre el agregado grueso para un CC influye positivamente en las propiedades del concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, ya que se ha comprobado que tiene propiedades significativamente mejores en comparación con el CC, ya que mejora significativamente la resistencia al esfuerzo compresión y flexión, aumenta la densidad del concreto; pero disminuye la trabajabilidad de la misma, como también disminuye el espesor de la losa del concreto hidráulico del pavimento rígido y con respecto a la variación de CU de los materiales por m^2 de pavimento con CC y concreto con E°N° disminuye de manera no tan significativa, por tanto la adición de la E°N° influye inversamente sobre el porcentaje del agregado grueso, trabajabilidad, costos unitarios y espesor de la losa del pavimento rígido y directamente proporcional sobre la resistencia a la compresión, flexión y densidad.

5.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

- Se concluye que al someter las probetas cilíndricas y viguetas prismáticas del CC y CC con 10, 20, 30 y 40% de E°N° existen un incremento promedio entre 2.05 a 13.91 % y de 7.73 a 43.88% con respecto al CC respectivamente, y al evaluar la prueba de hipótesis con distribución normal y t de Student se afirma con certeza que la adición de E°N° influye positivamente, ya que a mayor adición del mencionado material aumenta significativamente la resistencia al esfuerzo de compresión y flexión del CC con 10, 20, 30, y 40% de E°N° con respecto a CC.



- Realizado y analizado los ensayos de Slump y evaluado con la prueba t, se concluye que la trabajabilidad del CC es de 3.6 pulgadas, no obstante la trabajabilidad para una mezcla de CC con 40% de E°N° es de una pulgada es decir la trabajabilidad se reduce drásticamente con respecto al CC en un 75%, ahora bien, con las adiciones de E°N° en 10%, 20% y 30%, también se reduce el asentamiento en 16.67%, 38.89% y 58.33% respecto al CC, por lo tanto se afirma con certeza que el valor de asentamiento del concreto fresco disminuye al aumentar E°N° sobre porcentajes del agregado grueso, es decir, a mayor adición del material mencionado en el CC menor trabajabilidad.
- La densidad promedio del CC es 2402.66 kg/m^3 y para concretos con 10, 20, 30 y 40% de E°N° la densidad es 2416.88 kg/m^3 , 2428.45 kg/m^3 , 2440.76 kg/m^3 y 2452.37 kg/m^3 respectivamente a los 28 días de curado, determinándose una diferencia entre CC y CC con 40% de E°N° de 49.71 kg/m^3 equivalente 2.07% con respecto al CC, cuyos resultados al ser evaluados por la prueba t se concluye que la adición de E°N en un CC influye en la densidad ya que a mayor porcentaje de adición de este material aumenta la densidad del concreto en estado endurecido.
- Después de diseñar, verificar y analizar el diseño del espesor de la losa del pavimento rígido por AASHTO 93 para un CC el espesor obtenido es de 8" y para un concreto adicionado con 40% de E°N° es 6.5" no obstante se ha determinado el espesor óptimo teniendo en consideración el módulo de rotura, trabajabilidad y densidad, la misma se obtiene con la adición de 30% de E°N° sobre porcentajes del agregado grueso al CC, con un espesor de 7.0", por estas consideraciones se concluye que a mayor adición de E°N° en el CC de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ disminuye el espesor del pavimento rígido.



- Al comparar la variación de costos unitarios por m^2 de losa para un concreto con 10%, 20%, 30%, y 40% de E°N° respectivamente y CC en pavimentos rígidos; la variación de costos disminuye de manera no muy significativa debido que para la elaboración de un m^2 de la losa de pavimento rígido con CC y con la adición de 30% de E°N° que representa el espesor óptimo la diferencia de costos es solo de S/ 7.01 soles que representa una variación de 4.98% con respecto al CC, en ese entender se concluye que si existe una variación relativa entre 1.34 a 7.61% por m^2 de la losa de pavimento entre un concreto adicionado con E°N° y CC.



VI RECOMENDACIONES

- Del trabajo de investigación se recomienda que el concreto adicionado con un porcentaje de 40% de E°N° como máximo se puede aplicar para pavimentos rígidos y otras obras civiles que requieran concretos con resistencia superiores a 210 kg/cm^2 debido a que estos presentan mayor resistencia a compresión y flexión y es más denso que un CC.
- En base a la presente investigación se recomienda investigar la incorporación de diversos aditivos plastificantes al concreto fresco que mejoren la trabajabilidad del concreto adicionado con E°N° sobre porcentajes del agregado grueso.
- Visto las fallas de las probetas cilíndricas y viguetas prismáticas se pudo apreciar que el concreto adicionado con E°N° evita la propagación de las grietas y es posible que controle la fisuración, por tanto, se recomienda investigar sobre la durabilidad del concreto adicionado con E°N°.
- La E°N° es un pasivo ambiental desechados por la industria siderúrgica, en el sur del país por la corporación Aceros Arequipa S.A. y en aras de salvaguardar y mitigar el medio ambiente se recomienda utilizar en la fabricación de concretos para obras civiles, debido que este residuo industrial mejora las propiedades del concreto como la resistencia a la compresión y flexión y la densidad.
- Se recomienda utilizar la E°N° como sustituto en porcentajes sobre el A°G° para losas de concreto en las instalaciones de infraestructuras de las industrias siderúrgicas en el Perú debido a que se ha demostrado que tiene mayor resistencia a la compresión y flexión y menor costo por metro cuadrado de losa de pavimento rígido.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (1997). *Tecnología del concreto* (Segunda Edición ed., Vol. I). Editorial San Marcos E.I.R.L. Lima - Perú.
- ACI318S/318SR. (2005). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05)*. Michigan, USA: Comité ACI 318.
- Alea, V., Jiménez, E., Muñoz, C., & Viladomiu, N. (2015). *Estadística I (ADE)- Teoría y ejercicios*. Universidad de Barcelona, Facultad de administración y finanzas.
- Alonso, L. C., & Puerto, J. A. (2018). *Desempeño de un concreto hidráulico adicionado con vidrio molido reciclado y EAFS*. Facultad de Ingeniería. Tunja - Colombia.
- Alva, E. A., & Varela, B. R. (2020). *Efectos de residuo de bronce como sustitución del agregado fino en las propiedades del concreto*. Universidad privada Antenor Orrego. Trujillo - Perú.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993* (Vol. I y II).
- Arrendondo, J. E., & Arrendondo, J. L. (2015). *Influencia del aire incorporado, condiciones del curado y evaluación del deterioro del concreto sometidos a congelamiento y deshielo*. Universidad Nacional San Agustín. Arequipa - Perú.
- ASTMC143/C143M-10. (2010). *Método estándar de prueba para determinar el asentamiento del concreto*. New York: ASTM.
- Basson, E. (2022). *Revista de la Asociación Mundial de Acero*. Belgica: worldsteel.org/publications/bookshop/.
- Beltran, J. C. (2012). *Prueba de Hipótesis* (Primera edición ed.). UNAM - México.
- Bowles, J. E. (1993). *Diseño de acero estructural* (Primera ed., Vol. I). LIMUSA, S.A.de C.V. México.
- Camposano, J. E., & García C, K. V. (2012). *Diagnóstico del estado situacional de la vía: Av. Argentina - Av. 24 de junio por el método: índice de condición de pavimentos-2012*. Carrera profesional de ingeniería civil - Universidad Peruana los Andes. Huancayo - Perú.
- Capeco. (2023). *Boletín Técnico Capeco marzo 2023*. Lima: Capeco publicaciones.
- Carballo, J. A. (2015). *Propuesta de utilización de escorias siderúrgicas en hormigones de 20.0Mpa*. La Habana, Cuba: Universidad de Holguin.



- Cardenas, A. E. (2021). *Influencia de las condiciones de curado en la predcción de la resistencia del concreto utilizando metodos acelerados*. Universidad Nacional San Agustin. Arequipa - Perú.
- Carrillo, A. T. (2004). *Curso Básico de Tecnología de Concreto* (Primera ed.). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima - Perú.
- Cendoya, P. (05 de marzo de 2009). *Efecto en la resistencia de las escorias de fundición de cobre como agregado fino en el comportamiento resistente del hormigón*. Revista chilena de ingeniería, 17 (Primera), 85-94.
- Choque, R. D. (2012). *Viabilidad para el uso de la escoria de acería eléctrica como agregado en mezcla asfáltica en la ciudad de Chimbote*. Escuela académico profesional de ingeniería civil. Lircay - Perú.
- Condorchoa, C. G. (2019). *Factor clima y su relación con el deterioro de pavimentos rígidos en Ica año 2019*. Maestría en ingeniería vial con mención en carreteras, puentes y túneles - Universidad Ricardo Palma. Lima - Perú.
- Condori, A. (2019). *Análisis del sistema de transporte en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional del Altiplano*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno - Perú.
- Contreras, F. (2017). *Validación de escorias de arco eléctrico mediante su uso como adición en hormigón*. Escuela técnica superior de ingeniería industrial. Malaga - España.
- Corcuera, A. E., & Vela, J. R. (2018). *Impacto en la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto a partir de la sustitución de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, Trujillo – 2018*. Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería. Trujillo - Perú.
- De La Fuente, J. A. (2015). *Comportamiento del hormigón con áridos siderúrgicos (EAF) reforzado con fibras*. Departamento de construcciones arquitectónicas e ingeniería de la construcción y del terreno. Burgos - España.
- Fernandez, Y. (2018). *Aplicacion del sistema de gestion de pavimentos para mejorar la conservacion y serviciabilidad del pavimento- Juliaca - 2016*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno - Perú.
- Fiallos, J. A. (2017). *Investigacion de un plan de manejo del deterioro del pavimento de la via Cumbe- La Jarata*. Universidad de Cuenca. Ecuador.



- Figuroa, I. D., & Mamani, C. C. (2019). *Diseño de carreteras afirmadas en base de escorias negras provenientes de la Planta de Aceros Arequipa de Pisco, para zonas rurales*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima - Perú.
- Flores, V. F., & Mamani, M. R. (2018). *Evaluación comparativa de la resistencia a compresión y flexión del concreto normal con fibra SIKA Fiber CHO 65-35-NB y con fibra SIKA Fiber FORCE PP-48*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno - Perú.
- García, J. (2017). *Elaboración de morteros de cal y bastardos para albañilería fabricados con áridos siderúrgicos*. Departamento de construcciones arquitectónicas e ingeniería de la construcción y del terreno. Burgos - España.
- González, M. A. (2015). *Comportamiento y diseño de hormigones estructurales con áridos siderúrgicos EAF*. Departamento de Ingeniería de la Construcción - Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona - España.
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. (Primera edición ed., Vol. I). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá - Colombia.
- Humpiri, M. Y. (2023). *Análisis comparativo del concreto con refuerzo de acero tradicional y fibras de acero FF1 para losas industriales del depósito de concentrados Callao*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno - Perú.
- Incio, P. J. (2015). *Influencia del aditivo Chema 3 en la resistencia a la compresión, a edades diferentes del concreto usando cemento Portland tipo I y agregados de río en la ciudad de Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca- Facultad de Ingeniería. Cajamarca - Perú.
- Isidro, J. (2018). *Influencia de la adición de fibras de acero en las propiedades del concreto empleado para pavimentos en la construcción de pistas en la ciudad de Puno*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno - Perú.
- Isidro, G. (2017). *Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto $f_c=210$ kg/cm²*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno - Perú.
- López, M. J., & Pinedo, M. A. (2015). *Mejoramiento de las características físico mecánicas de adoquines de cemento para pavimentación, adicionando escoria de horno eléctrico en su proceso de fabricación - Nuevo Chimbote – 2015*. Facultad de ingeniería, escuela académico profesional de ingeniería civil. Universidad Nacional del Santa. Ancash - Perú.
- Maldonado, J. L. (1996). *Aceros y sus aplicaciones*. Facultad de ingeniería mecánica y eléctrica. Universidad Autonoma de Nuevo Leon. México.



- Márquez, P. E. (2019). *Estudio del comportamiento del concreto con adición del plástico reciclado en la ciudad de Arequipa*. Universidad Nacional San Agustín. Arequipa - Perú.
- Marquina, M. A. (2008). *Uso de las escorias obtenidas como sub producto de la elaboración de acero de la planta N° 2 de Aceros Arequipa - Pisco para fines de cimentación y pavimentación*. Facultad de ingeniería. Lima - Perú.
- McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2012). *Diseño de estructuras de acero*. (Quinta ed., Vol. I). Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C. V., México.
- Mollo, B. A., & Rosas, J. L. (2019). *Influencia del agregado grueso sobre las propiedades del concreto de resistencia de $f'c = 210\text{kg/cm}^2$* (Vol. I). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa - Facultad de ingeniería civil, Arequipa - Perú.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras* (segunda edición ed., Vol. I). Agora Editores.
- Niño, J. R. (2010). *Tecnología de Concreto: materiales, propiedades y diseño de mezclas* (3ra edición. Vol. Tomo I). Asocreto. Bogotá. Colombia.
- Ortega, V. (2011). *Aprovechamiento de escorias blancas (LFS) y negras (EAFS) de acería eléctrica en la estabilización de suelos y en capas de firmes de caminos rurales*. Departamento de ingeniería civil. Burgos - España.
- Oyarzun, I. A. (2013). *Influencia de las escorias de cobre en la elaboración de hormigón* (Primera ed., Vol. I). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Chile.
- Pacori, A., & Aquisé, B. (2020). *Evaluación del diseño de mezclas con agregados naturales al 5%, 10% 15% y 25%, en los distritos de Phara- Sandia y San Antonio*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno - Perú.
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú* (Segunda edición ed.). Colegio de ingenieros del Perú.
- Puentes, J. P. (2016). *Estudio comparativo de la influencia de la temperatura de revenido en los valores de dureza de un acero AISI-SAE 1045 templado desde temperaturas intercríticas con relación a la ecuación de J.H. Hollomon – JAFFE*. Departamento de ingeniería mecánica. Bogotá - Colombia.
- Quenta, F. D. (2019). *Efecto de las fibras de las botellas PET en las propiedades del concreto normal Puno*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno - Perú.



- Quiroz, M. V., & Salamanca, L. E. (2006). *Tecnología del hormigón* (Primera ed., Vol. I). Facultad de ciencias de ingeniería civil. Cochabamba - Bolivia.
- Quispe, F. R., & Ortiz, M. A. (2020). *Análisis del comportamiento del concreto con la inclusion de escoria de cobre utilizando agregados de las canteras Icu de Ilo y la poderosa de Arequipa*. Universidad Nacional San Agustín - Facultad de ingeniería Civil. Arequipa - Perú.
- Ramos R., J., Del Águila, V., & Bazalar B., A. (2017). *Estadística Básica para los negocios* (Primera edición ed.). Fondo editorial Universidad de Lima.
- Rivera, G. A. (2000). *Concreto Simple*. (Primera Edición ed., Vol. I). Universidad de Cauca. Bogotá - Colombia.
- Rivva, E. (2010). *Tecnología del concreto - Diseño de mezclas* (Séptima edición ed., Vol. I). Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil. Lima- Perú.
- Romero, A. F., & Hernández, J. C. (2014). *Diseño de mezclas de hormigón por el método A.C.I. y efectos de la adición cenizas volantes de termotasajero en la resistencia a la compresión*. Universidad Santo Tomas, facultad de ingeniería civil, Bogotá - Colombia.
- Ruiz, C. C. (2011). *Analisis de los factores que producen el deterioro de los pavimentos rígidos*. Escuela Politecnica del Ejército - Facultad de ingeniería civil. Ecuador.
- Salazar P., C., & Del Castillo G., S. (2018). *Fundamentos Básicos de Estadística* (Primera Edición ed.). Estudios estadísticos y comerciales.
- Sánchez, D. (1996). *Tecnología de concreto y mortero* (3ra ed., Vol. I). Bhandar editores Ltda. Bogotá - Colombia.
- Santamaría, I. (2015). *Fabricación de morteros de albañilería con escoria negra de horno eléctrico de arco EAF y escoria blanca de horno cuchara LF* (Primera ed., Vol. I). Departamento de construcciones arquitectónicas e ingeniería de la construcción y del terreno. Burgos - España.
- Serrato, L. M. (2014). *Utilización de escoria de horno de arco eléctrico en morteros a base cemento portland*. Facultad de ingeniería civil. México.
- Suárez, L. C. (2018). *Evaluación de escorias siderúrgicas de horno de arco eléctrico en mezclas de concreto estructural*. Departamento de ingeniería civil y ambiental. Bogotá - Colombia.
- Terreros, L. E., & Carvajal, I. L. (2016). *Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando con fibra de cañamo*. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá - Colombia.



- Torre, A. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto*. Facultad de ingeniería civil- UNI. Lima - Perú.
- Tupa, A. M. (2018). *Concreto estructural liviano con escoria y ceniza volcánicas del distrito de Yura*. Universidad Nacional San Agustín. Arequipa - Perú.
- Vásquez, P. P., & Prado, J. P. (2016). *Patología del pavimento rígido en la calle Pablo Rosell en el año 2016*. Escuela profesional de ingeniería civil - Universidad Científica del Perú. Iquitos - Perú.
- Velez, A. S. (2003). *Hormigones con Escorias de Acero de Horno Eléctrico: Prestaciones Mecánicas, Físicas y Químicas en Cuenca*. Universidad de Cuenca. Ecuador.
- Yura, F. T. (2021). *Cemento Portland Tipo I*. Obtenido de <http://www.yura.com.pe/productos/producto1>
- Zelada, R. (2016). *Valoración económica de la escoria de horno eléctrico de Sider Perú como producto alternativo a la piedra cantera en el sector construcción*. Unidad de posgrado en ciencias biológicas. Trujillo - Perú.



ANEXOS

Anexo A. Ficha técnica de cementos Rumi 2022 - cemento Portland tipo I.

Anexo B. Documentos que acreditan el préstamo de los equipos topográficos de EPIC de la UNA Puno.

Anexo C. Plano de levantamiento topográfico de la cantera Cutimbo con sus respectivas coordenadas.

Anexo D. Certificados de ensayos realizados en laboratorio de construcciones.

Anexo E. Certificado de calibración de los equipos y máquinas de laboratorio.

Anexo F. Resultados del ensayo de contenido de humedad del A°G°, A°F° y E°N°.

Anexo G. Resultados del ensayo de peso específico y absorción del A°G°, A°F° y E°N°.

Anexo H. Resultados del ensayo de peso específico unitario suelto y compactado del A°G° y A°F°.

Anexo I. Resultados del ensayo de peso específico unitario suelto y compactado de E°N°.

Anexo J. Resultados del análisis granulométrico del A°G°.

Anexo K. Resultados del análisis granulométrico de E°N°.

Anexo L. Resultados del análisis granulométrico del A°F°.

Anexo M. Hoja de cálculo de diseño de mezcla por el método ACI 211 para CC con y sin adición de E°N°.

Anexo N. Resultados del ensayo de consistencia del CC sin y con adición de E°N°.

Anexo Ñ. Resultados del ensayo densidad del CC sin y con adición de E°N° a los 28 días de curado de probetas cilíndricas.

Anexo O. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple de probetas cilíndricas de CC sin y con adición de E°N° a los 7, 14 y 28 días de curado.

Anexo P. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión con carga en el punto central de probetas prismáticas de CC sin y con adición de E°N° a los 28 días de curado.



Anexo Q. Norma técnica ASTM C-39 de rotura de probetas cilíndricas.

Anexo R. Norma técnica ASTM C-293-02 de ensayo de resistencia a flexión con carga en el punto central.

Anexo S. Hoja de cálculo de diseño de pavimento por AASHTO 93 para CC con y sin adición de E°N°.

Anexo T. Análisis de P.U. de encofrado y desencofrado, juntas de contracción y sellado con emulsión asfáltica, acabado, semipulido y curado del concreto se tomaron del expediente técnico denominado Mejoramiento de servicio de transitabilidad vehicular y peatonal de la avenida Tambopata de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román, región Puno.

Anexo U. Cuadro estadístico de prueba y tabla de distribución t de student (t_{α}).

Anexo V. Glosario de términos



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo WASHINGTON JORGE CHILI VILCA
identificado con DNI 46587163 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

" INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE ESCÓRD NEGRO SOBRE PORCENTAJES DEL AGREGADO GRUESO EN LAS
PROPIEDADES DEL CONCRETO DE FC= 210 kg/cm² PARA PAVIMENTOS RÍZOS DE LA CIUDAD DE PUNO 2020 "

" Es un tema original.

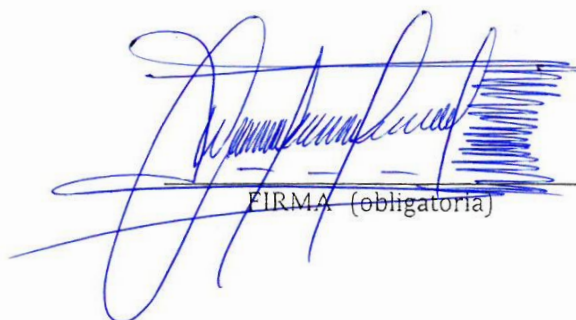
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mí persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, 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 02 de JUNIO del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo WASHINGTON JOSE CHILU VILCA
identificado con DNI 16587163 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA CIVIL

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado

Título Profesional denominado:

" INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE ESTUDIO NEGRO SOBRE PORCENTAJES DEL AGREGADO GRUESO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO F'c=210 kg/cm² PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS DE LA CIUDAD DE PUNO 2020 "

" 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 02 de JUNIO del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo RICHARD ELIO PINEDA QUISPE
identificado con DNI 70850743 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 para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE ESCORIA NEGRA SOBRE PORCENTAJES DEL AGREGADO GRUESO
EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ PARA PAVIMENTOS RIGIDOS DE LA CIUDAD DE PUNO, 2023.

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 02 de JUNIO del 20 23


FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo RICHARD ELIO PINEDA QUISPE
identificado con DNI 70850743 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 para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE ESCORIA NEGRA SOBRE PORCENTAJES DEL AGREGADO GRUESO

EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE $f'_{c} = 210 \text{ kg/cm}^2$ PARA PAVIMENTOS RIGIDOS DE LA CIUDAD DE PUÑO, 2020.

" Es un tema original.

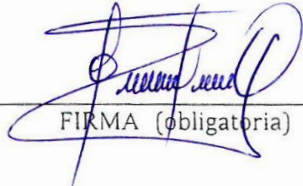
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, 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 02 de JUNIO del 20 23


FIRMA (obligatoria)



Huella