PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA A LA DISERTACIÓN DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS DE LAS CANTERAS SAN FRANCISCO DE LA PROVINCIA DE PICHINCHA Y SAN ROQUE DE LA PROVINCIA DE IMBABURA, Y SU APLICACIÓN PARA EL DISEÑO DE ADOQUINES QUE CUMPLAN LA NORMA INEN 3040"

AUTORES:

DIEGO MAURICIO BUENDÍA SANTANA

MANUEL AURELIO SALGADO PEÑAHERRERA

DIRECTOR: ING. JORGE ALBUJA

Quito, septiembre 2020.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Vismeli y José Luis quienes a lo largo de mi vida han sabido darme su apoyo incondicional, los que siempre me han acompañado con cariño y consejos formando un hombre de bien.

A mi hermana Saraí y abuelita Maru que siempre me ha apoyado y animado a dar lo mejor de mi, a no rendirme en el camino.

A mis tías, tíos y primos que desde el inicio confiaron en mi, que a lo largo de mi vida ha sabido darme buenos consejos.

A Rose la que ha sido mi compañera en esta etapa de mi vida que siempre me anima a que cumpla con mis metas.

A mis queridos amigos con los que compartí momentos agradables e inolvidables a lo largo de la carrera universitaria.

A todos los docentes de la facultad, que comparten su conocimiento para una formación de profesionales de calidad.

Diego Buendía

DEDICATORIA

Este logro va dedicado primeramente a Dios y a la Virgen María, por haberme dado la sabiduría y la fortaleza para poder culminar con éxito un peldaño más de mi vida profesional.

A mis queridos padres Manuel y Matilde, por ser una fuente invaluable de ejemplo, constancia y trabajo, y que con su amor incondicional supieron brindarme el tiempo, conocimiento y buenos consejos para no desmayar en el proceso.

A mis hermanas Adriana y Sandra, por ser mi soporte constante, mis confidentes y el motor que en mis momentos de debilidad me impulsaron a seguir adelante.

A mi abuelito Manuel Salgado y a mi tía Elsita María, quienes siempre confiaron en mí y en que iba a conseguir este gran objetivo y que desde el cielo estarán cuidándome y derramándome sus bendiciones.

Manuel Salgado

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios, por cuidarme y permitirme seguir por un camino correcto, por darme la fuerza para seguir adelante, por poder culminar esta etapa de estudios y agradecerle por todo lo que he logrado y he vivido.

A mis padres, por su amor y paciencia en todos estos años, por su apoyo desde el primer día que inicie la carrera, por el trabajo duro que hacen para que pueda cumplir mis metas y tenga un mejor futuro.

A mis tías Cris y Jime que me han sabido tratar como un hijo, me han apoyado y aconsejado para poder cumplir mis propósitos. A mis tíos y primos que quieren lo mejor para mí.

Al Ing. Jorge Albuja y al Ing. Cadena representante del instituto ecuatoriano del cemento y hormigón, por guiarnos en el desarrollo del presente trabajo brindándonos su conocimiento y experiencia.

A Rose, por su cariño y apoyo incondicional en todo este tiempo.

A todos mis amigos con los que compartí mi vida universitaria, me llevo gratos recuerdos e inolvidables.

A todos los docentes que me acompañaron en la carrera, por su contribución en la formación académica y profesional. Y a la PUCE por permitirme ser parte de su historia y formarme como un profesional.

Diego Buendía

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen María, por darme paz y serenidad para poder afrontar este reto con actitud y decisión.

A mis padres Manuel y Matilde, por su esfuerzo incansable para poder darme un futuro prometedor; a mis hermanitas Adry y Sandrita por su constante apoyo, a mis sobrinitos Manu y Juan Di, por regalarme todo su amor y a mi cuñado Diego que siempre ha estado ahí como una fuente inagotable de consejos y buena vibra.

A David, Diego, Gaby, Stefy, y Anahí a quienes siempre llevaré dentro de mi ser, por haberme regalado una amistad sincera y solidaria y por haber dado alegría a mi corazón y por haber caminado a mi lado durante todo el transcurso de la carrera y de los cuales aprendí que la vida no es un simple trajinar, sino que existen personas con las que se puede convivir día a día y llegarse a convertir en una gran familia.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por haber sido mi templo del saber y permitirme obtener todos los conocimientos del prestigioso cuerpo docente de la Facultad de Ingeniería Civil y así convertirme en un profesional integro.

Manuel Salgado

ÍNDICE

RESUMEN 19
ABSTRACT 20
CAPÍTULO I - GENERALIDADES 21
1.1 Antecedentes 21
1.2 Planteamiento del problema 23
1.3 Objetivos 23
1.3.1 Objetivo General 23
1.3.2 Objetivos específicos 24
1.4 Alcance 24
CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO 26
2.1 Adoquín 26
2.1.1 Definición 26
2.1.2 Dimensiones de adoquines 27
2.1.3 Clasificación de los adoquines 28
2.2 Materiales para la fabricación 29
2.2.1 Agregados 29
2.2.2. Cemento 30
2.2.3 Agua 31
2.3 Fabricación de Adoquines 33
2.3.1 Tipos de Fabricación 33
2.3.1.1. Método Manual 33
2.3.1.2 Método Semi manual 33
2.3.1.3 Método automático 34
2.3.2 Procesos de fabricación de adoquines 34
2.3.2.1 Equipos, herramientas y materiales 34
2.3.2.2 Dosificación 35
2.3.2.3 Mezclado 36
2.3.2.4 Modelado 36
2.3.2.5 Fraguado 37
2.3.2.6 Curado de adoquines de hormigón 37
2.3.2.7 Almacenamiento 37
2.4 Descripción de la mina San Francisco de la provincia de Pichincha 37
2.5 Descripción de la mina San Roque de la provincia de Imbabura 40

2.6 Norma INEN 3040 41
2.7 Norma INEN 1485 (derogada) 44
CAPÍTULO III – METODOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS 45
3.1 Descripción de ensayo de agregados 48
3.1.1 Granulometría de agregado fino y grueso 48
3.1.1.1 Cálculos de granulometría de finos 51
3.1.1.2 Cálculos de granulometría de gruesos 52
3.1.2 Ensayo Peso unitario 53
3.1.2.1 Procedimiento por varillado para agregado fino y grueso 54
3.1.2.2. Procedimiento por paladas para agregado fino y grueso 55
3.1.2.3 Cálculo de peso unitario 56
3.1.3 Ensayo de contenido de materia orgánica 56
3.1.3.1Determinación del color 58
3.1.4 Ensayo de desgaste de Sulfatos 59
3.1.4.1 Cálculos del ensayo de resistencia a los sulfatos 60
3.1.5 Ensayo de Abrasión de Agregados 61
3.1.5.1 Cálculos ensayo de abrasión 65
3.1.6 Ensayo de equivalente de arena 65
3.1.6.1 Cálculos del ensayo de equivalente de arena 67
3.1.7 Ensayo de terrones de arcilla 67
3.1.7.1 Cálculos para determinar porcentaje de terrones de arcilla 68
3.1.8 Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado grueso 69
3.1.8.1 Procedimiento 71
3.1.8.2 Cálculos 72
3.1.9 Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado fino 73
3.1.9.1 Cálculos 76
3.2 Descripción de ensayos ejecutados en adoquines de hormigón 77
3.2.1 Ensayo de Absorción 77
3.2.1.1 Procedimiento 77
3.2.1.1 Cálculos de absorción en adoquines 78
3.2.2 Ensayo de tracción indirecta 79
3.2.2.1 Procedimiento 80
3.2.2.2 Cálculos de los resultados 81
3.2.3 Ensayo de desgaste por abrasión 82

3.2.3.1 Procedimiento 83
3.2.3.2 Cálculo del resultado 85
3.2.4 Ensayo al Deslizamiento 85
3.2.4.1 Procedimiento 86
3.2.4.2 Cálculo del Resultado 87
3.2.5 Ensayo de Compresión 88
3.2.5.1 Procedimiento 88
3.2.5.2 Cálculo del Resultado 89
CAPÍTULO IV – RESULTADO DE ENSAYOS EN AGREGADOS MINAS SAN FRANCISCO Y SAN ROQUE 91
4.1 Granulometrías 91
4.1.1 Granulometría de la chispa- Mina San Francisco 91
4.1.2 Granulometría chispa - Mina San Roque 94
4.1.3 Análisis de los resultados del ensayo granulométrico del material chispa 97
4.1.4 Granulometría agregado fino tipo 1 (arena gruesa) - Mina San francisco 98
4.1.5 Granulometría agregado fino tipo 1 (arena gruesa) - Mina San Roque .. 101
4.1.6 Análisis de los resultados del ensayo granulométrico del agregado fino tipo 1 (arena gruesa) 104
4.1.7 Granulometría agregado fino tipo 2 (arena fina) – Mina San francisco . 106
4.1.8 Granulometría agregado fino 2 (arena fina) - Mina San Roque 109
4.1.9 Análisis de los resultados del ensayo granulométrico del agregado fino tipo 2 (arena fina) 112
4.2 Peso unitario 113
4.2.1 Peso unitario agregado grueso - Mina San Francisco 113
4.2.2 Peso unitario agregado grueso - Mina San Roque 115
4.2.3 Análisis de los resultados del ensayo del peso unitario de la chispa 116
4.2.4 Peso unitario agregado fino tipo 1 (arena gruesa) - Mina San Francisco 118
4.2.5 Peso unitario agregado fino tipo 1 (arena gruesa) - Mina San Roque 120
4.2.6 Análisis de resultados del ensayo del peso unitario del agregado fino tipo 1 (arena gruesa) 121
4.2.7 Peso unitario agregado fino tipo 2 (arena fina) - Mina San Francisco.... 122
4.2.8 Peso unitario agregado fino tipo 2 (arena fina) – Mina San Roque 124
4.2.9 Análisis de los resultados del ensayo de peso unitario del agregado fino tipo 2 (arena fina) 125

4.3 Contenido de materia orgánica..... 126
4.3.1 Contenido de materia orgánica agregado fino tipo 1 (arena gruesa)- Mina San Francisco 126
4.3.2 Contenido de materia orgánica agregado fino tipo 1(arena gruesa) - Mina San Roque 126
4.3.3 Análisis de resultados del ensayo de contenido de materia orgánica del agregado tipo 1 (arena gruesa) 127
4.3.4 Contenido de materia orgánica agregado fino tipo 2 (arena fina) - Mina San Francisco 127
4.3.5 Contenido de materia orgánica agregado fino tipo 2 (arena fina) - Mina San Roque 128
4.3.6 Análisis de los resultados del ensayo de contenido de materia orgánica del agregado tipo 2 128
4.4 Abrasión de chispa 129
4.4.1 Ensayo de Abrasión - Mina San Francisco 129
4.4.2 Ensayo de Abrasión - Mina San Roque 132
4.4.3 Análisis de resultados del ensayo de abrasión del agregado grueso- chispa 134
4.5 Gravedad específica y absorción..... 135
4.5.1 Gravedad específica y absorción agregado grueso (chispa) - Mina San Francisco 135
4.5.2 Gravedad específica y absorción agregado grueso (chispa) - Mina San Roque 138
4.5.3 Análisis de los resultados del ensayo de gravedad específica del agregado grueso- chispa..... 140
4.5.4 Gravedad específica y absorción agregado tipo fino 1 (arena gruesa) - Mina San Francisco 141
4.5.5 Gravedad específica y absorción agregado fino tipo 1 (arena gruesa) - Mina San Roque 144
4.5.6Análisis de resultados del ensayo de gravedad específica del agregado fino tipo 1 (arena gruesa)..... 146
4.5.7 Gravedad específica y absorción agregado fino tipo 2 (arena fina) - Mina San Francisco 147

4.5.8 Gravedad específica y absorción agregado fino tipo 2 (arena fina)- Mina San Roque 150
4.5.9 Análisis de resultados del ensayo de gravedad específica del agregado fino tipo 2 (arena fina) 152
4.6 Terrones de Arcilla 153
4.6.1 Terrones de arcilla agregado grueso - Mina San Francisco 153
4.6.2 Terrones de arcilla agregado grueso - Mina San Roque 154
4.6.3 Análisis de resultados del ensayo de terrones de arcilla del agregado grueso (chispa) 155
4.6.4 Terrones de arcilla agregado fino tipo1 (arena gruesa) - Mina San Francisco 156
4.6.5 Terrones de arcilla agregado fino tipo1 (arena gruesa) - Mina San Roque 157
4.6.6 Análisis de resultados del ensayo de terrones de arcilla del agregado fino tipo1 (arena gruesa) 158
4.6.7 Terrones de arcilla agregado fino tipo 2 (arena fina) - Mina San Francisco 158
4.6.8 Terrones de arcilla agregado fino tipo 2 (arena fina) - Mina San Roque 159
4.6.9 Análisis de resultados del ensayo de terrones de arcilla del agregado fino tipo 2 (arena fina) 160
4.7 Ensayo de desgaste de sulfatos 160
4.8 Material más fino que pasa el tamiz No.200 163
4.8.1 Tamiz 200- Agregado fino tipo 1 procedente de la mina San Francisco 164
4.8.2 Tamiz 200- Agregado fino tipo 1 (arena gruesa) procedente de la mina San Roque 165
4.8.3 Análisis de resultados del ensayo de tamiz 200 para el agregado tipo 1 (arena gruesa) 166
4.8.4 Tamiz 200- Agregado fino tipo 2 (arena fina) procedente de la mina San Francisco 167
4.8.5 Tamiz 200- Agregado fino tipo 2 (arena fina) procedente de la mina San Roque 169
4.8.6 Análisis de los resultados del tamiz 200 para agregados fino tipo2 (arena fina) 170

4.9 Ensayo de densidad de cemento 170
4.9.1 Resultado ensayo de densidad del cemento 172

4.10 Ensayos complementarios 173
4.10.1 Partículas planas y alargadas Mina San Francisco 173
4.10.2 Partículas planas y alargadas Mina San Roque 175
4.10.3 Ensayo de consistencia normal del cemento 176
4.10.4 Ensayo de finura del cemento hidráulico mediante el equipo permeabilidad al aire “Blaine” 177
4.10.5 Tiempo de fraguado de morteros 179
4.10.6 Resistencia a la compresión de morteros 180

4.11 Diseño de hormigón 182
4.11.1 Diseño de la mezcla para la fabricación de hormigón 184

4.12 Comprobación de la consistencia de la mezcla con agregados provenientes de la mina San Francisco 207
4.13 Comprobación de la consistencia de la mezcla con agregados provenientes de la mina de San Roque 209
4.14 Fabricación de los adoquines del trabajo de titulación 211
4.15 Procesos de fabricación del adoquín 211
4.15.1 Homogenización del material 211
4.15.2 Volumen de agregados 212
4.15.3 Mezclado 214
4.15.4 Vibro-compactación 216
4.15.5 Curado de adoquines 217

CAPITULO V – ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES UTILIZANDO LOS AGREGADOS DE LAS MINAS SAN FRANCISCO Y SAN ROQUE 218

5.1 Ensayo de determinación del índice de absorción 219
5.1.1 Ensayo de determinación del índice de absorción- San Francisco 219
5.1.2 Ensayo de determinación del índice de absorción- San Roque 221
5.1.3 Análisis de resultados del ensayo de absorción en adoquines de hormigón 222

5.2 Ensayo de resistencia a la tracción indirecta 225
5.2.1 Ensayo de resistencia a la tracción indirecta – San Francisco 225
5.2.2 Ensayo de resistencia a la tracción indirecta – San Roque 228

5.2.3 Análisis de resultados del ensayo de tracción indirecta en adoquines de hormigón 231

5.3 Ensayos de Resistencia al desgaste por abrasión mediante el ensayo de rueda ancha 234

5.3.1 Resistencia al desgaste por abrasión- San Francisco 234

5.3.2 Resistencia al desgaste por abrasión- San Roque 235

5.3.3 Análisis de resultado del ensayo de resistencia al desgaste por abrasión 237

5.4 Resistencia al deslizamiento sin pulir (USRV) 239

5.4.1 Ensayo de resistencia al deslizamiento sin pulir (USRV)- San Francisco 239

5.4.2 Ensayo de resistencia al deslizamiento sin pulir (USRV)- San Roque ... 240

5.4.3 Análisis de resultados del ensayo de deslizamiento sin pulir 241

5.5 Compresión Simple 245

5.5.1 Ensayo de compresión simple- San Francisco 245

5.5.2 Ensayo de compresión simple- San Roque 248

5.5.3 Análisis de resultados del ensayo de compresión simple 251

5.6 Tabla resumen final de ensayos en adoquines 255

CAPITULO VI – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 256

6.1 Conclusiones 256

6.2 Recomendaciones 264

Bibliografía 267

ANEXOS: 273

Índice de tablas

Tabla 1:Temperatura del Cantón Antonio Ante 41

Tabla 2:Límites del Agregado Fino 52

Tabla 3:Granulometría Agregado Grueso 53

Tabla 4:Límites del Agregado Grueso 53

Tabla 5:Determinación color para descartar la presencia de materia orgánico 58

Tabla 6:Tamices para determinar la pérdida según las fracciones del árido grueso .. 61

Tabla 7:Carga abrasiva para el ensayo 63

Tabla 8:Gradación para ensayo de abrasión 63

Tabla 9:Orden de prioridad para ensayo de tracción indirecta 80

Tabla 10:Factor de corrección k en el ensayo de tracción indirecta 82

Tabla 11:Factores de Corrección 89
Tabla 12:Especificaciones granulométricas para diferentes tamaños nominales 104
Tabla 13:Resultado partículas planas y alargadas- San Francisco..... 175
Tabla 14:Resultado partículas planas y alargadas- San Francisco..... 175
Tabla 15:Consistencia normal del cemento Holcim HE 177
Tabla 16: Ensayo de finura del cemento hidráulico Holcim HE 178
Tabla 17: Tiempo de fraguado del cemento Holcim HE 179
Tabla 18: Ensayo de compresión de morteros de cemento Holcim HE..... 181
Tabla 19: Trabajabilidad y asentamientos para estructuras 185
Tabla 20:Agua de diseño..... 186
Tabla 21:Relación W/C para resistencias alcanzadas a los 28 días 187
Tabla 22:Peso agregado grueso por un metro cúbico de hormigón..... 188
Tabla 23:Contenido de aire 189
Tabla 24: Volumen de materiales para 1 m3 de hormigón de 400 kg/cm2- San Francisco 190
Tabla 25: Tabla resumen m3 para hormigón de 400 kg/cm2- San Francisco..... 191
Tabla 26: Resumen dosificación para 8 adoquines de f´c= 400 kg/cm2 con material de la mina San Francisco..... 193
Tabla 27: Resumen final de cantidades para 8 adoquines - Mina San Francisco 195
Tabla 28: Peso unitario suelto de agregados mina San Francisco 196
Tabla 29:Cantidades al volumen de agregados mina San Francisco 196
Tabla 30: Numero de parihuelas de agregados para la fabricación de 8 adoquines- San Francisco 196
Tabla 31:Numero de parihuelas de agregados para la fabricación de 64 adoquines- San Francisco 197
Tabla 32: Volumen de materiales para 1 m3 de hormigón de 400 kg/cm2- San Roque 201
Tabla 33: Tabla resumen m3 para hormigón de 400 kg/cm2-San Roque..... 202
Tabla 34: Resumen dosificación para 8 adoquines de f´c= 400 kg/cm2 con material de la mina San Roque..... 204
Tabla 35: Resumen final de cantidades para 8 adoquines - Mina San Roque 206
Tabla 36: Peso unitario suelto de agregados mina San Roque..... 206
Tabla 37:Cantidades al volumen de agregados mina San Roque 206

Tabla 38: Numero de parihuelas de agregados para la fabricación de 8 adoquines- San Roque 207
Tabla 39:Numero de parihuelas de agregados para la fabricación de 64 adoquines- San Roque 207
Tabla 40: Plan de muestreo y criterios de conformidad para ensayos de adoquines 219
Tabla 41:Ensayo de Absorción a los 7 días- San Francisco..... 219
Tabla 42: Ensayo de absorción a los 14 días-San Francisco..... 220
Tabla 43: Ensayo de absorción a los 28 días-San Francisco..... 220
Tabla 44:Ensayo de absorción a los 7 días- San Roque..... 221
Tabla 45: Ensayo de Absorción a los 14 días- San Roque..... 221
Tabla 46: Ensayo Absorción a los 28 días- San Roque 222
Tabla 47:Ensayo de tracción indirecta a los 7 días- San Francisco 225
Tabla 48: Resumen del ensayo de tracción indirecta a los 7 días- San Francisco ... 225
Tabla 49: Ensayo de tracción indirecta a los 14 días- San Francisco 226
Tabla 50:Resumen del ensayo de tracción indirecta a los 14 días- San Francisco .. 226
Tabla 51: Ensayo de tracción indirecta a los 28 días- San Francisco 227
Tabla 52: Resumen del ensayo de tracción indirecta a los 28 días- San Francisco . 227
Tabla 53: Ensayo de tracción indirecta a los 7 días- San Roque 228
Tabla 54: Resumen del ensayo de tracción indirecta a los 7 días- San Roque 228
Tabla 55:Ensayo de tracción indirecta a los 14 días- San Roque 229
Tabla 56: Resumen del ensayo de tracción indirecta a los 14 días- San Roque 229
Tabla 57:Ensayo de tracción indirecta a los 28 días- San Roque 230
Tabla 58: Resumen del ensayo de tracción indirecta a los 28 días- San Roque 230
Tabla 59:Ensayo de desgaste por abrasión a los 7 días -San Francisco..... 234
Tabla 60:Ensayo de desgaste por abrasión a los 7 días -San Francisco..... 234
Tabla 61:Ensayo de desgaste por abrasión a los 28 días -San Francisco..... 235
Tabla 62:Ensayo de desgaste por abrasión a los 7 días -San Roque..... 235
Tabla 63:Ensayo de desgaste por abrasión a los 14 días -San Roque..... 236
Tabla 64:Ensayo de desgaste por abrasión a los 28días -San Roque..... 236
Tabla 65:Ensayo de deslizamiento sin pulir a los 7 días- San Francisco..... 239
Tabla 66:Ensayo de deslizamiento sin pulir a los 14 días- San Francisco..... 239
Tabla 67:Ensayo de deslizamiento sin pulir a los 28 días- San Francisco..... 240
Tabla 68:Ensayo de deslizamiento sin pulir a los 7 días- San Roque..... 240

Tabla 69:Ensayo de deslizamiento sin pulir a los 14 días- San Roque 240
Tabla 70: Ensayo de deslizamiento sin pulir a los 28 días- San Roque 241
Tabla 71: Ensayo de compresión simple a los 7 días- San Francisco 245
Tabla 72: Resumen resultados ensayo compresión simple a los 7 días-San Francisco 245
Tabla 73:Ensayos de compresión simple a los 14 días- San Francisco 246
Tabla 74: Resumen resultados compresión simple a los 14 días-San Francisco 246
Tabla 75: Ensayo de compresión simple a los 28 días- San Francisco 247
Tabla 76:Resumen resultados compresión simple a los 28 días-San Francisco 247
Tabla 77: Ensayo compresión simple a los 7 días-San Roque 248
Tabla 78:Resumen resultados compresión simple a los 7 días-San Roque 248
Tabla 79:Ensayo compresión simple a los14 días-San Roque 249
Tabla 80: Resumen resultados compresión simple a los 14 días-San Roque 249
Tabla 81: Ensayo compresión simple a los 28 días -San Roque 250
Tabla 82: Resumen resultados compresión simple a los 28 días-San Roque 250
Tabla 83:Resumen de ensayos en Adoquines 255

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Adoquín vehicular 27
Ilustración 2:Máquina de elaboración manual de adoquines 33
Ilustración 3:Máquina de elaboración semi-manual de adoquines 34
Ilustración 4:Máquina de elaboración automática de adoquines 34
Ilustración 5:Equipos , herramientas y materiales 35
Ilustración 6: Ubicación de la Mina San Francisco 38
Ilustración 7:Ubicación de la mina San Francisco en el Ecuador 38
Ilustración 8: Depósito aluvial- Mina San Francisco 39
Ilustración 9:Ubicación Mina San Roque 40
Ilustración 10: Ubicación de la mina San Roque en el Ecuador 41
Ilustración 11:Obtención del material pétreo 45
Ilustración 12:Cuarteo del agregado 49
Ilustración 13:Agitador mecánico INECYC 50
Ilustración 14:Secado de agregados 50
Ilustración 15:Tamizado de agregados finos 51

Ilustración 16: Varillado de agregados 55
Ilustración 17: Procedimiento por paladas 55
Ilustración 18:Uso del comparador de colores 57
Ilustración 19:Máquina de los ángeles 62
Ilustración 20:Diseño del cilindro de la máquina de los ángeles 62
Ilustración 21:Lavado y secado de materiales para abrasión 63
Ilustración 22:Carga abrasiva para la investigación 64
Ilustración 23:Ensayo de abrasión 64
Ilustración 24: Agitador automático 66
Ilustración 25:Ensayo de terrones de arcilla 68
Ilustración 26:Partícula de agregado húmedo en la que se muestra la distribución de agua 69
Ilustración 27:Masa mínima para el ensayo de gravedad específica 71
Ilustración 28:Secado de áridos saturado con superficie seca 72
Ilustración 29: Cesta para obtención de masa sumergida 72
Ilustración 30:Matraz para método gravimétrico 74
Ilustración 31:Secado de muestras para ensayo de densidad relativa 74
Ilustración 32:Ensayo para determinar la humedad superficial 75
Ilustración 33:Agitación manual del matraz 76
Ilustración 34: Sumersión de Adoquines en agua 78
Ilustración 35:Ensayo de tracción indirecta 79
Ilustración 36:Ensayo de tracción indirecta en adoquines 80
Ilustración 37: Ensayo de desgaste por abrasión en adoquines 84
Ilustración 38:Ensayo de desgaste por abrasión 84
Ilustración 39:Medición de desgaste por abrasión en adoquines 85
Ilustración 40:Ensayo al Deslizamiento 86
Ilustración 41:Medición del deslizamiento en adoquines 87
Ilustración 42:Ensayo de compresión simple en adoquines 89
Ilustración 43: Tabla máximos permisibles en agregados de hormigón 162
Ilustración 44: Límites para las sustancias perjudiciales para el agregado fino 163
Ilustración 45: Ensayo de densidad del cemento 171
Ilustración 46: Medición densidad del cemento 172
Ilustración 47: Aparato calibrador 174

Ilustración 48:Ensayo de partículas planas y alargadas 174
Ilustración 49: Ensayo de partículas planas y alargadas - San Roque 175
Ilustración 50: Extrapolación valor peso del agregado grueso 199
Ilustración 51: Consistómetro Vebe 208
Ilustración 52: Ensayo Cono de Abrams- San Francisco 208
Ilustración 53:Resultado ensayo del cono de Abrams- San Francisco 209
Ilustración 54: Ensayo cono de Abrams- San Roque 209
Ilustración 55: Resultado ensayo del cono de Abrams- San Roque 210
Ilustración 56: Ubicación de la fábrica MSM 211
Ilustración 57: Coordenadas de la fábrica MSM 211
Ilustración 58: Homogenización de materiales 212
Ilustración 59: Parihuela con agregados 213
Ilustración 60: Llenado de parihuelas 213
Ilustración 61: Transporte de materiales a la mescladora 214
Ilustración 62:Ingreso de agregados a la mescladora 214
Ilustración 63: Incorporación de agua en la mezcla 215
Ilustración 64:Transporte de la mezcla a la máquina vibro-compactadora y verificación de consistencia 215
Ilustración 65:Maquina vibro-compactadora 216
Ilustración 66:Fabricación de adoquines 216
Ilustración 67:Despacho de adoquines 217
Ilustración 68:Probetas para realizar ensayos en laboratorio 217

Índice de graficas

Gráfica 1:Índice de absorción- San Francisco 222
Gráfica 2:Índice de absorción- San Roque 223
Gráfica 3:Índice de absorción de las dos minas 224
Gráfica 4:Resistencia característica ensayo de tracción indirecta- San Francisco 232
Gráfica 5:Resistencia característica ensayo de tracción indirecta- San Roque 233
Gráfica 7: Ensayo de desgaste por abrasión en adoquines- San Francisco 237
Gráfica 8: Ensayo de desgaste por abrasión en adoquines- San Roque 238
Gráfica 9:Resultado ensayo de deslizamiento sin pulir adoquines con material Mina San Francisco 241

Gráfica 10:Resultado ensayo de deslizamiento sin pulir adoquines con material Mina San Roque 242
Gráfica 11: Ensayo de deslizamiento sin pulir en adoquines fabricados con materiales mina San Francisco vs Mina San Roque 243
Gráfica 12: Compresión a los 7 días Mina San Francisco Vs Mina San Roque 251
Gráfica 13:Compresión a los 14 días Mina San Francisco Vs Mina San Roque 251
Gráfica 14:Compresión a los 14 días Mina San Francisco Vs Mina San Roque 252
Gráfica 15:Ensayo de compresión simple de adoquines fabricados con material de la Mina San Francisco 252
Gráfica 16:Ensayo de compresión simple de adoquines fabricados con material de la Mina San Roque 253
Gráfica 17:Ensayo de Compresión Simple de Adoquines 254

RESUMEN

En la presente investigación se realizaron ensayos de los agregados provenientes de la mina San Francisco ubicada en la provincia de Pichincha y la mina de San Roque ubicada en la provincia de Imbabura, determinando sus características físicas, para posteriormente mediante el diseño de la dosificación al peso utilizando el método ACI 211-1 y basados en una relación agua/cemento específica se elaboraron 174 adoquines de hormigón en las instalaciones de la fábrica "MSM- Materiales y construcciones" ubicada en la ciudad de Cayambe, utilizando una máquina de vibro-compactación semi automática. Los adoquines fueron sometidos a un adecuado proceso de curado de siete días para posteriormente ser transportados al laboratorio de resistencia de materiales de la Pontifica Universidad Católica del Ecuador, para ser ensayados considerando los parámetros de control de calidad establecidos en la norma INEN 3040 para una edad de 7, 14 y 28 días. El estudio nos permitirá determinar la eficiencia de los agregados en la elaboración de hormigón para la fabricación de adoquines.

ABSTRACT

In the present investigation, tests were carried out on the aggregates from the San Francisco mine located in the province of Pichincha and the San Roque mine located in the province of Imbabura, determining their physical-mechanical characteristics, for later through the design of the dosage By weight, using the ACI 211-1 method and based on a specific water / cement ratio, 174 concrete pavers were made at the facilities of the "MSM-Materials and Constructions" factory located in the city of Cayambe, using a vibro- semi automatic compaction. The paving stones were subjected to an adequate curing process to later be transported to the materials resistance laboratory of the Pontifical Catholic University of Ecuador, to be tested considering the quality control parameters established in the INEN 3040 standard for an age of 7, 14 and 28 days. The study will allow us to determine the efficiency of the aggregates in the production of concrete for the manufacture of paving stones.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El ser humano desde sus orígenes ha buscado la forma de cumplir con una de sus principales necesidades, que es el de transportarse; actividad que se ha desarrollado con el pasar de los años creando nuevos caminos y rutas que permitan la comunicación entre diferentes regiones, promoviendo de esta forma el comercio y desarrollo socioeconómico, el mismo que promueve el progreso de la infraestructura vial.

De esta forma se da la aparición del adoquín 25 siglos atrás con las civilizaciones cartaginesa y romana. Inicialmente empleando piedras para la construcción de carreteras pero debido a su forma esta fue modificada mediante el pulido, dándole otras dimensiones y acabado, mejorando la circulación. Esta técnica de construcción vial fue empleada hasta finales del siglo XIX por la llegada de la revolución industrial y la aparición del vehículo. (Jara, 2019)

En la actualidad el pavimento articulado de hormigón es el resultado del perfeccionamiento de esta técnica, con la característica principal de tener una mayor resistencia permitiéndole soportar cargas vehiculares; además de ser emplazado con facilidad, siendo una actividad constructiva sencilla y económica. (Jara, 2019)

A finales de la década de los sesenta e inicio de los ochenta, la capa de rodadura conformada de bloques prismáticos prefabricados de hormigón de cemento hidráulico ha cubierto gran parte del área urbana cumpliendo necesidades: peatonales, accesos residenciales, estacionamientos, caminos secundarios y calles principales, visibles en las principales regiones del Ecuador. (Realpe, 2019)

En el país los adoquines de hormigón son producidos en base a diseños de mezcla entre cemento, agregados, agua y en algunos casos aditivos, con una dosificación en cantidades relativas que reduzcan su costo de la mayor forma posible. El sistema de adoquinado es de fácil colocación y restitución en caso de daño o construcción de un sistema sanitario para la población por lo que es utilizado en su mayoría en la red vial cantonal urbana. (Saraguro & Carrión, 2020)

Uno de los principales ensayos realizados para los adoquines de hormigón constituía el ensayo a la compresión simple, el mismo que se especifica en la norma INEN 1485 derogada. A partir del mes de abril de 2016, mediante resolución No. 16 099, se aprueba y oficializa la norma INEN 3040 (Adoquines de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo).

La construcción de vías con adoquín en el Ecuador no está fundamentada en una norma que contemple los valores y rangos reales para los materiales utilizados en la fabricación del adoquín debido a que todas las especificaciones están basadas en normas internacionales. Actualmente la norma que se debe aplicar para un control de calidad una vez elaborados los adoquines es la INEN 3040, que permite analizar el comportamiento de los especímenes sometidos a diferentes métodos de ensayo. Y una vez que cumplan estos puedan ser utilizados en áreas de tránsito de personas como vehicular. Sin embargo, aún existen fabricantes que solo realizan el ensayo de compresión simple para analizar la resistencia de su producto olvidando el ensayo de tracción indirecta puesto que el adoquín falla por tensiones de tracción. Obteniendo valores más reales y con un control de calidad mejorado. (Saraguro & Carrión, 2020)

1.2 Planteamiento del problema

En la presente investigación se realizará un análisis de las propiedades físicas y mecánicas de agregados provenientes de dos minas diferentes para evaluar su eficiencia en la fabricación de adoquines de hormigón. La primera mina es la de San Francisco ubicada en la provincia de Pichincha y la segunda es la mina de San Roque ubicada en la provincia de Imbabura; ambas minas suministran materiales pétreos para la fabricación de adoquines.

En la actualidad el contar con materiales pétreos que permitan fabricar prefabricados de hormigón de calidad requeridos por instituciones públicas y privadas, para garantizar a su población obras de infraestructura vial seguras y de larga vida útil, se ha vuelto imprescindible, para ello sus departamentos de fiscalización realizan un control de calidad de los especímenes a ser utilizados, basándose en los parámetros detallados en la norma INEN 3040 vigente y la norma derogada INEN 1485 , en la cual se detallaba solo la resistencia a la compresión en adoquines sin considerar fuerzas y fenómenos a las cuales se encuentran expuestos. De esta forma se puede realizar recomendaciones para obtener posibles mejoras en la producción de estos elementos de hormigón en el país.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar un análisis comparativo de la eficiencia del comportamiento de los áridos de las minas San Francisco y San Roque utilizado en la fabricación de adoquines de hormigón bajo la exigencia de la norma INEN 3040.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar las características físicas de los materiales pétreos de las minas en análisis.
- Aplicar la normativa INEN 3040 en adoquines de hormigón fabricados con los agregados de las minas en estudio.
- Comparar resultados de los adoquines diseñados con los materiales provenientes de cada mina utilizando una misma relación agua/cemento, basados en los requerimientos de control de calidad de la norma INEN 3040.
- Analizar los beneficios de la aplicación de la normativa INEN 3040 basándose en los resultados de los ensayos realizados para la futura fabricación de adoquines en el país.

1.4 Alcance

Realizar un análisis de la eficiencia en la fabricación de adoquines de hormigón utilizando agregados pétreos obtenidos de las minas de San Francisco de la provincia de Pichincha y San Roque de la provincia de Imbabura, bajo los requerimientos de calidad especificados en la norma INEN 3040.

Bajo esta premisa se considerarán 3 tipos de agregados por mina, el primero es la chispa, material de 3/8 a 1/2” pulgada, el segundo es la arena gruesa que las minas proveen a los fabricantes para ser parte de la mezcla y el tercero es una arena más fina que se utiliza en su mayoría para llenar posibles vacíos en la mezcla y dar un acabado a las caras de los adoquines. Una vez que se tenga resultados estos deberán ser analizados en base a la normativa INEN 872 para identificar cuál es el agregado que mejor se acopla a los requerimientos para la fabricación de hormigón.

Se buscará determinar cuál de los agregados presenta un mejor desempeño para la fabricación de adoquines de hormigón, los mismos que serán ensayados mediante la aplicación de la norma INEN 3040 en un laboratorio de resistencia de materiales.

Los ensayos a realizarse en los agregados considerados en la investigación son: granulometría, peso unitario, contenido de materia orgánica, abrasión, terrones de arcilla y absorción; evaluando con cual se tiene una mayor eficiencia en el diseño y fabricación de hormigón seco aplicable en la elaboración de 174 adoquines de hormigón, los mismos que serán sometidos a ensayos de absorción, tracción indirecta, resistencia al desgaste por abrasión, compresión simple y deslizamiento, determinando cuál de estos cumplen con las características de cada ensayo establecido en la norma INEN 3040.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Adoquín

2.1.1 Definición

Los adoquines de hormigón son bloques macizos individuales prefabricados a base material pétreo, cemento y agua. Los cuales reciben su forma mediante un proceso de vibro-compactación. Siendo empleados como parte del pavimento articulado.

Los mismos deben cumplir propiedades y características para una correcta resistencia a las cargas producidas por el tránsito de vehículos, principalmente al desgaste superficial que se genera con el continuo uso.

En el Ecuador generalmente se usa bloques prismáticos de hormigón de cemento hidráulico en superficies de tránsito peatonal y vehicular, tal como se observa en las calles de Quito y Guayaquil. (Realpe, 2019)

Ventajas del uso de adoquines de hormigón respecto al pavimento rígido

- Se pueden fabricar gran variedad de formas al cumplir con los estándares de calidad del material.
- Al finalizar la fabricación de los adoquines, se los puede dar varias tonalidades de colores, utilizando pigmentos para cemento, de esta forma se le da un terminado de colores inalterables. Estos pigmentos para el teñido del cemento se los debe mezclar por un periodo de 5 minutos con la finalidad de darle un buen acabado. La dosis para aplicar deberá ser el 30% del hormigón, esta cantidad abastece de 9 a 10 kg dentro de un metro cubico de mezcla de hormigón. (Jara, 2019)
- El mantenimiento de los adoquines es económico con relación a la de otros materiales, puesto que solo es necesario retirar vegetación entre sus juntas y rellenar las mismas cuando sea necesario.

- Sus propiedades lo hacen resistente a sustancias como líquidos, aceites, grasas, efectos de bajas temperaturas, sales y deshielos que muchas veces hacen que un pavimento presente daños en su estructura.
- Facilidad de reparaciones y de montaje, ejecutado por personal calificado en la colocación de estos elementos de hormigón.
- El adoquín presenta una durabilidad de 25 años aproximadamente al estar correctamente colocado.
- Su superficie presenta una resistencia al deslizamiento aceptable según la normativa de construcción.

Ilustración 1: Adoquín vehicular



Fuente: http://www.hormipisos.com/producto/florencia-8cm/

2.1.2 Dimensiones de adoquines

Las referencias dimensionales son determinadas en base a las dimensiones nominales. Estas dimensiones nominales son dictadas por el fabricante en la ficha técnica. Para seguir un proceso de regulación las dimensiones y desviaciones son medidas de acuerdo con la norma INEN 3040 anexo C.

Los adoquines tienen la posibilidad de ser fabricados con caras laterales perimetrales, espaciadores, aristas achaflanadas. Siempre que el fabricante detalle estas características en las dimensiones nominales. (INEN 3040, 2016)

En el país la forma y dimensiones de los adoquines están detalladas en sus especificaciones técnicas y planos por el fabricante; en caso de no estar precisadas el ministerio de obras públicas determina en las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes utilizar un espesor mínimo de 80 mm en zonas de tráfico vehicular y 60 mm para áreas peatonales. (MOP, 2002)

2.1.3 Clasificación de los adoquines

La clasificación del adoquín viene dada por diferentes características como: arreglo, forma, uso, carga a la que estará sometida a compresión que presenta este elemento constructivo.En la actualidad se clasifica los adoquines por su tipo de fabricación en 2 tipos:

1. **Adoquines mono capa:** Su fabricación se realizar con una sola capa de hormigón estos pueden ser con o sin color. Generalmente fabricados por un método manual o semi-manual. (Cabezas M. , 2014)
2. **Adoquines bicapa:** Está conformado por 2 capas de hormigón. La primera es su capa base hecha de hormigón sin la presencia de ningún tipo de pigmento, y la segunda capa de un mortero de cemento con pigmentos para dar color. Este tipo de adoquín es elaborado por entidades calificadas para la producción con altos estándares de calidad. (Cabezas M. , 2014)

2.2 Materiales para la fabricación

2.2.1 Agregados

Parte de la fabricación de adoquines corresponde al uso de agregados finos y gruesos, a su vez estos están diferenciados por su origen, composición mineralógica, agregados de trituración y agregados artificiales. (Rodríguez, 2004).

Los agregados naturales son los utilizados después de haber pasado por un proceso de modificación de distribución de tamaño para adaptarse según los requerimientos necesarios para su utilización. Existen también agregados que se obtienen mediante procesos de trituración de rocas o de agregados naturales con una granulometría rechazada. (Rodríguez, 2004)

Los agregados artificiales son procedentes de un proceso mecánico. Y para el caso de los agregados finos reciben el nombre de polvo de piedra. En el caso de los gruesos son ripio triturado o comúnmente conocido como chispa. Es importante recalcar que sin importar su origen estos deben regirse a la norma INEN 872.

La norma INEN 3040 obliga el uso de materiales cuyas propiedades y características sean las adecuadas para la actividad. Además, la prohibición del uso de amianto o materiales que lo contengan.

El amianto o también conocido como asbesto, es un término utilizado para describir materiales fibrosos claros resistentes al calor y la corrosión. El continuo uso de este material es perjudicial para la salud, presentando casos de cáncer en el personal que está en continuo contacto. Por esta razón es importante evitar que esté presente en cualquier proceso de fabricación. (Regueiro, 2008)

En la presente investigación se analizará los materiales pétreos en función de la normativa nacional : INEN 860, INEN 696, INEN 857, INEN 872, para determinar su idoneidad para la fabricación de hormigón.

2.2.2. Cemento

Este material fino que funciona como un conglomerante está conformado de una mezcla de caliza y arcillas calcinadas molidas; que se ha venido perfeccionando desde 1824 con Joseph Aspdin y James Parker cuando patentaron el primer material conocido como cemento portland obtenido de la combinación de piedra caliza arcillosa y carbón. Posteriormente la mejora en el proceso de producción por parte de Isaac Johnson en 1845 permitiría fabricar cemento quemando una mezcla de caliza y arcilla hasta la conformación del Clinker, con la mejora tecnológica atreves del tiempo en 1909 Thomas Alba Edisson patentó los hornos rotatorios de calcinación que complementado con el molino tubular permitió la producción en grandes cantidades para lograr su comercialización. El perfeccionamiento de los procesos de producción permite elaborar distintos tipos de cemento con la finalidad de satisfacer las necesidades actuales en el ámbito de la construcción. (Holcim, 2016)

Según el Instituto Ecuatoriano del cemento y hormigón (INECYC) hasta el año 2015, en el país la empresa “Holcim Ecuador S.A” tuvo una participación del 58,73% en el mercado del cemento, seguido de la “Unión Andina de cementos S.A” (UNACEM) con un 23,61% y por ultimo la “Unión cementera nacional” (UCEM) con el 17,66%, se puede evidenciar que “Holcim S.A” encabeza la producción de cemento hidráulico. En las últimas décadas en el país solo se emplea el cemento hidráulico, que es un material de propiedades inorgánicas que se lo encuentra dividido finamente y que tiene la característica de fraguar, endureciéndose al entrar en contacto con el agua, esto es debido a la interacción química que se produce en el proceso de hidratación. La principal función del cemento en la mezcla es la de endurecer, dar estabilidad y desarrollar una resistencia conforme envejece en los primeros días después de su fabricación. (Holcim, 2016)

2.2.2.1 La clasificación del cemento viene dada por su desempeño:

- **Cemento (GU):** De uso general. Este tipo de cemento hidráulico es utilizado en proyectos donde no es necesario propiedades especiales. (Holcim, 2016)
- **Cemento (HE):** Alta resistencia. Este tipo de cemento le proporciona una gran resistencia al hormigón en edades tempranas (menor a una semana). (Holcim, 2016)
- **Cemento (HS):** Alta resistencia a los sulfatos. Este tipo de cemento se emplea en hormigón que estará expuesto a la acción severa de sulfatos. Hormigones que se encuentran en contacto con aguas subterráneas. (Holcim, 2016)
- **Cemento (MS):** Moderada resistencia a los sulfatos. Es utilizado en hormigones para un moderado ataque de sulfatos. En proyectos en contacto con agua subterráneas que no llegan a ser muy severas para la resistencia del hormigón. (Holcim, 2016)
- **Cemento (MH):** Moderado calor de hidratación. Utilizado en proyectos donde se requiera un calor de hidratación moderado y requiera un control en el aumento de temperatura. (Holcim, 2016)
- **Cemento (LH):** Bajo calor de hidratación. Este tipo de cemento utilizado donde la tasa de cantidad de calor que se genera a causa de la hidratación debe ser disminuida. Este tipo de cemento desarrolla resistencias en un mayor tiempo. (Holcim, 2016)

2.2.3 Agua

Este elemento de gran importancia cumple dos funciones importantes en el proceso de fabricación de hormigón. La primera es trabajar como un reactivo que permite realizar la reacción química de los elementos que componen el hormigón. La segunda es

hidratar las partículas del cemento y darles propiedad de manejabilidad, permitiéndole dar acabados a la mezcla. (Osorio, 2019)

El agua tiene un papel de gran importancia en la elaboración de adoquines, puesto que afecta directamente en el diseño de la mezcla , en el valor de la relación agua/cemento que determina su resistencia y durabilidad, siempre con la finalidad de obtener resistencia requerida. (Rodriguez, 1995)

La relación agua/cemento depende en gran magnitud del agua, puesto que su relación con el cemento le dará las características finales a la mezcla. En el caso de tener mayor cantidad de agua, esta aumentará la fluidez de la mezcla afectando directamente a su plasticidad y trabajabilidad siendo beneficioso para la mano de obra; sin embargo, en caso de exceder la cantidad de agua resulta perjudicial pues disminuirá la resistencia al tener un volumen mayor de espacios provocados por la excesiva cantidad de agua. De esta forma es comprobado que la resistencia del hormigón depende en un gran porcentaje de la relación por peso del cemento y el agua. En donde valores bajos de relación agua/ cemento tendrá mayores resistencias. (Guevara, 2011)

La durabilidad también se ve afectada en los casos que el agua está presente en cantidades excesivas puesto que las partículas de cemento se encuentran muy espaciadas entre sí. Y al momento de fraguar el cemento, los productos que son parte de la hidratación del cemento no puedan recubrir todo este espacio produciendo una mayor relación agua/cemento. (Guevara, 2011)

El uso del agua debe ser controlado, evitando la presencia de aceites, grasas, hidratos de carbono, sulfatos que a largo plazo tendrán incidencia en la resistencia del hormigón.

2.3 Fabricación de Adoquines

2.3.1 Tipos de Fabricación

2.3.1.1. Método Manual

Por lo general con este método los procesos se los realiza de manera manual utilizando maquinaria y herramientas rudimentarias, accionadas por mano del hombre; este tipo de fabricación de adoquines se da en zonas rurales retiradas, sin mayor control con resultados poco satisfactorios. (Chaluiza, 2012)

El método manual se lo realiza con el uso de la siguiente máquina:

Ilustración 2:Máquina de elaboración manual de adoquines



Fuente: https://www.indumei.com/maquinaria-adoquin

2.3.1.2 Método Semi manual

Este método es resultado de la interacción del hombre y la máquina para la elaboración de adoquines siendo el más utilizado en fábricas. Este proceso está a cargo de un operario quien coloca en una mezcladora los componentes del adoquín como arena, cemento, chispa y agua. Este procedimiento se basa en la dosificación que cada empresa tenga definida. La mezcla pasa a una máquina vibro compactadora, la misma que cuenta con varios moldes para dar forma al adoquín; una vez finalizado el proceso, el fabricante tiene un mayor control de los parámetros de calidad y resistencia. (Proaño, 2018)

Ilustración 3:Máquina de elaboración semi-manual de adoquines



Fuente: Autores (2020)

2.3.1.3 Método automático

Esta metodología se basa en un proceso completamente automatizado, desde su dosificación hasta su resultado. El hombre sólo interviene en el control de calidad, que depende de diferentes factores como: calidad de los agregados, relación a/c, calibración de la maquinaria, etc. (Proaño, 2018)

Ilustración 4:Máquina de elaboración automática de adoquines



Fuente: https://www.made-in-china.com/showroom/berrymachine/product-detailjvtJFHKorpRN/China-Br10-15-Automatic-Concrete-Block-Brick-Making-Machine.html

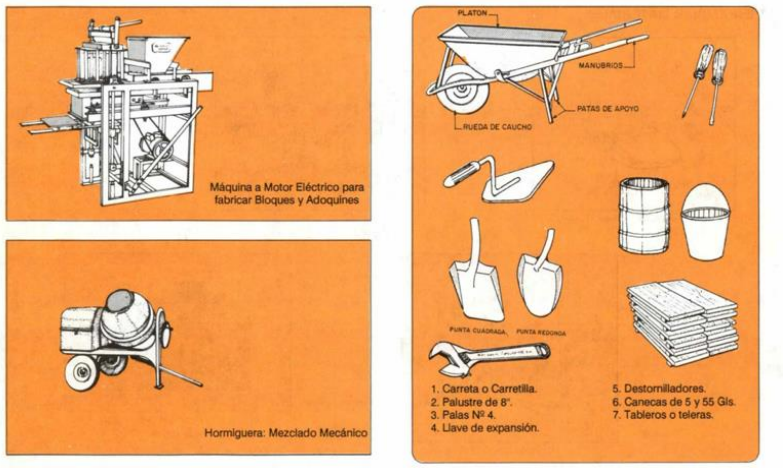
2.3.2 Procesos de fabricación de adoquines

2.3.2.1 Equipos, herramientas y materiales

Los equipos utilizados dependen del método de fabricación que se emplee:

En el caso de la fabricación manual serán necesarias herramientas menores para su elaboración como son: carretilla, pala, balde, tableros, moldes, máquina a motor eléctrico, etc. En el caso de la producción semi manual necesitan de las mismas herramientas menores, mezcladora y la máquina vibro compactadora con sus respectivos moldes. (Quiceno, 1990)

Ilustración 5:Equipos , herramientas y materiales



Fuente: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/5008/1/manual_fabricacion_bloques_adoquines.PDF

2.3.2.2 Dosificación

El método de dosificación del hormigón consiste en definir las cantidades de agregados, agua y cemento que estarán presentes en la mezcla, y con los cuales se busca conseguir características de consistencia, durabilidad y resistencia. La determinación de las cantidades se lo realiza al peso; sin embargo, para su aplicación en campo se realiza una transformación de peso al volumen.

Este proceso consiste en la medición de los materiales necesarios para producir el hormigón que se requiere para la fabricación del adoquín. Para facilitar este proceso se puede realizar una transformación de las cantidades de peso a volumen, utilizando un cajón de madera de 33 cm x 33 cm, midiendo la cantidad de materiales necesarios.

Se debe realizar un control en el que el cemento no presente endurecimientos. En el caso de la arena se debe consultar al personal técnico de la correcta dosificación. (Quiceno, 1990)

Diseñar correctamente la mezcla de los elementos que componen el hormigón facilitará que cumpla con la resistencia requerida, adquiriendo las propiedades adecuadas. Cumpliendo con los requerimientos de la normativa en este caso INEN 3040. La dosificación de los componentes (cemento, agua, agregados) dependen de factores externos como la granulometría, propiedades de los agregados, tipo y origen del cemento, relación agua-cemento. Al ser una gran cantidad de variables se lo debe tratar como un proceso iterativo dependiendo el método de dosificación hasta obtener como resultado los parámetros requeridos. (Hidalgo, 2013)

2.3.2.3 Mezclado

Este proceso consiste en conformar de forma técnica los materiales a utilizar en la composición de la mezcla. Con la finalidad de facilitar el proceso se utiliza una mezcladora en el cual se utiliza baldes o canecas para introducir correctamente el material. La mezcla concluirá al tener como resultado un estado homogéneo.

2.3.2.4 Modelado

Finalizado el proceso de mezclado el hormigón toma la forma solicitada por el fabricante en moldes, los mismos que deben estar limpios para proceder a ser compactados por acción de apisonadores. De forma experimental se determinará la duración, frecuencia y amplitud de la presión de compactación. Los adoquines son retirados con cuidado evitando posibles fracturas.

2.3.2.5 Fraguado

Es la reacción química del cemento con el agua en el cual produce rigidización (pérdida de plasticidad) de su estructura. En esta transición los adoquines deben estar protegidos del sol, altas temperaturas y viento. Evitando que el agua se evapore pues esto afectará directamente en su resistencia.

2.3.2.6 Curado de adoquines de hormigón

Este proceso consiste en un periódico riego de agua en los adoquines mediante una pequeña llovizna con el objetivo de conservar la humedad del concreto y lograr la reacción química agua-cemento alcanzando la resistencia requerida.. (Seminario, 2017)

El curado dependerá de las condiciones climáticas en las cuales sea fabricado el adoquín, es así que en verano el curado dura alrededor de 3 días mientras que en invierno se lo puede realizar por 5 días. (Cabezas M. , 2014)

2.3.2.7 Almacenamiento

En el caso de los adoquines deben ser almacenados en lugares alejados del sol, lluvia, viento. Pues el fabricante debe garantizar un buen curado evitando fisuras y daños.

2.4 Descripción de la mina San Francisco de la provincia de Pichincha

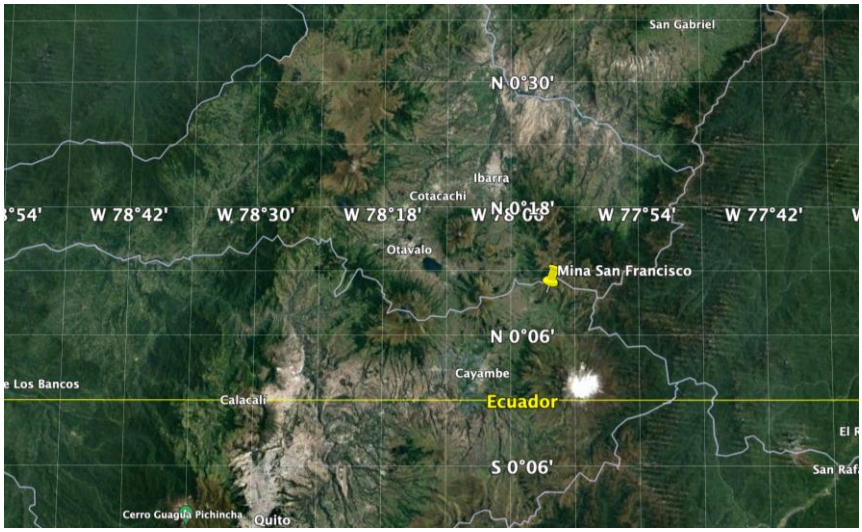
La Mina San Francisco, se encuentra ubicada en la Provincia de Pichincha, cantón Cayambe, parroquia de Olmedo, comunidad de Pesillo y cuenta con un área aproximada de 4 hectáreas, y cuenta con el Registro Ambiental y permisos de la ARCON necesarios para la explotación de los agregados que esta mina provee.

El clima del lugar donde se encuentra ubicado es frío, con temperaturas que oscilan desde los 4 a los 15 grados centígrados, debido a que se encuentra cerca a los páramos del Nevado Cayambe.

Las coordenadas geográficas del área minera San Francisco son:

Latitud:	0° 08' 37.9" N
Longitud:	78° 03' 06.2 " O
Altitud:	entre 2700 y 3200 msnm

Ilustración 6: Ubicación de la Mina San Francisco



Fuente: Google Earth

Ilustración 7:Ubicación de la mina San Francisco en el Ecuador



Fuente: Autores (2020)

Los terrenos aledaños a la mina son básicamente utilizados para el uso de cultivos de altura como papa, cebada, quinua, habas, y para la crianza de ganado vacuno, y aprovechan las aguas del Río La Chimba para abastecer a sus sembríos.

La cuenca del río la Chimba, corresponde a uno de los afluentes del río Pisque, el cual nace en las faldas del nevado Cayambe y se intercepta con el río Granobles para finalmente desembocar en el río Pisque.

La extracción del material pétreo se lo obtiene de depósitos aluviales en una zona plana, en el lecho derecho del río, y se observan excavaciones para la instalación de diferentes tamices y de una planta trituradora de piedra.

Ilustración 8: Depósito aluvial- Mina San Francisco



Fuente: Autores (2020)

El área minera se encuentra constituida por formaciones volcánicas, constituida por andesitas o riolitas y piroclastos.

Actualmente la explotación de los agregados en San Francisco es de 120 metros cúbicos diarios aproximadamente, puesto que cuenta con un permiso de explotación de mina artesanal, pero debido al incremento en un 50% de explotación se esta tramitando la transición a pequeña minería.

Los agregados explotados en el área minera son tratados a través de procesos de cribado y de trituración, consiguiendo con ello agregados del tamaño requerido, aptos

para ser utilizados en la elaboración de hormigones de diferentes resistencias, así como también para el abastecimiento de piedra de cimiento y piedra bola que tienen diámetros que van desde los 20 a 40 cm.

2.5 Descripción de la mina San Roque de la provincia de Imbabura

La Mina de San Roque, se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura, cantón Antonio Ante, parroquia de San Roque, en medio de formaciones montañosas, que presentan con una estratigrafía con vetas de capa vegetal, sedimentos volcánicos y roca andesita en una profundidad que oscila entre los de 20 a 50 metros, materia prima para la obtención de los diferentes tipos de agregados como la arena, ripio, chispa, piedra de cimiento, piedra bola, entre otros, con tamaños de granulometría adecuados para las aplicaciones ingenieriles. (Vilca, 2018)

Las coordenadas geográficas del área minera San Francisco son:

Latitud:	0° 18' 40 " N
Longitud:	78° 14' 22 " O
Altitud:	2370 msnm

Ilustración 9:Ubicación Mina San Roque



Fuente: Google Earth

Ilustración 10: Ubicación de la mina San Roque en el Ecuador



Fuente: Autores (2020)

El sector rural donde se ubica la mina está principalmente ocupado para actividades como la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, notándose la presencia de plantas endémicas como la chilca y pencas.

El clima del sector donde se ubica el área minera de San Roque es frío seco alcanzando unas temperaturas que fluctúan de entre los 7.5 a los 22 grados centígrados, lo que permite la presencia de cobertura vegetal herbácea.

Tabla 1:Temperatura del Cantón Antonio Ante

Temp. del aire a la sombra (°C)			Punto de Rocío	Temp. (°C)	Precipitación (mm)		Heliofanía (horas anual)	Tensión de vapor (hPa)	Humedad relativa (% media)
Máx.	Mín.	Mensual			Mensual	Máxima en 24 horas			
22	7,5	15,5	11,1	7,5 - 15,7	714,4	36,2	1916,9	13,3	75

Fuente: Anuarios meteorológicos del INAMHI, Elaboración: PDOT, 2011

2.6 Norma INEN 3040

La norma INEN 3040 hace referencia a “Adoquines de hormigón, requisitos y métodos”. Detalla los requisitos necesarios en cuanto a calidad de materiales, métodos de ensayo de adoquines prefabricados, requerimientos, dimensiones y propiedades

físicas y mecánicas que deben cumplir dichos elementos de hormigón para cumplir con especificaciones contractuales.

Es importante mencionar que tener claridad y manejo de conceptos relacionados al tema de estudio, permitirá un desarrollo eficaz de los ensayos que la norma plantea.

En cuanto a los requisitos que deben cumplir los adoquines, la norma establece "Los adoquines pueden ser monocapa, con un solo tipo de hormigón, o doble capa, con diferentes tipos de hormigón en su capa superficial y de apoyo. Cuando los adoquines sean fabricados con capa superficial, o doble capa, ésta, debe tener un espesor mínimo de 4 mm sobre el área declarada por el fabricante. (…).

Una arista puede considerarse biselada; cuando sus proyecciones verticales u horizontales no superen los 2 mm. Una arista biselada, cuyas proyecciones verticales u horizontales excedan los 2 mm debe considerarse como achaflanada. Las dimensiones deben ser declaradas por el fabricante. Los adoquines pueden ser fabricados con perfiles funcionales o decorativos, pero estos no deben ser incluidos en las dimensiones nominales del adoquín. La superficie de los adoquines puede ser texturizada, ser sometida a un tratamiento secundario o ser tratada químicamente; estos acabados o tratamientos deben ser declarados y descritos por el fabricante." (INEN 3040, 2016)

En cuanto a los ensayos, la norma propone criterios de conformidad para la toma de muestras para resistencia y carga de tracción indirecta, resistencia a la abrasión, resistencia al deslizamiento, absorción, y sus respectivas tolerancias.

Los adoquines deben cumplir con los siguientes requisitos para ser declarados como aptos para su uso:

- Resistencia climática por absorción del agua: Se determina con el ensayo de absorción total de agua. Los adoquines deben cumplir con un índice de absorción menor o igual al 6%. (INEN 3040, 2016)
- Resistencia a la rotura por tracción indirecta: Determinado por el ensayo de tracción indirecta. Los adoquines deben cumplir una resistencia característica de tracción indirecta (T) mayor o igual a 3,6 MPa. Ningún valor deberá ser menor a 2,9 MPa ni presentar una carga de tracción indirecta menor a 250 N/mm. (INEN 3040, 2016)
- Resistencia al desgaste por abrasión: Determinado por el ensayo de la rueda ancha. Los adoquines deben cumplir con una longitud de cuerda de la huella dejada por la rueda menor o igual a 25mm. (INEN 3040, 2016)
- Resistencia al deslizamiento: Determinado por el ensayo de deslizamiento/resbalamiento sin que sus caras hayan sido pulidas. La norma no detalla un valor a cumplir , pero en caso de ser necesario se realiza el ensayo del péndulo de fricción declarando un valor. Además adoquines que presenten rugosidades, ranuras, surcos que impidan realizar el ensayo, se los debe considerar como productos satisfactorios sin la necesidad de ser ensayado. (INEN 3040, 2016)

Las tolerancias que expone la norma se encuentran en función de las dimensiones y espesores de los adoquines, así como también en la presencia o no del bisel que mejora la apariencia de este elemento de hormigón.

2.7 Norma INEN 1485 (derogada)

Desde el año de 1987 al año 2016 esta norma era considera como el único requisito para el control de calidad de Adoquines de hormigón en el Ecuador, sin embargo, en abril del 2016 esta norma fue reemplazada por la norma INEN 3040.

La norma INEN 1485 fue considerada en la presente investigación con la finalidad de identificar una posible relación entre la resistencia a la compresión detallada en esta norma y los ensayos considerados en la nueva norma.

El objetivo de esta norma derogada era establecer el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión en adoquines utilizados para tráfico vehicular ligero y pesado, así como para tránsito peatonal.

El procedimiento establecido en esta norma era someter a un adoquín a una carga creciente de compresión hasta que éste presente una falla; anteriormente esta norma era considerada como el único parámetro de calidad de adoquines de hormigón.

Actualmente por desconocimiento esta norma sigue siendo utilizada por varias entidades públicas y privadas a pesar de que ya se encuentra derogada.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS

El presente trabajo de investigación estará compuesto por 5 pilares mediante los cuales se desea determinar la eficiencia del material pétreo en la fabricación de adoquines de hormigón ensayados bajos los parámetros de calidad descritos en la normativa INEN 3040 e INEN 1485 (norma derogada). El primer componente es el teórico, con la finalidad de contar con el fundamento teórico relacionado con los muestreos, ensayos, análisis, etc.

La obtención del material pétreo será el segundo pilar en esta investigación, es necesario trasladarse a los diferentes puntos de extracción en la provincia de Imbabura y la provincia de Pichincha; este proceso será realizado con la mayor precaución y tomando muestras más representativas de las dos canteras en estudio de acuerdo con los procedimientos establecidos en la norma INEN 695, para la obtención de muestras de áridos finos y gruesos. Los agregados hasta esta instancia debieron pasar por un proceso de extracción, trituración, cortado, desbaste, acabado eliminando irregularidades, almacenamiento y transporte. En este caso se trasladarán al laboratorio para ser ensayados.

Ilustración 11:Obtención del material pétreo



Fuente: Autores (2020)

Es importante que los agregados a emplear en la fabricación de adoquines de hormigón cumplan con la norma INEN 872 “Áridos para hormigón. Requisitos” de esta forma garantizarán la calidad de los áridos, tamaño máximo nominal y requerimientos específicos de granulometría. La normativa INEN 872 estipula que los responsables de determinar la dosificación de mezcla de hormigón están en obligación de determinar de forma conjunta la dosificación de árido fino y grueso. Ya que no existe una norma que regule las características de los agregados para la elaboración de hormigón seco, se tomará como referencia la norma INEN 872 mencionada anteriormente, conociendo las limitaciones de esta.

Los agregados componen en un 70% a 80% del total de la dosificación al peso de la mezcla de hormigón por este motivo sus características deben tener un mayor control, además son los encargados de generar resistencia a la aplicación de cargas, disminución de retracción en la etapa de fraguado y finalmente generar una mayor durabilidad del concreto. (Cabezas M. , 2014)

En el caso de agregado fino la normativa INEN 872 recomienda que esté conformado de arena natural, arena elaborada o una combinación de estas, evitando que su forma sea alargada siendo cónicas o esféricas. Para su uso debe ser seleccionado de fuentes que demuestren tener un registro de desempeño aceptable en actividades de construcción con hormigón. En el caso de esta investigación las dos minas cuentan con sus permisos de explotación de agregados pétreos y estas constituyen una de las principales fuentes de abastecimiento de materia prima para la fabricación de adoquines en la provincia de Imbabura y Pichincha. (INEN 872, 2011)

La arena o agregado fino se emplea en la cantidad adecuada puesto que trabaja como un material que ocupa los posibles vacíos en la mezcla; al estar presente en bajas cantidades tendrá mayor dificultad para ser manejada, y en cantidades altas generará

una mayor necesidad de agua de modo que aumenta las cantidades de cemento afectando a la relación agua-cemento. (Cabezas M. , 2014)

En esta investigación se analizarán dos tipos de agregado fino obtenidos de cada cantera. El agregado fino con mayor tamaño se lo denominará “arena gruesa o agregado fino tipo 1”. El agregado fino de menor tamaño se lo denominará “arena o agregado fino tipo 2”. Estas denominaciones estarán presentes en el análisis y resultados.

Para la utilización de los agregados gruesos de igual forma deben estar sustentados y respaldados por la normativa INEN 872. Estos deben estar compuestos de grava, piedra triturada, grava triturada, hormigón de cemento hidráulico triturado o a su vez por una combinación de estos. Estas partículas deben tener una forma esférica y cúbica, siendo las más recomendables para la fabricación de hormigón al tener un mayor número de áreas de contacto reduciendo vacíos entre partículas. (INEN 872, 2011)

En el caso de realizar los ensayos con agregados gruesos se debe tener en cuenta que el porcentaje de desgaste no sobrepase el 50% del ensayo de la máquina de los ángeles (abrasión) como lo especifica la norma INEN 860. Siendo el caso de que los agregados no cumplan los requerimientos pueden ser utilizados siempre que el proveedor garantice que el hormigón que se realizará con estos agregados cumplirá la resistencia y desempeño solicitado.

Una vez seleccionados los agregados estos deben ser almacenados en áreas cubiertas evitando ser afectados por la humedad, material orgánico, residuos, polvo, y almacenado correctamente en sacos con la finalidad de no alterar las muestras y proceder a realizar ensayos en el laboratorio.

El tercer componente de la metodología en esta investigación es realizar ensayos de los agregados en un laboratorio que esté equipado con los equipos y personal preparado para trabajar con los agregados. Los ensayos que se requiere para los agregados son: granulometrías, peso unitario, contenido de materia orgánica, desgaste de sulfatos, abrasión y equivalente de arena. Se los detalla en el inciso de ensayos de agregados con su respectiva normativa INEN.

Una vez finalizado los procesos de análisis de los agregados se debe fabricar los adoquines siendo el cuarto paso en la metodología. Acompañado de una dosificación cuya relación agua/cemento permita alcanzar resistencias requeridas. Para proceder a fabricar y poder llegar a una conclusión en el trabajo de investigación. Como ya se trató anteriormente el proceso de fabricación será semi manual con su respectivo tiempo de curado hasta obtener una resistencia específica.

El quinto y último proceso es ensayar los adoquines bajo la normativa INEN 3040 e INEN 1485 (derogada), a los 7, 14 y 28 días; en estas normas se detallan los ensayos en adoquines de : absorción, resistencia a la rotura por tracción indirecta, resistencia al desgaste por abrasión, resistencia al deslizamiento y compresión respectivamente.

Una vez finalizados los ensayos se evaluarán los resultados para identificar cuál de los agregados tiene una mayor eficiencia en la fabricación de adoquines de hormigón utilizando una misma relación agua/cemento, para posteriormente realizar conclusiones y recomendaciones finales.

3.1 Descripción de ensayo de agregados

3.1.1 Granulometría de agregado fino y grueso

Los análisis granulométricos consisten en la determinación de la distribución del tamaño de las partículas del material pétreo por diferentes aberturas de tamices según la normativa ASTM C 136 e INEN 696. El método es utilizado para determinar la

gradación de los materiales que serán utilizados para la fabricación de hormigón. Una vez finalizado los ensayos se determinará el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas además de proporcionar información para un control de la producción de mezclas con la presencia de agregados. (ASTM C 136, 2014)

El ensayo permite determinar la gradación de los materiales pétreos con la finalidad de utilizarlos para la fabricación de hormigón. Estas partículas pertenecientes a una muestra seca y masa conocida son separadas por tamaños en una serie de tamices y expresados en porcentajes de la masa total. Determinado una distribución. (INEN 696, 2011)

En el caso del muestreo de los materiales, se los debe mezclar correctamente hasta reducir la muestra a tamaño para ensayo y esta debe estar seca. El ensayo para agregado fino deberá tener una cantidad mínima de material de 300 gramos. (ASTM C 136, 2014)

Ilustración 12:Cuarteo del agregado





Fuente: Autores (2020)

Para realizar el ensayo se empleó: una balanza de precisión de 0,1%, el uso de un horno con una temperatura constante de 110 ± 5 °C. Por la naturaleza del ensayo se utilizó un agitador mecánico que cuenta con sus tamices ordenados de una abertura

mayor a una menor. Este agitador mediante el movimiento en diferentes direcciones provocará que las partículas de los agregados pétreos reboten entre la superficie de cada tamiz hasta quedar contenidas en el recipiente que contenga su gradación.

Ilustración 13:Agitador mecánico INECYC



Fuente: Autores (2020)

El procedimiento se lo debe llevar a cabo bajo la normativa INEN 696:

1. Se debe secar las muestras a una temperatura constante de 110 ± 5 °C. En el caso de agregados gruesos el secado debe ser obligatorio en caso de tener una cantidad de material más fino de 4,75 mm y un tamaño nominal de máximo menor a 12,5 mm.

Ilustración 14:Secado de agregados



Fuente: Autores (2020)

2. Seleccionar los tamices correctos desde 1” hasta el No.100 y utilizarlos en caso de ser necesario. Se debe apilar los tamices de arriba hacia abajo con el tamaño de las aberturas de forma decreciente. Se colocará la muestra en el tamiz superior. Procediendo a agitar los tamices con el agitador mecánico.
3. Realizar la actividad de tamizado durante un periodo suficiente que al finalizar el ensayo no más del 1% en masa del material retenido atraviesa el tamiz en 1 minuto de tamizado manual.

Ilustración 15:Tamizado de agregados finos



Fuente: Autores (2020)

4. Determinar la masa de cada incremento de tamaño en una balanza. Comparar la masa total del material después de haber tamizado. En el caso de que las cantidades difieran en un 0,3% de la muestra original seca no se deberán utilizar los datos.

3.1.1.1 Cálculos de granulometría de finos

El cálculo de los porcentajes pasantes y retenidos se los realiza en base a la masa total de la muestra inicial seca. Obteniendo el total de masas de las partes de incremento en cada uno de los tamices y en base a estas masas calcular los porcentajes. Para una

mayor facilidad se representan los datos en tablas. Estos datos permiten determinar el módulo de finura mediante la sumatoria de todos los porcentajes retenidos acumulados y dividido para 100. (ASTM C 136, 2014)

$$MF = \frac{\%\ Retenido\ acumulado\left(\frac{3}{8} + N^o4 + N^o8 + N^o16 + N^o30 + N^o50 + N^o100\right)}{100}$$

Es importante tomar en cuenta los límites para los agregados finos provenientes de arena natural, elaborada o la combinación de ambas resultado de la desintegración y trituración de rocas (respectivamente). En el presente estudio los límites serán los que están especificados en la norma INEN. Se detalla que el árido fino no deberá tener más del 45% pasante en cualquiera de sus tamices y el módulo de finura estará dentro de un rango de 2,3 a 3,1. (INEN 872, 2011)

Tabla 2:Límites del Agregado Fino

Especificaciones para hormigón normal tomadas como referencia		
% min.	% máx.	tamiz
100	100	3/8"
95	100	#4
80	100	#8
50	85	#16
25	60	#30
5	30	#50
0	10	#100
0	0	#200

Fuente: INEN 872

3.1.1.2 Cálculos de granulometría de gruesos

El procedimiento y cálculo es el mismo para agregados gruesos con la diferencia en la abertura de los tamices. Con las siguientes aberturas 2”, 1 ½”, 1”, ¾ ”, 3/8” , No. 4, No. 8 y No. 16. Para obtener el módulo de finura se lo realiza igual que para agregados finos. Con la siguiente expresión:

$$MF = \frac{S\,\%\ Retenido\ acumulado\ (2"+1/2\ "+1"+3/4"+3/8"+N^o4+N^o8+N^o16)}{100}$$

En el caso del agregado grueso los resultados de los ensayos deben ajustarse al tamaño comercial del agregado. La chispa empleada para la elaboración de adoquines entra en la clasificación de número de tamaño 8. Con un tamaño nominal entre 9,5 mm a 2,36mm. Los límites para esta granulometría se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3:Granulometría Agregado Grueso

Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
1	de 90 a 37,5	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
2	de 63 a 37,5	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	de 50 a 25,0	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
357	de 50 a 4,75	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---
4	de 37,5 a 19,0	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
467	de 37,5 a 4,75	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	de 25,0 a 12,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	de 25,0, a 9,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	de 25,0 a 4,75	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	de 19,0 a 9,5	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	de 19,0 a 4,75	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	de 12,5 a 4,75	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	de 9,5 a 2,36	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	de 9,5 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 [A]	de 4,75 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

[A] Al árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como árido fino. Se lo incluye como árido grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 8 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694.

Fuente: INEN 872

Tabla 4:Límites del Agregado Grueso

ESPECIFICACIONES		
% min.	% máx.	Tamiz
85	100	3/8"
10	30	#4
0	10	#8
0	5	#16

Fuente: INEN 872

3.1.2 Ensayo Peso unitario

El presente ensayo tiene la finalidad de determinar la masa unitaria de los agregados finos y gruesos al encontrarse en condición suelta o compacta. Calculando los vacíos presentes entre los materiales aplicando la normativa INEN 858.

La importancia del ensayo radica en la determinación de los valores de masa unitaria necesarios para definir la dosificación en una mezcla de hormigón, en la relación masa/volumen y conversiones en la compra de áridos. Los resultados están limitados para materiales secos, pues debido a la presencia de agua por absorción y libre afecta directamente al volumen. (INEN 858, 2010)

La masa unitaria (peso volumétrico) de los agregados, es la masa de unidad de volumen correspondiente al árido total. El que debe incluir el volumen de las partículas sueltas individuales tomando en cuenta la presencia de vacíos entre ellas.

Para realizar el ensayo es necesario: El uso de una varilla compactadora con diámetro de 16 mm y una longitud de 600 mm de acero, balanza con precisión de 0,1%, un molde de base cilíndrica con una altura de 80% a 150% de su diámetro, pala, placa de vidrio y termómetro.

Se debe preparar los agregados en una cantidad 125% a 200% respecto a la cantidad del molde lleno. Es necesario que la muestra esté seca con una masa constante en un horno a de 110 ± 5 °C. En este trabajo de investigación se aplicará el procedimiento por varillado para que el material se encuentre compacto y por paladas de esta forma el material se encontrará suelto.

3.1.2.1 Procedimiento por varillado para agregado fino y grueso

1. Se debe rellenar un tercio del molde. Compactar con la varilla con 25 golpes distribuidos de forma uniforme sobre la superficie. Se debe realizar el mismo proceso a los dos tercios hasta llegar al borde. Se debe enrasar dejando una superficie plana.
2. Al compactar cada capa se debe evitar entrar en contacto con la anterior.

3. Se determina la masa del molde y la masa del molde con los agregados. Con una aproximación de 0,05 kg.

Ilustración 16: Varillado de agregados



Fuente: Autores (2020)

3.1.2.2. Procedimiento por paladas para agregado fino y grueso

1. Para este procedimiento el material se encontrará suelto. Se llena el molde hasta rebosar por medio de una pala, el material debe ser descargado a una altura no mayor a los 5 cm del borde superior del molde. Evitar que los agregados caigan fuera del recipiente. Al llegar al borde este debe ser enrazado dejando una superficie plana en la que se equilibren las partículas.
2. Determinar la masa del molde y la masa del molde con los agregados. Los valores deben tener una aproximación de 0,05 kg para realizar los cálculos

Ilustración 17: Procedimiento por paladas



Fuente: Autores (2020)

3.1.2.3 Cálculo de peso unitario

El valor de masa unitaria se la determina con la siguiente expresión**:** (INEN 858, 2010)

$$M= (G - T) / V$$

Donde:

M= Masa unitaria (peso volumétrico) del árido. [kg/m3]

G= Masa del árido más el molde [kg]

T= Masa del molde [kg]

V= Volumen del molde [m3]

3.1.3 Ensayo de contenido de materia orgánica

Este ensayo está enfocado a los agregados finos que en algunos casos presentan impurezas orgánicas las cuales podrían afectar la hidratación del cemento y podría afectar el desarrollo de su resistencia. Para eliminar la presencia de este tipo de impurezas se las debe despejar de forma adecuada donde se las almacena y para eliminar el contenido vegetal se debe realizar un exhaustivo lavado. Para la detección de un alto contenido de material orgánico se debe llevar a cabo una prueba colorimétrica con hidróxido de sodio siempre fundamentado en la normativa ASTM C 40. (Waddell, 1997)

El presente ensayo determina aproximadamente la presencia de cantidades de impurezas orgánicas presentes en el árido fino para la elaboración de hormigón. El ensayo se enfoca en una muestra de árido fino en el cual se le agrega una solución normalizada de hidróxido de sodio, se lo agita y se tiene que esperar 24 horas para comprobar el color del líquido. Con un comparador de colores se determina si el si la muestra contiene impurezas orgánicas inapropiadas. (INEN 855, 2010)

Los materiales para emplearse en el ensayo son:

- Botella de Vidrio: Debe ser incolora con una capacidad entre 240 cm3 a 470 cm3. Debe tener tapones no solubles a la acción de los reactivos. La marca debe presentar 3 marcas de graduación así:
    - Nivel de solución: 70 cm3
    - Nivel del árido fino:130 cm3
    - Nivel de la solución de NaOH: 200cm3
- Comparador de colores: Placa orgánica de colores.

Antes de realizar el ensayo se debe tomar una cantidad de agregado de 450 g.

El procedimiento del ensayo:

1. Introducir la muestra de árido fino dentro de la botella de vidrio aproximadamente una cantidad de 13 cm3.
2. Verter la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen total después de agitarlo sea de 200cm3.
3. Tapar la botella de vidrio, agitarla vigorosamente.
4. Dejar reposar la botella durante 24 horas.

Ilustración 18:Uso del comparador de colores



Fuente: Autores (2020)

3.1.3.1Determinación del color

El procedimiento con la solución de color normalizado utiliza dicromato de potasio grado reactivo en ácido sulfúrico concentrado para la comparación de color. El procedimiento detalla que una vez finalizado el periodo de 24 horas de reposo, comparar la botella con la muestra de ensayo y la botella con la solución de color normalizado en un ambiente en donde se tenga luz, notando si es más oscura o clara que el color de la solución de color normalizado.

El procedimiento utilizando el comparador de color normalizado. Permite mediciones con mayor exactitud. La muestra es comparada con 5 vidrios de color normalizado utilizando la siguiente tabla:

Tabla 5:Determinación color para descartar la presencia de materia orgánico

Color normalizado escala de Gardner No.	Número de orden en el comparador
5	1
8	2
11	3 (normalizado de referencia)
14	4
16	5
NOTA. Se debe utilizar el procedimiento de comparación descrito en el numeral 5.7.1, excepto que se debe reportar el número del vidrio del comparador que es más cercano al color del líquido que sobrenada sobre la muestra de ensayo. Cuando se utiliza este procedimiento, no es necesario preparar la solución de color normalizado.	

Fuente: INEN 855

La interpretación del color se basa en una comparación con el color normalizado. Si la muestra es más oscura del color normalizado, color No.3 utilizando el comparador (Gardner No.11). Se considera la presencia inapropiada de impurezas orgánicas. De ser ese caso es recomendable realizar más pruebas antes de desechar el árido. (INEN 855, 2010)

3.1.4 Ensayo de desgaste de Sulfatos

El presente ensayo permite realizar un estimado de la perdida de propiedades físicas (apariencia) que sufren los agregados por acción de un sulfato de sodio o magnesio. Al finalizar el ensayo se puede realizar una comparación con valores normados para estimar la sanidad del material. Este ensayo debe ser acompañado con los que especifique la norma, en caso de no cumplir deberá ser desechado en el caso ensayos consecutivos.

El ensayo detalla el procedimiento para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados al estar en contacto con soluciones de sodio o magnesio. Seguido del secado en el horno para deshidratar parcial o completamente la sal presente en los poros permeables. Por efecto de la fuerza de expansión interna de la rehidratación de la sal después de reinversión se asemeja al efecto de expansión del agua por congelamiento. (ASTM C 88, 2013)

El uso de este tipo de soluciones en los agregados brinda información útil para determinar la calidad de los agregados que estarán en contacto con fenómenos atmosféricos, en especial al no contar con información de los materiales que se emplearán para la fabricación de elementos de la obra.

Para este ensayo los agregados deben ser preparados y reducidos a una porción de ensayo según la normativa INEN 863.

Es importante realizar el cuarteo del material, en este ensayo se aplicará el método A: divisor mecánico. En este proceso los agregados pasarán por un cuarteador mecánico con un mínimo de 8 canaletas y con dos receptáculos en su parte inferior. Una vez que el material pase por el cuarteador puede ser utilizado en el ensayo. (ASTM C 702, 2018)

En este ensayo el agregado fino debe realizarse con los agregados pasantes del tamiz 3/8 y cada una de las fracciones no deberá tener menos de 100 g. Para el ensayo con agregados gruesos solo realizar en ensayo con agregados retenidos en el tamiz 4. No deberán ser menores al 5% del total de la masa tamizada. (Vásquez, 2009)

Para la preparación de las muestras en el caso del agregado fino debe ser lavado sobre un tamiz de 300 micras también conocido como el número 50. Al secar la muestra en el horno a una temperatura constante se realiza un tamizado hasta obtener 100 g. Al preparar las muestras de agregado grueso se realiza el mismo lavado, separándolo en fracciones para iniciar el ensayo. (Vásquez, 2009)

Al iniciar el ensayo se debe seguir el siguiente proceso:

- Inmersión de las muestras en solución de sulfato de magnesio o sodio. Manteniéndose sumergido por un periodo de 16 a 18 horas. La solución debe estar a media pulgada sobre los agregados. El recipiente en el que se coloque los agregados deberá contener una cubierta de esta forma evitando la evaporación, contaminación y manteniéndolo en una temperatura de 21 ± 1 °C.
- Una vez eliminado la solución se debe secar cada fracción en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta tener una masa constante.
- En el caso de los agregados gruesos debe tamizarse según el tamaño del agregado. En el caso de los agregados que se han analizado son de 9,5 mm. El tamiz que se debe emplear es el de 4,75 mm (No. 4). (Vásquez, 2009)
- Pesar la cantidad de agregados resistentes a la acción de la solución para poder realizar los cálculos.

3.1.4.1 Cálculos del ensayo de resistencia a los sulfatos

Para realizar los cálculos, cuando ya se haya eliminado del sulfato de sodio, se debe secar cada porción de la muestra hasta que se obtenga una masa constante, para el caso

de los áridos finos, se los tamiza en el tamiz en el que fue retenido antes del ensayo y los áridos gruesos se los tamiza de acuerdo a la tabla mostrada a continuación de acuerdo al tamaño de las partículas con las que se esté trabajando. Es imprescindible evitar la manipulación de las partículas a tal punto de romperlas con el propósito de que pasen la mayor cantidad en el proceso de tamizado. Posteriormente se procede a obtener la masa del material retenido en cada uno de los tamices, y la resta de estas medidas con la masa inicial de la fracción considerada para el ensayo, representará la pérdida en dicho ensayo y debe ser expresada en porcentaje de la masa inicial.

Tabla 6:Tamices para determinar la pérdida según las fracciones del árido grueso

Tamaño del árido	Tamiz utilizado para determinar la pérdida
100 mm a 90 mm	75 mm
90 mm a 75 mm	63 mm
75 mm a 63 mm	50 mm
63 mm a 37,5 mm	31,5 mm
37,5 mm a 19,0 mm	16,0 mm
19,0 mm a 9,5 mm	8,0 mm
9,5 mm a 4,75 mm	4,0 mm

Fuente: INEN 863

$$Pérdida\ Total\ = \frac{A - B}{A}\ x\ 100$$

Donde:

A: Peso de la fracción ensayada

B: Peso retenido después del ensayo

$$Pérdida\ corregida = \frac{Gradación\ Original - Pérdida\ total}{100}$$

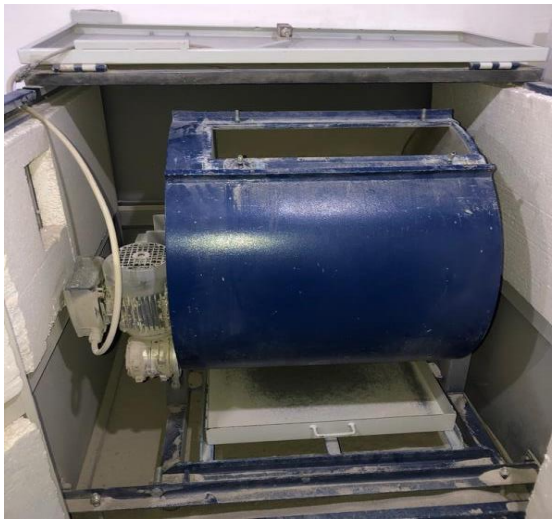
3.1.5 Ensayo de Abrasión de Agregados

Este ensayo es empleado para determinar el porcentaje del desgaste y degradación del agregado grueso con un tamaño nominal menor a 37,5 mm, mediante la utilización de la máquina de los ángeles para posteriormente verificar la pérdida de masa producida

por el impacto con las esferas, que se encuentran normadas y que constituyen la carga abrasiva, aplicando un cierto número de revoluciones (INEN 860, 2011)

Es de gran importancia la ejecución de este ensayo en agregados gruesos, ya que nos puede servir como un indicador en la calidad de los mismos permitiendo saber su capacidad para elaborar hormigones de alta resistencia.

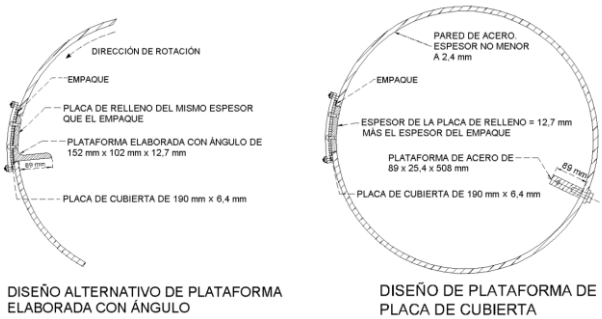
Ilustración 19:Máquina de los ángeles



Fuente: Autores (2020)

La máquina de los ángeles que se encuentra constituida por un tambor de acero con un diámetro interno de 710 ± 6 mm, una longitud interna de 510 ± 6 mm, y cuya velocidad de rotación es de 30 y 33 revoluciones por minuto. (Jeria, 2010)

Ilustración 20:Diseño del cilindro de la máquina de los ángeles



Fuente: INEN 860

Los materiales complementarios para realizar el ensayo son: una balanza de precisión al 0,1%, esferas de acero de 47 mm de diámetro y tamices.

Tabla 7:Carga abrasiva para el ensayo

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: INEN 860

Para preparar la muestra para el ensayo primero se debe lavar una muestra reducida de agregado grueso y dejarla secar en el horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C, hasta que se obtenga una masa constante. (INEN 860, 2011)

Ilustración 21:Lavado y secado de materiales para abrasión





Fuente: Autores (2020)

Tabla 8:Gradación para ensayo de abrasión

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	---	---	---
25,0	19,0	1 250 ± 25	---	---	---
19,0	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
9,5	6,3	---	---	2 500 ± 10	---
6,3	4,75	---	---	2 500 ± 10	---
4,75	2,36	---	---	---	5 000 ± 10
	Total	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Fuente: INEN 860

De acuerdo a la granulometría realizada a los agregados considerados en la investigación, se identificó que el tipo de agregado para la fabricación de adoquines

presenta una gradación de tipo C, en la que es necesario 5000 ± 10 gramos de agregado, obtenidos en fracciones de 2500 gramos de material pasante del tamiz con abertura de 9,5 mm y retenido e Ilustración 22:Carga abrasiva para la investigación regado pasante de 6,3 mm y retenido en la abertura de 4,75 mm; y 8 esferas como carga abrasiva.



Fuente: Autores (2020)

El procedimiento para determinar el porcentaje de degradación del agregado grueso inicia al colocar el mismo en la máquina de los ángeles y hacerla girar 500 revoluciones con una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto, para que al finalizar esta acción se retire el agregado del cilindro para separar material retenido en el tamiz con abertura de 1,7 mm, lavarlo y dejarlo secar en el horno solo en caso de que se contenga grandes cantidades de polvo.

Ilustración 23:Ensayo de abrasión



Fuente: Autores (2020)

3.1.5.1 Cálculos ensayo de abrasión

$$D = \frac{B - C}{B}\ x\ 100$$

Donde:

D: Porcentaje de degradación

B: Masa inicial de ensayo en gramos

C: Masa de la muestra retenida en el tamiz 1,70 mm (No. 12) al finalizar el ensayo.

3.1.6 Ensayo de equivalente de arena

La finalidad de este ensayo es indicar la proporción relativa de finos plásticos y agregados finos pasantes del tamiz No.4 (4,75mm). Este ensayo se produce como resultado de la obtención de un valor completamente empírico de la cantidad de finos y arcilla presente en la muestra. (ASTM D 2419, 2009)

Una vez definido el volumen de agregado fino se le añade una mínima cantidad de solución floculante. Siendo mezclada en un cilindro de plástico graduado y agitándolo con la finalidad de que las partículas de arena pierdan su cobertura arcillosa. De esta forma al agregar más solución floculante, se obliga a la suspensión de material arcilloso sobre la arena. Cumpliendo con un periodo de sedimentación, se realiza la medición de las alturas de arcilla floculada como de arena en el interior del cilindro. La relación entre estos dos se expresa en porcentaje. (ASTM D 2419, 2009)

En la norma ASTM se menciona como uso obligatorio la utilización de los siguientes equipos para la ejecución de este ensayo: Cilindro graduado generalmente de plástico, tapón macizo el cual debe ajustarse al cilindro, el tubo irrigador, tubo flexible para conectar el tubo irrigador con el sifón, botellón donde se almacenará la solución de cloruro de calcio, dispositivo para tomar lecturas del nivel de arena, recipiente cilíndrico, embudo, reloj, agitador mecánico o manual y el horno.

Ilustración 24: Agitador automático



Fuente: https://www.matest.com/es/suelo/ensayo-equivalente-de-arena/agitadores-para-equivalente-de-arena/

Para este ensayo es necesario el uso de solución de cloruro de calcio cuyos componentes son:

- 240 g de cloruro de calcio.
- 1,085 g de glicerina del tipo farmacéutica.
- 25 g de formaldehido.

Su preparación consiste en disolver el cloruro de calcio en un litro de agua destilada para ser filtrada, se agrega la glicerina en conjunto con el formaldehido y se la mezcla de forma continua. Finalmente se diluye en 1.89 litros de agua destilada para poder ser colocada a la altura detallada en la norma. (ASTM D 2419, 2009)

Este ensayo aplica únicamente para los agregados finos, pasante del tamiz No.4 (4,75 mm). Se debe realizar un correcto tamizado para garantizar un resultado fiable. El porcentaje pasante deberá ser cuarteado para obtener la cantidad de 85 ml, necesarios para llenar el recipiente metálico. (ASTM D 2419, 2009)

Para efecto de esta investigación se emplea el método alternativo de secado al aire, en el que, una vez cuarteado el material, se debe llenar el recipiente de 85 ml (3 onzas); golpeando la parte inferior del material para consolidarla hasta llegar al máximo de su capacidad. (ASTM D 2419, 2009)

Una vez preparada la muestra se ejecuta el procedimiento descrito en la norma ASTM D 2419, 2009, hasta determinar la lectura de arcilla a la que se debe restar 254 mm del nivel marcado de la parte superior en el indicador, con una aproximación de 2,5mm.

3.1.6.1 Cálculos del ensayo de equivalente de arena

Se requiere que todas las lecturas estén con una aproximación de décimas (0,1%). Respetando el redondeo del inmediato superior.

$$Equivalente\ de\ arena\ (EA) = \frac{Lectura\ de\ arena}{Lectura\ de\ arcilla}\ x\ 100$$

3.1.7 Ensayo de terrones de arcilla

Este ensayo permite determinar la presencia de los terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los agregados para garantizar la aceptabilidad del agregado según los requisitos de la normativa. (ASTM C 142, 2010)

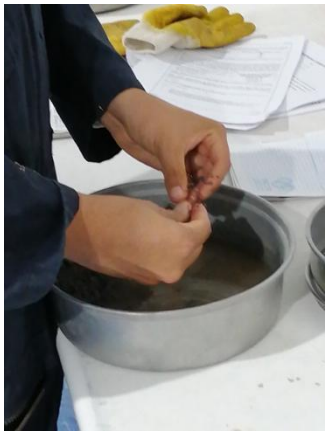
El ensayo parte de la muestra obtenida en el ensayo de tamiz 200, a la cual se debe saturar con agua destilada para romper las partículas con los dedos, tamizar y determinar el porcentaje de terrones de arcilla. (INEN 698, 2010)

De acuerdo con los descrito en la norma INEN 698 los materiales necesarios para una adecuada ejecución del ensayo son: una balanza con precisión de 0,1 % de la masa en el ensayo, tamices, recipientes y horno.

Las cantidades de material usado para el ensayo son de 25 gramos y 1000 gramos para los agregados finos y gruesos respectivamente.

Ilustración 25:Ensayo de terrones de arcilla





Fuente: Autores (2020)

3.1.7.1 Cálculos para determinar porcentaje de terrones de arcilla

Árido Fino

Este resultado se expresa en porcentaje, y es la diferencia entre la masa de la muestra de ensayo que para el árido fino constituye la masa de la porción mas gruesa que el tamiz No. 16 y la masa de las partículas retenidas en el tamiz No. 20, dividido para la masa de la muestra de ensayo, multiplicado por 100.

Árido Grueso

Este porcentaje se obtiene de igual manera que en el caso anterior pero para este caso se considera un promedio de los porcentajes de terrones de arcilla en cada fracción de tamaño de los tamices.

$$P = \left(\frac{M - R}{M} \right) x\ 100$$

Donde:

P: Porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables.

M: Masa inicial de la muestra de ensayo. En el caso de agregado fino la masa de la porción más gruesa que la del tamiz No.16

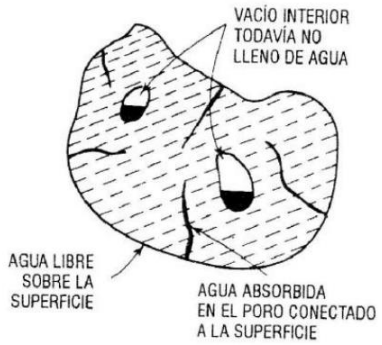
R: Masa de la muestra retenida en el tamiz estipulado según el tamaño de partícula.

3.1.8 Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado grueso

El ensayo permite determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y el porcentaje de absorción de los agregados gruesos provenientes de las minas en estudio. La densidad puede ser expresada como: saturada superficialmente seca (SSS), seca al horno (SH) y densidad aparente. La gravedad específica es un valor adimensional que puede ser expresado como SH, SSS o densidad relativa aparente. (INEN 857, 2010)

En el caso de los agregados que conforman el hormigón se debe conocer y valorar las características físicas que cada material posee, en las que se encuentran su densidad, peso específico y porcentaje de absorción. Estas características permiten entender la porosidad, como la cantidad de agua que ingresa por los poros. (Waddell J, & Dobrowolsky J, 2001)

Ilustración 26:Partícula de agregado húmedo en la que se muestra la distribución de agua



Fuente: Waddell J y Dobrowolski J.

Los agregados al estar en contacto con el agua, esta pasa a ser absorbida por sus poros. (Waddell J, & Dobrowolsky J, 2001) define esta absorción como: el incremento en masa del agregado debido a la penetración de agua en los poros de las partículas, durante un período de tiempo prescrito, sin incluir el agua adherida en la superficie de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca.

La densidad de un material se define, como la masa por unidad de volumen de un material, expresada en kg/m3 (lb/pie3). (p.2.20)

Al realizar los ensayos se obtienen distintos valores dependiendo la condición en la que se encuentren. Estas pueden ser secas al horno (SH) a una temperatura constante de 110 ± 5 °C; o con la posibilidad de encontrarse en un estado saturado con superficie seca (SSS), en la que los poros permeables se encuentran saturados al estar inmerso en agua por un periodo de tiempo, pero las partículas en su exterior se encuentran secas. (Waddell J, & Dobrowolsky J, 2001)

La normativa INEN 856 define las siguientes densidades:

- Densidad aparente: expresada como masa por el volumen de la porción impermeable de los agregados.
- Densidad relativa (gravedad específica): Es la relación entre la densidad de un material y la densidad del agua a una temperatura determinada. Este valor es adimensional.
- Densidad relativa (gravedad específica -SH): Relación entre la densidad seca al horno (SH) y la densidad del agua destilada a una temperatura establecida.
- Densidad relativa (gravedad específica-SSS): Es la relación entre la densidad del agregado saturado con superficie seca y la densidad del agua destilada a una temperatura establecida.

Para efecto de cálculo del volumen que ocupa el árido en mezclas con hormigón, en este caso para la elaboración de adoquines será siempre la gravedad específica-SSS. Se la puede emplear en el cálculo de vacíos entre partículas de agregado. La densidad aparente (SSS) se la aplicará para cálculos cuando se considera que el agregado presenta cierta humedad, caso contrario se emplea la densidad relativa (SH) al estar seco. (INEN 857, 2010)

Los valores de absorción en el presente estudio se utilizarán para calcular los cambios de masa del agregado debido a la cantidad de agua absorbida por los poros permeables en un periodo de 24 horas. (INEN 857, 2010)

La norma que rige el ensayo (INEN 857, 2010) detalla el uso de los siguientes materiales: balanza, recipiente de muestra, tanque de agua y horno.

El árido que se utilizará en el ensayo debe cumplir con la norma INEN 695. En el caso del agregado grueso no se debe utilizar material pasante del tamiz No.4 después de un tamizado en seco. La masa mínima en el ensayo para este caso según el tamaño nominal de la tabla 1 del agregado grueso es de 2 kg. (INEN 857, 2010)

Ilustración 27:Masa mínima para el ensayo de gravedad específica

Tamaño máximo nominal, mm	Masa mínima de la muestra para ensayo, kg
12,5 o menor	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

Fuente: INEN 857

3.1.8.1 Procedimiento

Una vez que la muestra sea obtenida, es necesario dejarla secar a una temperatura de 110 ± 5 °C, hasta obtener una masa constante, se enfría y se deja sumergida en agua por 24 ± 4 horas; se retira la muestra del agua y se coloca sobre una tela absorbente con la cual se frota el agregado hasta eliminar la lámina de agua existente sobre el mismo, es importante evitar la evaporación en el proceso de secado. Y registrar la masa del agregado al estar saturado con superficie seca.

Ilustración 28:Secado de áridos saturado con superficie seca



Fuente: Autores (2020)

La muestra (SSS) se coloca dentro de la sesta para sumergirla en agua con una temperatura de 23 ±2°C y tomar su masa.

Ilustración 29: Cesta para obtención de masa sumergida



Fuente: Autores (2020)

Se deja secar la muestra en el horno a una temperatura constante de 110 ± 5°C. Hasta tener una masa constante, dejar enfriar un periodo de 1 a 3 horas y registrar la temperatura.

3.1.8.2 Cálculos

$$Densidad\ relativa\ (gravedad\ específica)(SH) = (\ \frac{A}{B-C}\ )$$

$$Densidad\ relativa\ (gravedad\ específica)(SSS) = (\ \frac{B}{B-C}\ )$$

$$Densidad\ relativa\ aparente\ (gravedad\ específica\ aparente\ )(SSS) = (\ \frac{A}{A-C}\ )$$

$$Absorción\ \% = \left(\ \frac{B-A}{A}\ \right) x100$$

Donde:

A: masa en aire de la muestra seca al horno (g)

B: masa en aire de la muestra seca saturada superficialmente (g)

C: masa en agua de la muestra saturada (g)

3.1.9 Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado fino

El ensayo permite determinar la densidad relativa, densidad y absorción de agregados finos, valores que estarán presentes en la dosificación del hormigón para la elaboración de adoquines.

La metodología del ensayo consiste en dejar sumergido los agregados finos en agua por 24 ± 4 horas con muestras que se encuentren secas con anterioridad. La finalidad es llenar con agua los poros. Para después ser retirada de la superficie y determinar su masa. Pasar a la muestra de agregado fino a un recipiente graduado y determinar con mayor exactitud su volumen con el método gravimétrico o volumétrico. Para finalizar el ensayo se deja secar la muestra en el horno y pesar en la balanza. (INEN 856, 2010)

Los equipos necesarios para realizar el ensayo según la norma INEN 856, son: Balanza, picnómetro, molde metálico en forma de cono truncado, compactador de material y horno.

Ilustración 30:Matraz para método gravimétrico



Fuente: Autores (2020)

La preparación de la muestra de ensayo debe seguir el siguiente proceso:

1. Dejar secar la muestra en el horno en un recipiente a 110 ± 5 °C, hasta tener una masa constante. Dejar secar hasta que su temperatura sea de fácil manipulación. Seguido cubrirla con agua y dejar reposar por 24 h ± 4h.

Ilustración 31:Secado de muestras para ensayo de densidad relativa



Fuente: Autores (2020)

2. Decantar el agua del recipiente evitando la pérdida de finos. Colocar la muestra en una superficie plana no absorbente, en una zona de corriente suave de aire caliente para comenzar su secado hasta obtener un material con superficie seca saturada.

3. Realizar el ensayo para determinar la humedad de absorción SSS. Colocar el molde con su diámetro más grande sobre una superficie e ir colocando el agregado fino parcialmente seco hasta llenar el borde. Debe ser compactado con 25 golpes ligeros con el uso del compactador. Finalmente levantar el molde de forma vertical. Si la humedad superficial sigue presente, el agregado mantendrá la forma del molde, pero si este se desmorona ligeramente indica que está listo para iniciar el ensayo en condición saturada con superficie seca.

Ilustración 32:Ensayo para determinar la humedad superficial



Fuente: Autores (2020)

En el presente estudio el proceso a emplear será el gravimétrico siguiendo los siguientes pasos según (INEN 856, 2010):

1. Introducir dentro del matraz 500 ± 10 g de árido fino saturado superficialmente seco y llenar con agua hasta el 90% de su capacidad. Proceder a agitar el picnómetro de forma manual. Rodando, agitando el matraz para eliminar las burbujas de aire visibles.

Ilustración 33:Agitación manual del matraz



Fuente: Autores (2020)

2. Una vez eliminado todas las burbujas de aire, el matraz debe estar a una temperatura de 23 ± 2 °C. Llenar el matraz hasta la calibración. Determinar la masa del picnómetro con la muestra y agua.
3. Extraer el árido fino del matraz y dejarlo secar en el horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C hasta conseguir una masa constante. Seguido dejarlo enfriar por 1 hora ± ½ hora. Determinar su masa.
4. Determinar la masa del picnómetro lleno con agua con una temperatura de 23± 2 °C.

3.1.9.1 Cálculos

$$Densidad\ relativa\ (gravedad\ específica)(SH) = \left(\ \frac{A}{B+S-C}\ \right)$$

$$Densidad\ relativa\ (gravedad\ específica)(SSS) = \left(\ \frac{S}{B+S-C}\ \right)$$

$$Densidad\ relativa\ aparente\ (gravedad\ específica\ aparente\ ) = \left(\ \frac{A}{B+A-C}\ \right)$$

$$Absorción\ \% = \left(\ \frac{S-A}{A}\ \right)x100$$

Donde:

A: Masa de la muestra seca al horno (g)

B: Masa del picnómetro lleno con agua hasta la marcación (g)

C: Masa del picnómetro lleno con agua y la muestra (g)

S: Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g)

3.2 Descripción de ensayos ejecutados en adoquines de hormigón

3.2.1 Ensayo de Absorción

Este ensayo nos permite medir el grado de porosidad que tiene el adoquín de hormigón y su resistencia mecánica, ya que mientras menos poros presente el elemento de hormigón, este será más compacto y durable. Según la normativa INEN 3040 la absorción deberá ser menor o igual al 6 %.

Antes de ensayar los adoquines estos deberán permanecer en un rango de temperatura de 20 ± 5 °C. Evitando la presencia de polvo o material presente en el cepillo. Se debe verificar que el peso de la probeta sea mayor a 5 kg, deberá ser cortado sin modificar su espesor de aproximadamente 8 cm.

3.2.1.1 Procedimiento

Se debe introducir las probetas en agua potable a una temperatura de 20 ± 5 °C dentro del recipiente hasta que ésta se encuentre saturada con una masa constante (M1). Es importante que la separación entre probetas sea de 15 mm asegurándose que estén cubiertas de agua a una altura mínima de 20 mm. Las probetas deben estar sumergidas mínimo 3 días. Deberán ser pesadas cada 24 horas hasta que la diferencia de peso entre probetas sea inferior al 0,1%. Antes de ser pesadas deben ser limpiadas usando un trapo eliminando la presencia en exceso del agua. (INEN 3040, 2016)

Ilustración 34: Sumersión de Adoquines en agua



Fuente: Autores (2021)

El proceso de secado de los adoquines es correcto al notar que su cara cambia de color a una tonalidad mate. El secado se lo debe realizar con la estufa manteniendo los 15 mm de distancia en cada probeta. Debe ser secadas hasta mantener una masa constante (M2). Se deben dejar secar a una temperatura de 105 ± 5 °C, cada 24 horas se debe pesar hasta que la diferencia de peso sea de 0,1%. Al ser retiradas de la estufa se deben enfriar a una temperatura ambiente antes de ir a la balanza. (INEN 3040, 2016)

3.2.1.1 Cálculos de absorción en adoquines

Para obtener el índice de absorción de agua de cada probeta se utiliza la siguiente expresión:

$$Wa = \left(\frac{M1 - M2}{M2} \right) x\ 100$$

Donde:

Wa: Índice de absorción de agua.

M1: Masa de la probeta saturada de agua (gr.)

M2: Masa de la probeta seca (gr.)

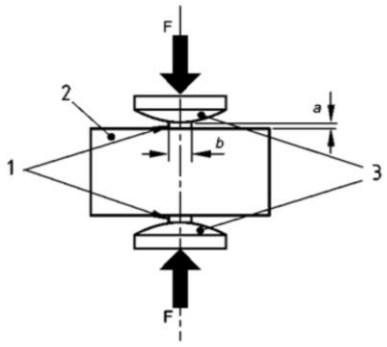
3.2.2 Ensayo de tracción indirecta

Este tipo de ensayo a diferencia de los ensayos directos, la rotura es resultado de someter a la probeta a una carga de compresión. Esta carga genera una distribución de tensiones a tracción que finalmente fisurarán la probeta. (Amador, 2020)

En este caso la normativa INEN especifica que la resistencia a la tracción indirecta por parte de las probetas debe ser igual o superior a 3,6 MPa. Ningún valor en el ensayo deberá ser menor a 2,9 MPa. La carga de tracción indirecta por unidad de longitud no debe ser menor a 250 N/mm. (INEN 3040, 2016)

El ensayo deberá tener una precisión de ± 3% en el rango de cargas. El equipo debe contar con soportes rígidos en las superficies de contacto con un radio de 75 ± 5 mm con la posibilidad de realizar giros en su eje transversal.

Ilustración 35:Ensayo de tracción indirecta



Leyenda:

1. piezas de compresión,
2. adoquín,
3. soportes rígidos.

Fuente: INEN 872

En la preparación de los adoquines, se los debe trabajar completos, es decir que la cara se encuentre plana por completo. Estos deben permanecer sumergidos por 24 ± 3 horas a una temperatura de 20 ± 5 °C. Al ser retirados del recipiente deben ser ensayados inmediatamente.

3.2.2.1 Procedimiento

Los adoquines se deben colocar en la máquina de ensayo de forma que las piezas de compresión estén en contacto con la cara vista y la cara de apoyo ambas con soportes rígidos. Se deben ajustar los ejes de los apoyos y piezas de compresión manteniéndose en línea con la sección de tracción indirecta en la probeta. (INEN 3040, 2016)

Ilustración 36:Ensayo de tracción indirecta en adoquines



Fuente: Autores (2021)

La(s) sección(es) de tracción indirecta se seleccionan en la siguiente prioridad:

Tabla 9:Orden de prioridad para ensayo de tracción indirecta

Orden de prioridad para tracción indirecta	
a	Se realiza el ensayo a lo largo de la mayor sección de tracción indirecta en el adoquín, simétrica y paralela a los bordes. Se debe cumplir que la distancia entre la sección de tracción indirecta y sus caras laterales es como mínimo 0,5 veces el espesor del adoquín en al menos un 75% de la sección de tracción indirecta.
b	Al no cumplir con la prioridad, el ensayo se lo debe realizar a lo largo de 2 secciones de tracción indirecta. Cumpliendo con la distancia entre las secciones de tracción indirecta y cualquier cara lateral del adoquín es como mínimo el 75% de la longitud de la sección de tracción indirecta.

c	En caso de no cumplir las anteriores dos condiciones, la sección de tracción indirecta es la que cumpla con la condición de distancia en mayor parte proporcional de la longitud de tracción indirecta.
d	Si la sección vista en planta del adoquín es cuadrada, hexagonal o circular. La sección que se toma como indirecta debe escogerse de forma que su menor longitud de corte pase por el centro de su sección en planta.

Fuente: INEN 3040

La carga aplicada debe ser suave y progresiva de forma que la resistencia aumenta con una velocidad de 0,05 ± 0,01 Mpa/s. Hasta registrar la carga por tracción indirecta. Para el cálculo del área de la sección de tracción indirecta del adoquín con el siguiente producto:

$$S = l \times t$$

Donde:

S: Superficie de tracción indirecta (mm2)

l: Media de dos medidas de la longitud de tracción indirecta, en la cara vista y posterior (mm)

t: Espesor del adoquín de tracción indirecta medido en mm. Debe ser la media de tres medidas, dos en los extremos y una en el centro.

3.2.2.2 Cálculos de los resultados

La resistencia a tracción del adoquín (T) en MPa se obtiene con la siguiente expresión:

$$T = 0{,}637 \times k \times \frac{P}{S}$$

Donde:

T: Resistencia a tracción indirecta (MPa)

P: Carga de tracción indirecta (N)

S: Superficie de tracción indirecta (mm2)

k: Factor de corrección para el espesor del adoquín.

El factor k depende del espesor t.

Para t ≤140 mm el valor de k se interpolará entre 1 y 1,06. Puesto que el espesor de los especímenes fabricados estará en un rango de 80 a 85mm.

Tabla 10:Factor de corrección k en el ensayo de tracción indirecta

Factor de corrección k							
t (mm)	40	50	60	70	80	90	100
k	0,71	0,79	0,87	0,94	1	1,06	1,11

Fuente: INEN 3040

La carga de tracción por unidad de longitud (F) aplicada en el adoquín se expresa en newtons por milímetro mediante la siguiente ecuación;

$$F = \frac{P}{l}$$

Donde:

F: Carga de tracción indirecta por unidad de longitud al 10 N/mm más cercano.

P: Carga de tracción indirecta (N)

l: Media de dos medidas de la longitud de tracción indirecta, en la cara vista y posterior (mm)

3.2.3 Ensayo de desgaste por abrasión

El ensayo de abrasión se realiza sometiendo a desgaste la cara vista del adoquín mediante el uso de un material abrasivo conocido como corindón, cuyo tamaño de grano F80 se especifica en la ISO 8486-1; la resistencia se obtiene al medir la longitud del arco formado al desgastar la superficie del adoquín, el cual será más visible si el espécimen es pintado con un tinte superficial. (INEN 3040, 2016)

La máquina de desgaste se encuentra conformada por una rueda ancha de abrasión, la tolva de almacenamientos donde la salida del material se encuentra controlada por una

o dos válvulas, una tolva que controla el flujo, porta probetas móvil y un contrapeso. (INEN 3040, 2016)

3.2.3.1 Procedimiento

1) Se debe verificar que el espécimen tenga una dimensión de 100 x 70 mm y debe estar seco y limpio.
2) La superficie debe ser plana dentro de una tolerancia de ±1 mm y en el caso de que la superficie presente rugosidad, se deberá pulir hasta obtener una superficie lisa, que posteriormente se deberá limpiar con un cepillo para retirar el material residual (polvo), seguidamente se la cubre con tinte para facilitar la medición de la huella.
3) Colocar el material abrasivo en la tolva, con un contenido de humedad que no exceda el 1,0 %.
4) Se separa el carro porta probetas de la rueda ancha de abrasión para situar la probeta sobre este y que la huella producida esté al menos a 15 mm de cualquier borde de la probeta.
5) Se ubica el colector del abrasivo bajo la rueda de abrasión y se coloca la probeta en contacto con la rueda de abrasión, se abre la válvula de control y al mismo tiempo se arranca el motor de forma que, la rueda de abrasión alcance 75 revoluciones en (60 ± 3) s.
6) Se verifica visualmente la regularidad del flujo del material abrasivo durante el ensayo y después de las 75 revoluciones de la rueda se detiene el flujo del abrasivo y la rueda.

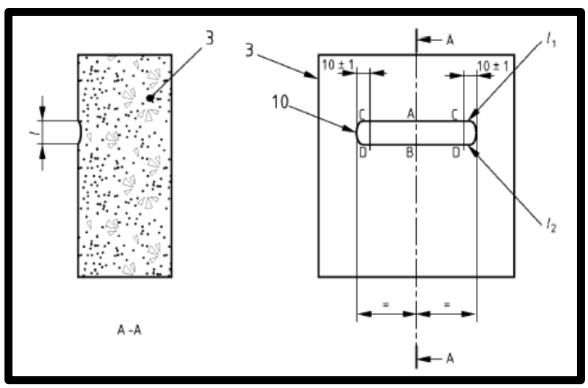
Ilustración 37: Ensayo de desgaste por abrasión en adoquines



Fuente: Autores (2021)

7) Utilizando la lupa de dos aumentos nominales, equipada con luz y con la ayuda de un lápiz cuyo diámetro es de 0,5 mm y dureza 6H o 7H, se dibujan los límites externos longitudinales de la huella (l1 y l2) se dibuja una línea (AB) en el medio de la huella perpendicular a la línea central de la huella. Se sitúa un calibre digital de puntas cuadradas en los puntos A y B en el lado interior de los límites longitudinales (l1 y l2) de la huella, se mide y registra la dimensión con una aproximación al ± 0,1 mm más cercano. Para la calibración en la exactitud de la medida de la huella esta se repite a (10 ± 1) mm desde los bordes de la huella (CD) para proporcionar tres lecturas.

Ilustración 38:Ensayo de desgaste por abrasión

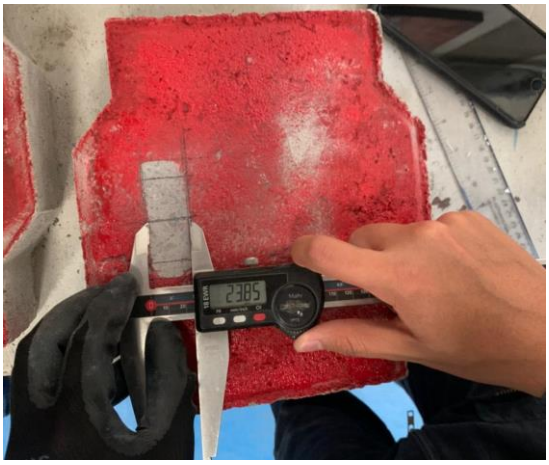


Fuente: INEN 3040

3.2.3.2 Cálculo del resultado

Como resultado de este ensayo se toma la dimensión corregida por el factor de calibración y luego se redondea al 0,5 mm más cercano. El factor de calibración es la diferencia aritmética entre 20,0 y el valor de calibración registrado. En el caso de considerarse dos huellas en un mismo espécimen, se debe tomar como resultado definitivo al mayor. (INEN 3040, 2016)

Ilustración 39:Medición de desgaste por abrasión en adoquines tinturados con pintura roja en aerosol.

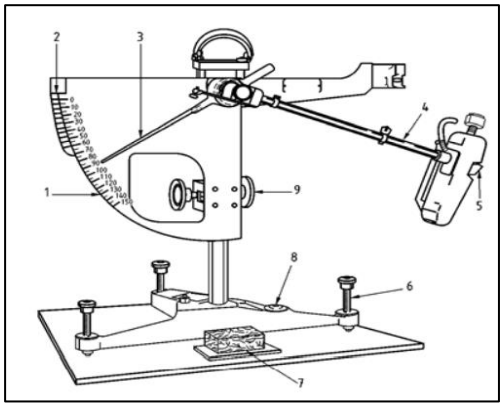


Fuente: Autores (2021)

3.2.4 Ensayo al Deslizamiento

Para este ensayo se utiliza el péndulo de fricción que permite evaluar la característica de rozamiento de la cara vista de la probeta. El péndulo de fricción dispone de un patín deslizante sometido a tensión mediante un muelle, dotado de una lámina de goma normalizada fijado al final del péndulo. Durante la oscilación del péndulo, se mide la fuerza del rozamiento entre el patín y la superficie de la probeta a ser ensayada mediante la reducción de la longitud de oscilación, empleando una escala calibrada. (INEN 3040, 2016)

Ilustración 40:Ensayo al Deslizamiento



Fuente: INEN 3040

3.2.4.1 Procedimiento

Para control primario el ensayo contempla la utilización de 5 adoquines del mismo lote o familia, los cuales deben tener una superficie de ensayo de 136 mm x 86 mm. Se emplea la lámina de goma de 76 mm de ancho sobre una longitud limpia de 126 mm realizando la lectura en la escala C. (INEN 3040, 2016)

Para iniciar con el ensayo, el péndulo de fricción y el patín deslizante deben mantenerse a una temperatura aproximada de (20 ± 2) °C por lo menos 30 minutos previos a la realización del ensayo. Posteriormente se sumerge la probeta en agua a (20 ± 2) °C por lo menos 30 minutos. Se coloca el péndulo de fricción sobre una superficie rígida y nivelada, ajustando los tornillos de nivelación de forma que la columna soporte esté vertical. Entonces se eleva el eje de suspensión del brazo del péndulo de forma que este brazo oscile libremente y se ajusta el mecanismo de rozamiento de la aguja marcadora de forma que cuando el brazo del péndulo, y la aguja marcadora se suelten desde la posición horizontal, a mano derecha, el marcador se sitúa en la posición cero de la escala. Se desecha cualquier lámina de goma que rebase los requisitos establecidos en la normativa. Se coloca la probeta a ser ensayada fijada rígidamente, con su dimensión más larga en el sentido del recorrido del brazo del péndulo, y centrada respecto a la lámina de goma y el eje de suspensión del brazo del

péndulo. Se asegura que el carril de la lámina deslizante se encuentre paralelo al eje longitudinal de la probeta a lo largo de la distancia de deslizamiento. Se ajusta la altura del brazo del péndulo de forma que cuando pase sobre la probeta toda la anchura de la lámina de goma esté en contacto con la superficie de la probeta a lo largo de toda la longitud limpia especificada. Se moja la superficie de la probeta y de la goma con una gran cantidad de agua limpia, teniendo cuidado de no desplazar el patín de su posición previamente fijada. Se deja caer el péndulo y la aguja marcadora desde la posición horizontal, sujetando el brazo del péndulo en su giro de retorno. Se registra la posición de la aguja marcadora en la escala (valor del ensayo del péndulo). Se realiza esta operación un total de cinco veces volviendo a mojar la probeta cada vez, y se registra la media de las tres últimas lecturas. Se recolocan las probetas después de haberlas girado 180 ° en su plano y se repite el procedimiento. (INEN 3040, 2016)

3.2.4.2 Cálculo del Resultado

Cuando se utiliza el patín deslizante ancho sobre una longitud limpia de 126 mm se calcula el valor del péndulo de cada probeta como la media de los dos valores medios registrados, medidos en direcciones opuestas con aproximación a la unidad más cercana en la escala C. Finalmente se toma la media de los valores de péndulo que se obtiene de los 5 especímenes. (INEN 3040, 2016)

Ilustración 41:Medición del deslizamiento en adoquines



Fuente: Autores (2021)

3.2.5 Ensayo de Compresión

A pesar de que el ensayo a la compresión no se encuentra contemplado dentro de la norma INEN 3040, se debe conocer la relación que guarda el contar con una alta resistencia a la compresión para el cumplimiento de ensayos como la tracción indirecta descrita en esta normativa.

Para este ensayo, los especímenes son sometidos a una carga de compresión creciente que generará una falla. Cumpliendo los requerimientos de la norma INEN 1485.

3.2.5.1 Procedimiento

Se requiere contar con las muestras de especímenes de acuerdo con el número de lote que para efecto de la investigación es de 174 adoquines de hormigón, para lo cual éstas deben estar previamente en agua por aproximadamente 24 horas a una temperatura de 20°C±5°C.

Posteriormente se coloca al espécimen en la máquina de compresión y en su parte superior una lamina de madera de 4 mm de espesor y sobre esta una placa de acero de 25 mm, sobre la cual se aplicará una carga continua y creciente a una velocidad de 15 Mpa por minuto hasta observar el fallo y el registro de la carga máxima soportada por el espécimen. La resistencia a la compresión de cada muestra se obtiene dividiendo la carga máxima para el área total de la cara de contacto del adoquín, representada por As, y multiplicarlo por el factor especificado en la tabla 2 de la Norma INEN 1488, expresada con una precisión de 1Mpa.

Ilustración 42:Ensayo de compresión simple en adoquines



Fuente: Autores (2021)

Tabla 11:Factores de Corrección

Espesor del Adoquín (mm)	**Tipo de Adoquín**	
	Liso	**Biselado**
60	1,00	1,06
80	1,04	1,11
100	1,08	1,16

Fuente: INEN 1488

3.2.5.2 Cálculo del Resultado

Para obtener la resistencia característica se debe tomar la media de las resistencias de los adoquines ensayados.

La desviación estándar se calcula mediante la fórmula

$$S = \sqrt{\frac{\sum(fi - fm)^2}{9}}$$

Para el control de calidad de un lote se aplica:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(fi)^2 - \frac{(\sum fi)^2}{10}}{9}}$$

Donde:

S= Desviación Estándar (Mpa)

fi= Resistencia a la compresión de cada una de las muestras (Mpa)

fm= Media aritmética de la resistencia a la compresión de cada una de las muestras (Mpa)

Siendo la resistencia característica calculada de la siguiente manera:

$$fk = (fm - 1.64S)$$

La desviación estándar es utilizada para conocer la dispersión existente entre las resistencias de las probetas de un mismo lote. Y de esta manera realizar un control de calidad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE ENSAYOS EN AGREGADOS MINAS SAN FRANCISCO Y SAN ROQUE

4.1 Granulometrías

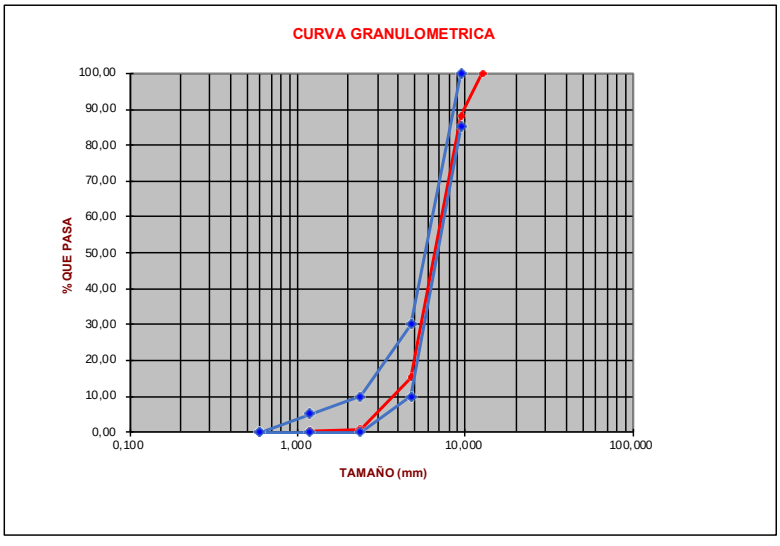
4.1.1 Granulometría de la chispa- Mina San Francisco

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	20/10/2020
MATERIAL:	Chispa	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAYO:	1	**MASA DE LA MUESTRA:**	1000,00
CANTERA:	San Francisco	**MODULO DE FINURA:**	5,94
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	118,70	118,70	11,88	88,12	85-100
N° 4	4,760	728,60	847,30	84,80	15,20	10-30
N° 8	2,362	143,50	990,80	99,16	0,84	0-10
N° 16	1,190	4,40	995,20	99,60	0,40	0-5
N° 30	0,595	0,00	995,20	99,60	0,40	
N° 50	0,297	0,00	995,20	99,60	0,40	
N° 100	0,149	0,00	995,20	99,60	0,40	
P A S A No 100		4,00	4,00	0,40	99,60	
SUMA:		999,20	999,20			



MF	5,94
% de error	0,08

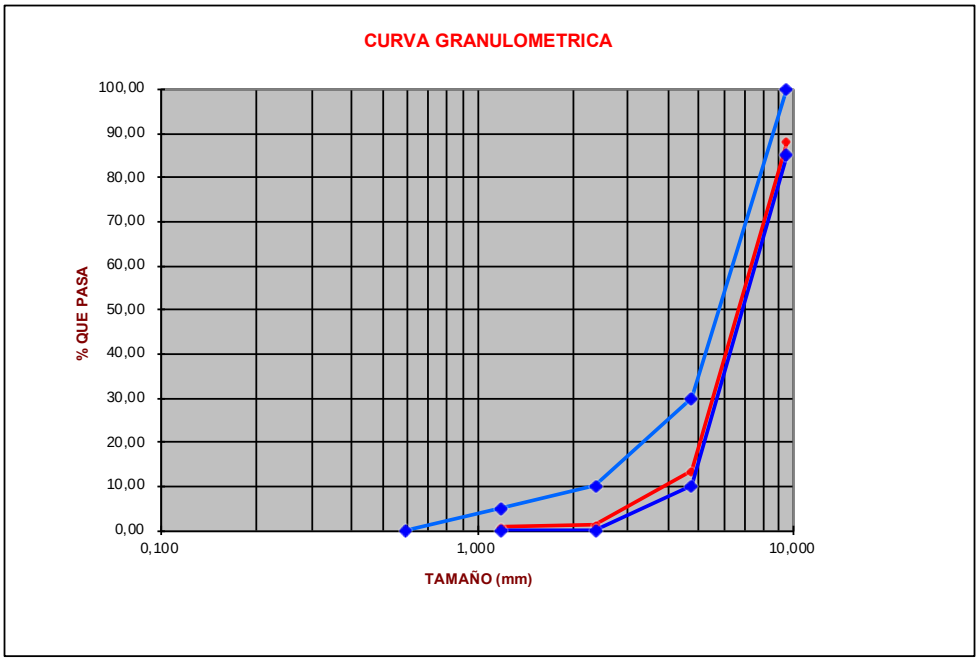
ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO: Tesis de disertación
LOCALIZACION: Quito
NORMA ENSAYO: INEN 696
MATERIAL: Chispa
NÚMERO DE ENSAYO: 2
CANTERA: San Francisco
LOCALIZACION: Pichincha
MUESTRA: Tomada por el estudiante

SOLICITADO POR: PUCE
TESISTAS: Buendía y Salgado
FECHA DE EMISIÓN: 20/10/2020
ESPECIFICACION: Diseño de hormigón
MASA DE LA MUESTRA: 1000,30
MODULO DE FINURA: 5,95
LABORATORIO: INECYC

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	120,80	120,80	12,09	87,91	85-100
N° 4	4,760	743,70	864,50	86,52	13,48	10-30
N° 8	2,362	123,20	987,70	98,85	1,15	0-10
N° 16	1,190	3,20	990,90	99,17	0,83	0-5
N° 30	0,595	0,70	991,60	99,24	0,76	
N° 50	0,297	0,50	992,10	99,29	0,71	
N° 100	0,149	1,40	993,50	99,43	0,57	
P A S A No 100		5,60	5,60			
SUMA:		999,10	999,10			



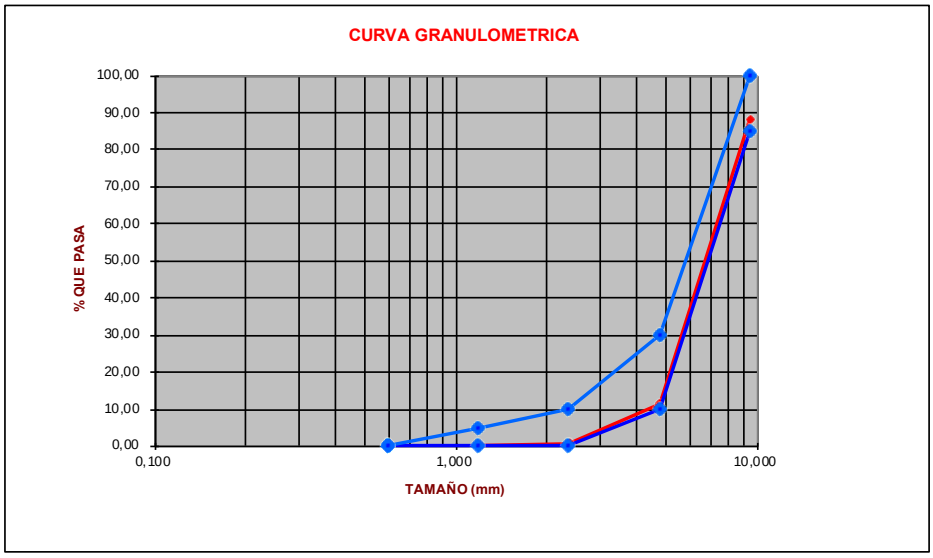
MF	5,95
% de error	0,12

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	20/10/2020
MATERIAL:	Chispa	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAYO:	3	**MASA DE LA MUESTRA:**	1000,20
CANTERA:	San Francisco	**MODULO DE FINURA:**	5,98
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	117,8	117,80	11,79	88,21	85-100
N° 4	4,760	765,8	883,60	88,43	11,57	10-30
N° 8	2,362	108,5	992,10	99,29	0,71	0-10
N° 16	1,190	2,9	995,00	99,58	0,42	0-5
N° 30	0,595	0,6	995,60	99,64	0,36	
N° 50	0,297	0,1	995,70	99,65	0,35	
N° 100	0,149	0,3	996,00	99,68	0,32	
P A S A No 100		2,7	2,70			
SUMA:		998,70	998,70			



MF	5,98
% de error	0,15

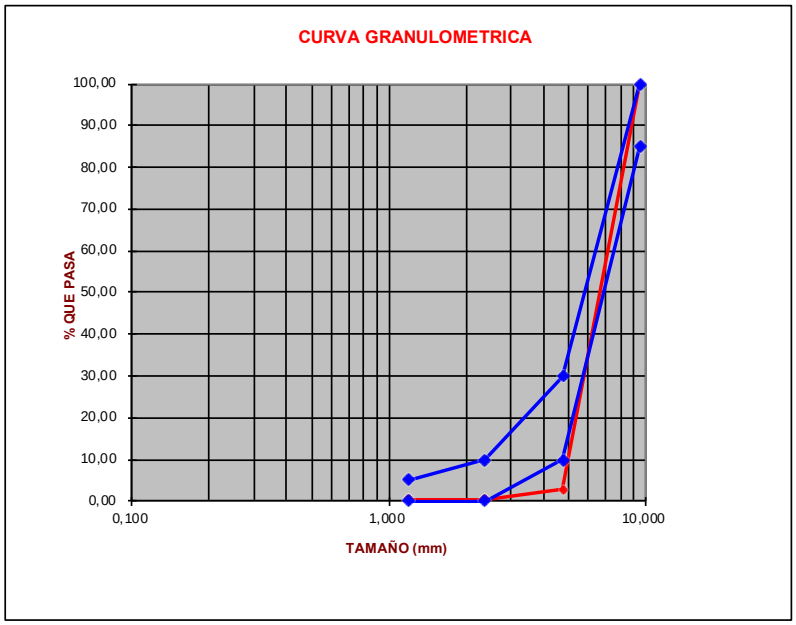
Resultado de ensayo: Una vez realizado el ensayo se obtiene MF1=5,94, MF2=5,95 y MF3= 5,98. Con un MF promedio de 5,96. Resultado de 3 ensayos de una misma muestra. Al estar dentro de los límites se considera apto para la fabricación de hormigón.

4.1.2 Granulometría chispa - Mina San Roque

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN
GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	04/11/2020
MATERIAL:	Chispa	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAYO:	1	**MASA DE LA MUESTRA:**	1000,20
CANTERA:	San Roque	**MODULO DE FINURA:**	5,95
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	0,00	0,00	0,00	100,00	85-100
N° 4	4,760	972,90	972,90	97,32	2,68	10-30
N° 8	2,362	21,60	994,50	99,48	0,52	0-10
N° 16	1,190	0,60	995,10	99,54	0,46	0-5
N° 30	0,595	0,90	996,00	99,63	0,37	
N° 50	0,297	0,40	996,40	99,67	0,33	
N° 100	0,149	0,80	997,20	99,75	0,25	
P A S A No 100		2,50	2,50	0,25	99,75	
SUMA:		999,70	999,70			



MF	5,95
% de error	0,05

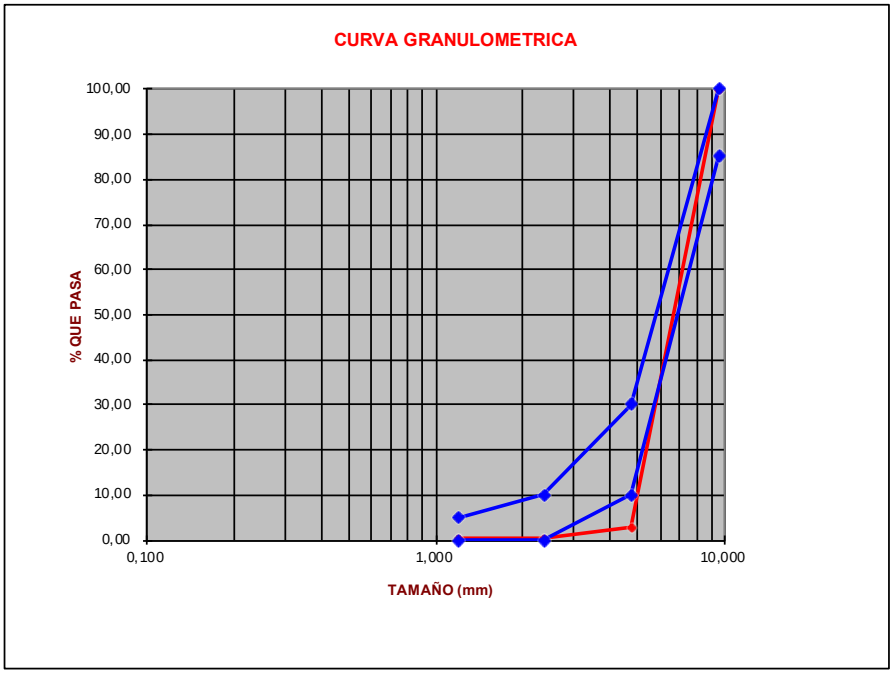
ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO: Tesis de disertación
LOCALIZACION: Quito
NORMA ENSAYO: INEN 696
MATERIAL: Chispa
NÚMERO DE ENSAYO: 2
CANTERA: San Roque
LOCALIZACION: Pichincha
MUESTRA: Tomada por el estudiante

SOLICITADO POR: PUCE
TESISTAS: Buendía y Salgado
FECHA DE EMISIÓN: 04/11/2020
ESPECIFICACION: Diseño de hormigón
MASA DE LA MUESTRA: 1000,30
MODULO DE FINURA: 5,96
LABORATORIO: INECYC

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	1,80	1,80	0,18	99,82	85-100
N° 4	4,760	969,60	971,40	97,17	2,83	10-30
N° 8	2,362	24,40	995,80	99,61	0,39	0-10
N° 16	1,190	0,50	996,30	99,66	0,34	0-5
N° 30	0,595	0,70	997,00	99,73	0,27	
N° 50	0,297	0,20	997,20	99,75	0,25	
N° 100	0,149	0,50	997,70	99,80	0,20	
P A S A No 100		2,40	2,40			
SUMA:		1000,10	1000,10			



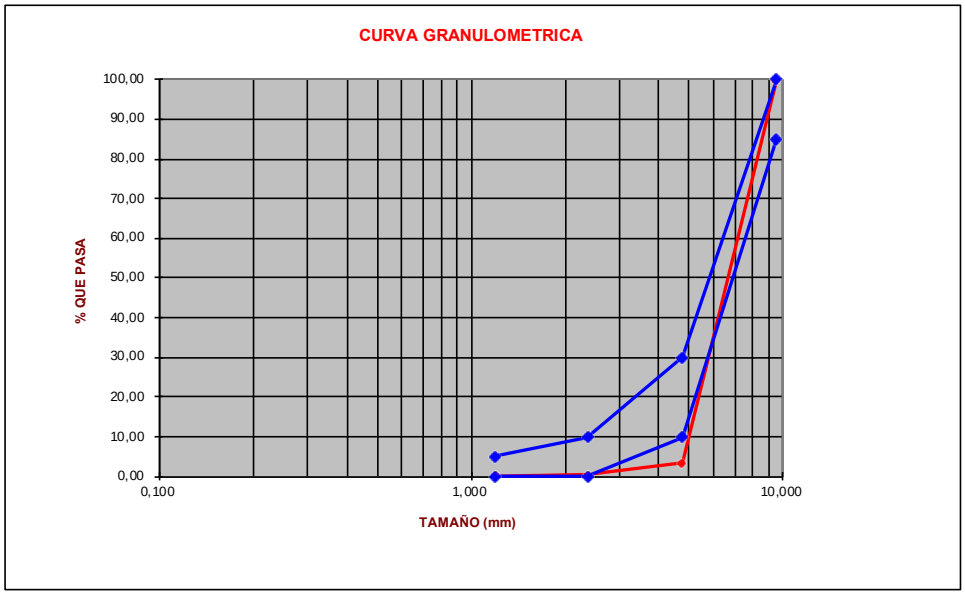
MF	5,96
% de error	0,020

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	04/11/2020
MATERIAL:	Chispa	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAYO:	3	**MASA DE LA MUESTRA:**	1003,20
CANTERA:	San Roque	**MODULO DE FINURA:**	5,96
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	1,5	1,50	0,15	99,85	85-100
N° 4	4,760	964,9	966,40	96,67	3,33	10-30
N° 8	2,362	28,6	995,00	99,53	0,47	0-10
N° 16	1,190	2	997,00	99,73	0,27	0-5
N° 30	0,595	0,8	997,80	99,81	0,19	
N° 50	0,297	0,2	998,00	99,83	0,17	
N° 100	0,149	0,4	998,40	99,87	0,13	
P A S A No 100		2,3	2,30			
SUMA:		1000,70	1000,70			



MF	5,96
% de error	0,25

Resultado de ensayo: Una vez realizado el ensayo se obtiene MF1=5,95, MF2=5,96 y MF3= 5,96. Con un MF promedio de 5,96. El material no cumple con los límites para este tipo de agregado, puesto que no entra en el límite de 10-30% pasante del pasante del tamiz No.4. La mayor parte de la muestra es de un tamaño mayor a 4,7mm.

4.1.3 Análisis de los resultados del ensayo granulométrico del material chispa

De acuerdo con el análisis granulométrico realizado al agregado grueso denominado chispa de tamaño máximo nominal 3/8", se puede verificar en base a la normativa INEN 872 tabla 2 "Requisitos de gradación para áridos gruesos" que los porcentajes acumulados en masa de este material corresponde a un número de tamaño 8.

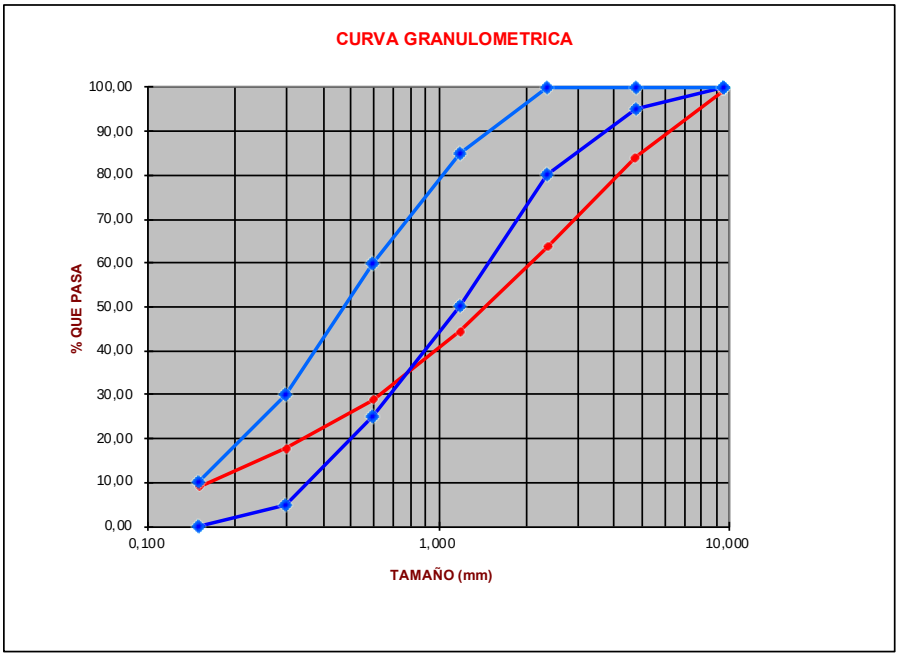
Para este tamaño los límites ya establecidos y presentes en las curvas granulométricas indican que el agregado procedente de Cayambe se adapta de mejor forma a dichos límites. En el caso de los agregados de Imbabura no se adaptan puesto que la mayoría de material se retiene en el tamiz No.4".

4.1.4 Granulometría agregado fino tipo 1 (arena gruesa) - Mina San francisco

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN
GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	20/10/2020
MATERIAL:	Arena Gruesa	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAYO:	1	**MASA DE LA MUESTRA:**	500,20
CANTERA:	San Francisco	**MODULO DE FINURA:**	3,53
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	4,30	4,30	0,86	99,14	100
N° 4	4,760	75,90	80,20	16,04	83,96	95-100
N° 8	2,362	101,70	181,90	36,39	63,61	80-100
N° 16	1,190	95,60	277,50	55,51	44,49	50-85
N° 30	0,595	77,90	355,40	71,09	28,91	25-60
N° 50	0,297	55,60	411,00	82,22	17,78	5-30
N° 100	0,149	44,00	455,00	91,02	8,98	0-10
P A S A No 100		44,90	44,90			
SUMA:		499,90	499,90			



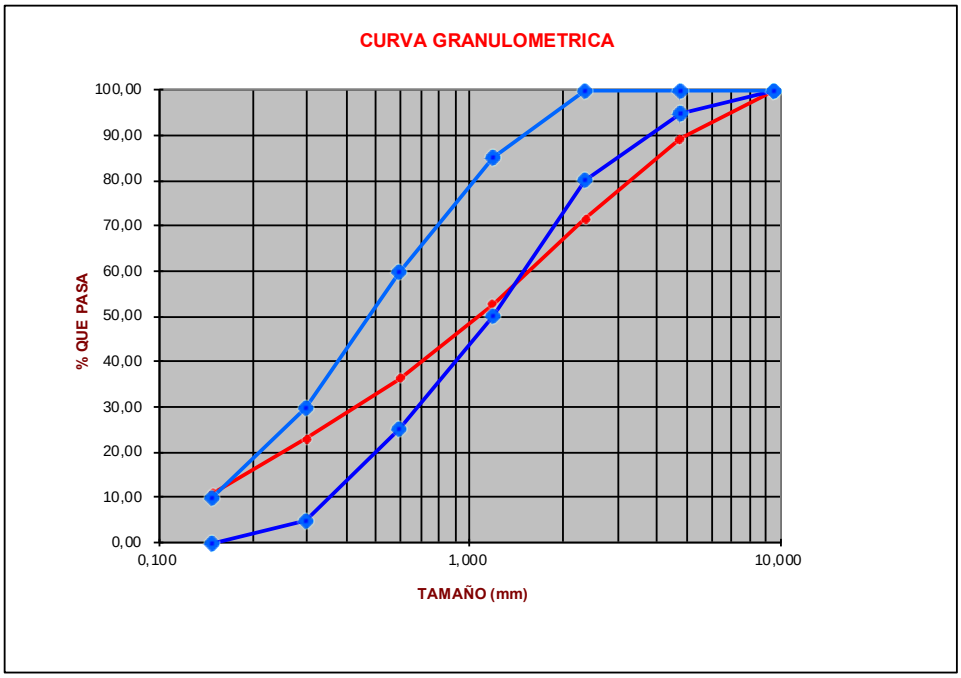
MF	3,53
% de error	0,06

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	20/10/2020
MATERIAL:	Arena Gruesa	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAYO:	2	**MASA DE LA MUESTRA:**	500,00
CANTERA:	San Francisco	**MODULO DE FINURA:**	3,16
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	0,00	0,00	0,00	100,00	100
N° 4	4,760	53,70	53,70	10,74	89,26	95-100
N° 8	2,362	88,30	142,00	28,41	71,59	80-100
N° 16	1,190	94,80	236,80	47,37	52,63	50-85
N° 30	0,595	81,40	318,20	63,65	36,35	25-60
N° 50	0,297	66,50	384,70	76,96	23,04	5-30
N° 100	0,149	60,40	445,10	89,04	10,96	0-10
P A S A No 100		53,80	53,80			
SUMA:		498,90	498,90			



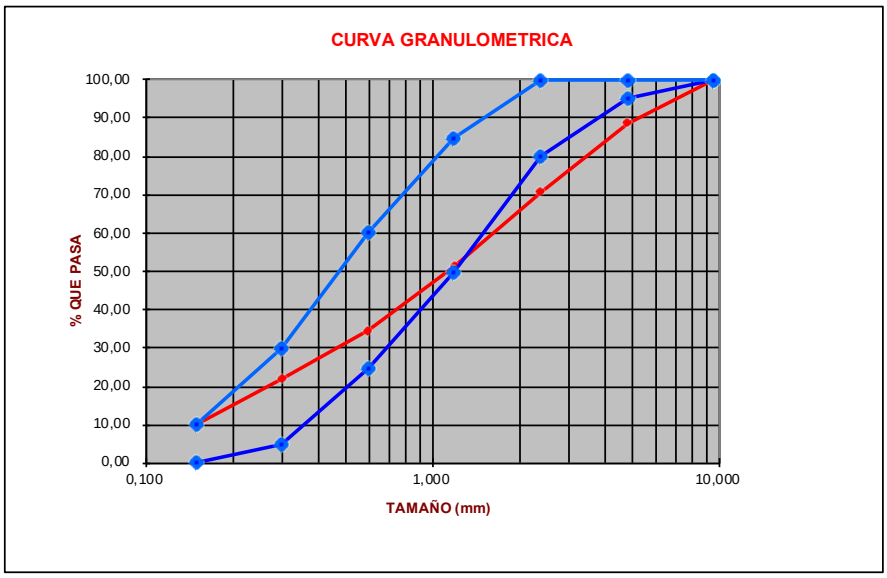
MF	3,16
% de error	0,22

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	20/10/2020
MATERIAL:	Arena Gruesa	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAYO:	3	**MASA DE LA MUESTRA:**	501,20
CANTERA:	San Francisco	**MODULO DE FINURA:**	3,23
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	1,1	1,10	0,22	99,78	100
N° 4	4,760	55,9	57,00	11,40	88,60	95-100
N° 8	2,362	89,7	146,70	29,35	70,65	80-100
N° 16	1,190	96,4	243,10	48,63	51,37	50-85
N° 30	0,595	84,2	327,30	65,47	34,53	25-60
N° 50	0,297	62,6	389,90	78,00	22,00	5-30
N° 100	0,149	58,9	448,80	89,78	10,22	0-10
P A S A No 100		51,7	51,70			
SUMA:		500,5	500,50			



MF	3,23
% de error	0,14

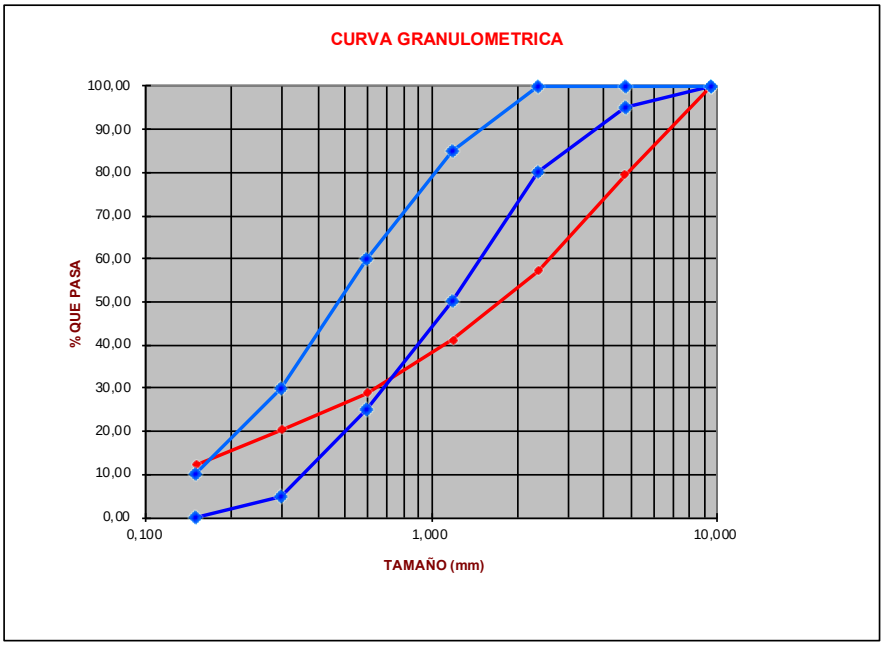
Resultado de ensayo: Al finalizar el ensayo se obtiene un MF1= 3,53, MF2= 3,16 y MF3= 3,23. Con un MF promedio de 3,31. No está dentro de los límites de la norma INEN 872.

4.1.5 Granulometría agregado fino tipo 1 (arena gruesa) - Mina San Roque

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN
GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	20/10/2020
MATERIAL:	Arena Gruesa	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAYO:	1	**MASA DE LA MUESTRA:**	500,20
CANTERA:	San Roque	**MODULO DE FINURA:**	3,60
LOCALIZACION:	Imbabura	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	0,00	0,00	0,00	100,00	100
N° 4	4,760	102,30	102,30	20,51	79,49	95-100
N° 8	2,362	111,20	213,50	42,80	57,20	80-100
N° 16	1,190	79,80	293,30	58,80	41,20	50-85
N° 30	0,595	61,10	354,40	71,05	28,95	25-60
N° 50	0,297	42,90	397,30	79,65	20,35	5-30
N° 100	0,149	39,70	437,00	87,61	12,39	0-10
P A S A No 100		61,80	61,80			
SUMA:		498,80	498,80			



MF	3,60
% de error	0,28

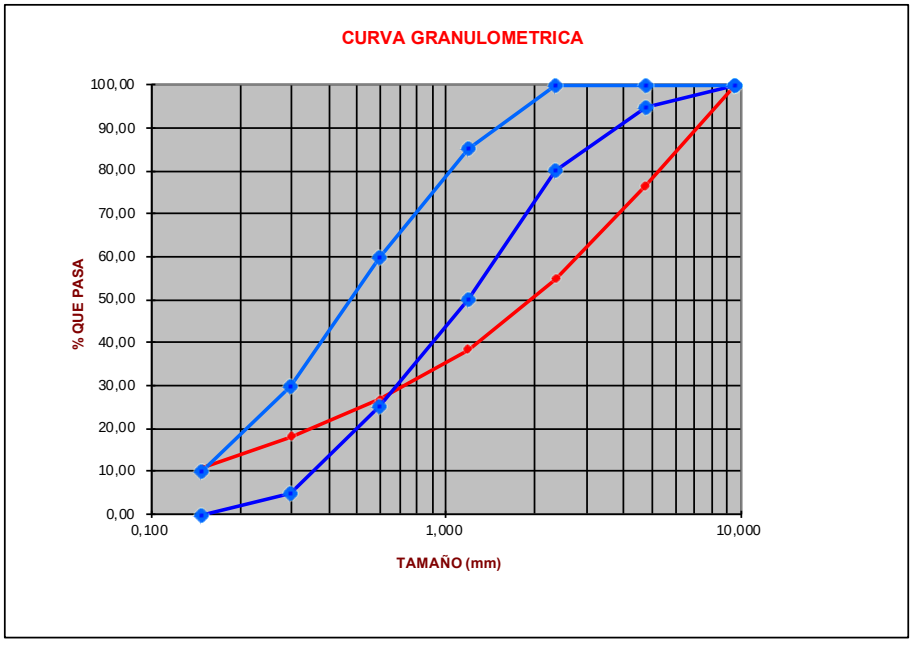
ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO: Tesis de disertación
LOCALIZACION: Quito
NORMA ENSAYO: INEN 696
MATERIAL: Arena Gruesa
NÚMERO DE ENSAYO: 2
CANTERA: San Roque
LOCALIZACION: Imbabura
MUESTRA: Tomada por el estudiante

SOLICITADO POR: PUCE
TESISTAS: Buendía y Salgado
FECHA DE EMISIÓN: 20/10/2020
ESPECIFICACION: Diseño de hormigón
MASA DE LA MUESTRA: 500,80
MODULO DE FINURA: 3,75
LABORATORIO: INECYC

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	0,00	0,00	0,00	100,00	100
N° 4	4,760	116,80	116,80	23,42	76,58	95-100
N° 8	2,362	108,40	225,20	45,15	54,85	80-100
N° 16	1,190	82,30	307,50	61,65	38,35	50-85
N° 30	0,595	58,40	365,90	73,36	26,64	25-60
N° 50	0,297	42,20	408,10	81,82	18,18	5-30
N° 100	0,149	37,60	445,70	89,35	10,65	0-10
P A S A No 100		54,30	54,30			
SUMA:		500,00	500,00			



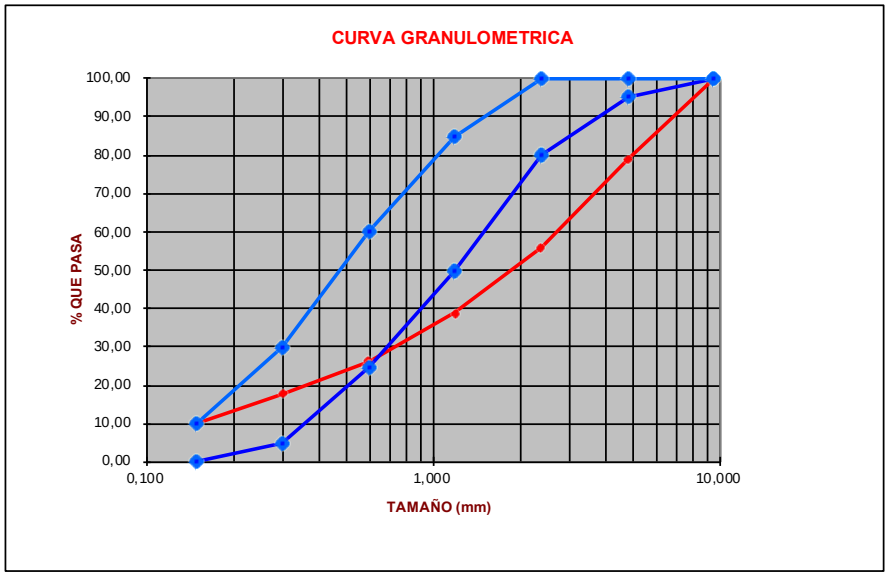
MF	3,75
% de error	0,16

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	20/10/2020
MATERIAL:	Arena Gruesa	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAYO:	3	**MASA DE LA MUESTRA:**	501,20
CANTERA:	San Francisco	**MODULO DE FINURA:**	3,72
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	0	0,00	0,00	100,00	100
N° 4	4,760	104,2	104,20	20,89	79,11	95-100
N° 8	2,362	116,6	220,80	44,27	55,73	80-100
N° 16	1,190	84,4	305,20	61,19	38,81	50-85
N° 30	0,595	62,6	367,80	73,74	26,26	25-60
N° 50	0,297	42,3	410,10	82,22	17,78	5-30
N° 100	0,149	38,4	448,50	89,92	10,08	0-10
P A S A No 100		52,2	52,20			
SUMA:		500,7	500,70			



MF	3,72
% de error	0,10

Resultado de ensayo: Finalizado el ensayo se obtiene MF1=3,6, MF2=3,75 y MF3= 3,72. Con un MF promedio de 3,69. Valor no aceptable para la elaboración de hormigón según la normativa INEN 872.

4.1.6 Análisis de los resultados del ensayo granulométrico del agregado fino tipo 1 (arena gruesa)

Actualmente en el Ecuador, no existe una norma que regule la granulometría utilizada para la fabricación de adoquines de hormigón por lo que en la presente investigación se aplicará las especificaciones granulométricas propuestas en la norma INEN 872, requisitos de agregados para la fabricación de hormigón.

Los porcentajes pasantes que requiere la norma para este tipo de agregado no se cumple en ninguno de los agregados finos de tipo 1. En el caso de la mina de San Francisco, los tamices No.4 y No.8 presentan partículas más gruesas de las requeridas al no estar dentro de los límites del porcentaje pasante.

Por otro lado, la arena proveniente de San Roque presenta partículas más grandes a las requeridas en los tamices No 4, No 8 y No.16 puesto que tiene porcentajes menores de material pasante.

De forma complementaria se puede analizar los resultados en base a las especificaciones granulométricas para diferente tamaño nominal contempladas en la investigación: "Uso del cemento portland IE en la fabricación de adoquines" (Realpe & Ortega) producto de años de experiencia en laboratorio de materiales y extensas investigaciones por parte de los autores, los cuales detallan los siguientes porcentajes pasantes:

Tabla 12:Especificaciones granulométricas para diferentes tamaños nominales

TAMAÑO NOMINAL DEL AGREGADO				
PORCENTAJE QUE PASA				
Tamiz (mm)	**19 mm a 0,15mm**	**4,75 mm a 0,15mm**	**9,51 mm a 0,15mm**	**19 mm a 0,15mm**
19	100	-	-	100
12,7	97-100	-	100	100
9,51	93-98	100	100	96-100
4,76	80-94	100	90-98	85-95
2,36	50-78	85-97	68-85	68-84
1,18	25-55	50-83	45-68	40-70
0,6	15-28	25-50	23-42	22-42
0,3	7-16	13-26	12-24	10-25
0,15	2-12	7-14	6-12	6-15

Fuente: (Reaple & Ortega, 1993)

Según la tabla 13 para el tamaño nominal del agregado utilizado en la investigación se debe utilizar las especificaciones granulométricas contempladas para porcentaje que pasa de 4,75mm a 0,15mm. Se puede identificar que, para las partículas consideradas correspondientes a las dos minas, no se adaptan al porcentaje pasante desde el tamiz 3/8” hasta el No. 16 al tener partículas más grandes a las requeridas; sin embargo, se observa que en los tamices desde el No. 30 hasta el No. 100 los porcentajes están dentro de los rangos establecidos.

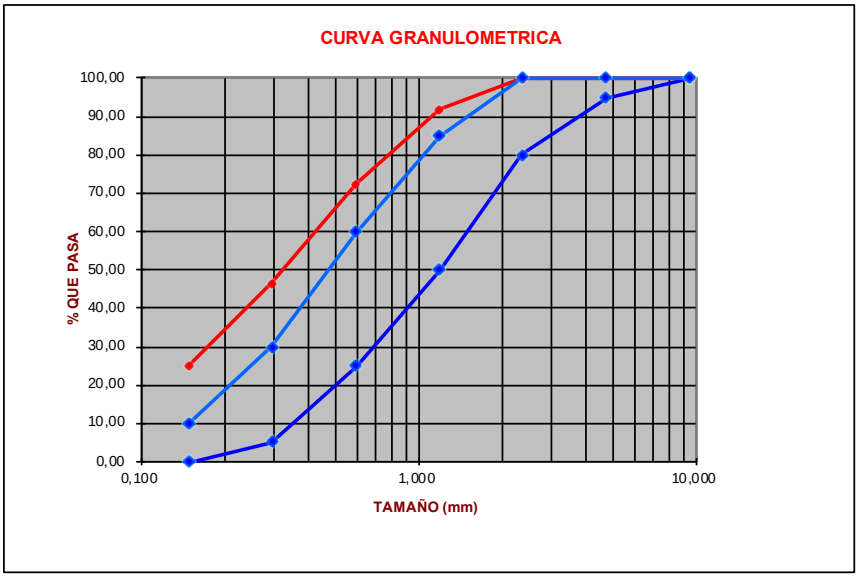
De acuerdo con la norma INEN 872, los dos materiales no se enmarcan en los límites requeridos para el módulo de finura que debe ser mayor a 2,3 y menor a 3,1. Es importante mencionar que este módulo no representa un índice de calidad granulométrica.

4.1.7 Granulometría agregado fino tipo 2 (arena fina) – Mina San francisco

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN
GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	20/10/2020
MATERIAL:	Arena Fina	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAY	1	**MASA DE LA MUESTRA:**	500,20
CANTERA:	San Francisco	**MODULO DE FINURA:**	1,64
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	0,00	0,00	0,00	100,00	100
N° 4	4,760	0,00	0,00	0,00	100,00	95-100
N° 8	2,362	0,40	0,40	0,08	99,92	80-100
N° 16	1,190	40,90	41,30	8,27	91,73	50-85
N° 30	0,595	96,40	137,70	27,58	72,42	25-60
N° 50	0,297	129,60	267,30	53,53	46,47	5-30
N° 100	0,149	106,30	373,60	74,82	25,18	0-10
P A S A No 100		125,70	125,70			
SUMA:		499,30	499,30			



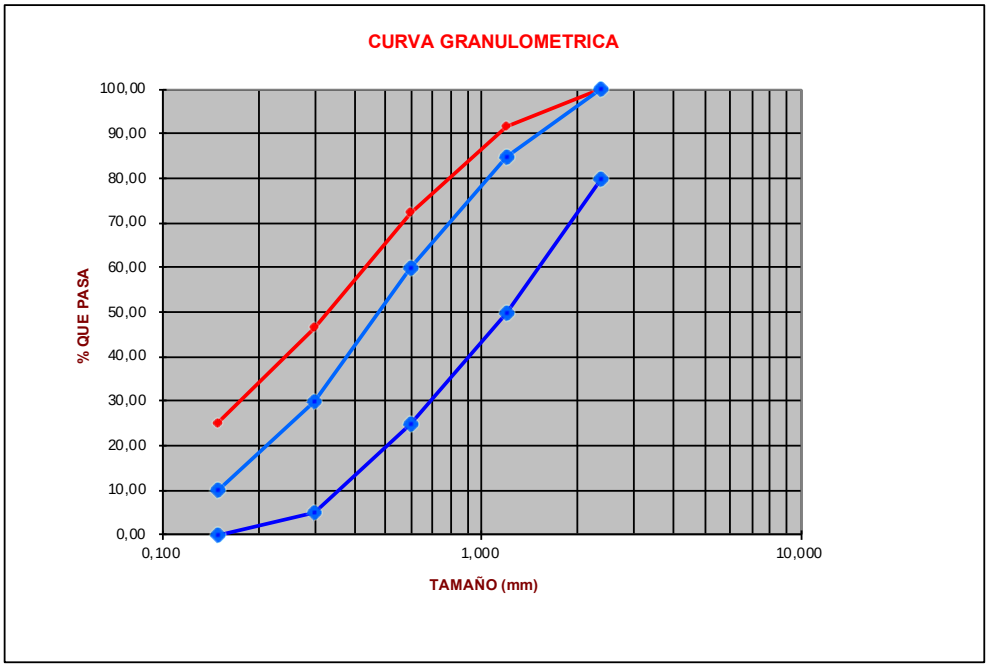
MF	1,64
% de error	0,18

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	20/10/2020
MATERIAL:	Arena Fina	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAY	2	**MASA DE LA MUESTRA:**	500,30
CANTERA:	San Francisco	**MODULO DE FINURA:**	1,68
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	0,00	0,00	0,00	100,00	100
N° 4	4,760	0,00	0,00	0,00	100,00	95-100
N° 8	2,362	0,20	0,20	0,04	99,96	80-100
N° 16	1,190	41,10	41,30	8,27	91,73	50-85
N° 30	0,595	96,40	137,70	27,58	72,42	25-60
N° 50	0,297	142,80	280,50	56,18	43,82	5-30
N° 100	0,149	97,30	377,80	75,67	24,33	0-10
P A S A No 100		121,80	121,80			
SUMA:		499,60	499,60			



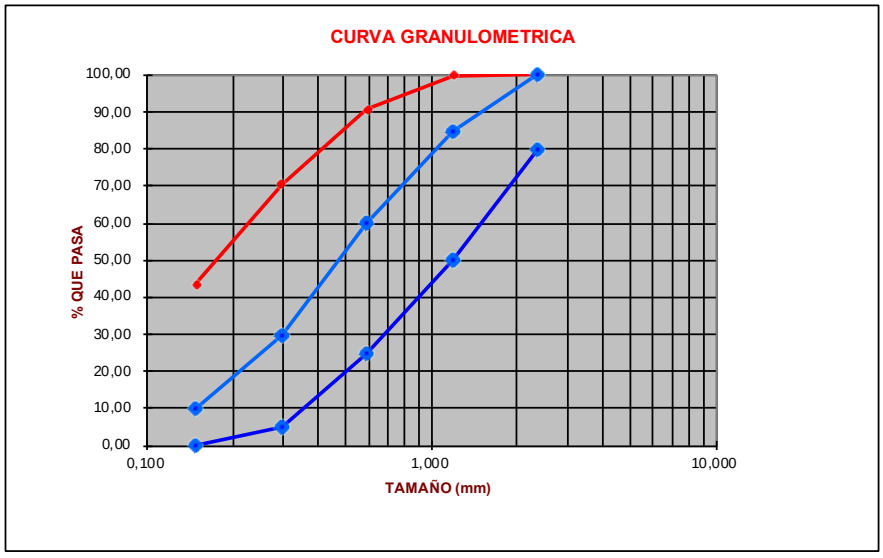
MF	1,68
% de error	0,14

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	20/10/2020
MATERIAL:	Arena Fina	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAY	3	**MASA DE LA MUESTRA:**	504,40
CANTERA:	San Francisco	**MODULO DE FINURA:**	1,72
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	0	0,00	0,00	100,00	100
N° 4	4,760	0	0,00	0,00	100,00	95-100
N° 8	2,362	0,3	0,30	0,06	99,94	80-100
N° 16	1,190	46,2	46,50	9,31	90,69	50-85
N° 30	0,595	100,3	146,80	29,40	70,60	25-60
N° 50	0,297	135,5	282,30	56,54	43,46	5-30
N° 100	0,149	102,2	384,50	77,01	22,99	0-10
P A S A No 100		118,8	118,80			
SUMA:		503,3	503,30			



MF	1,72
% de error	0,22

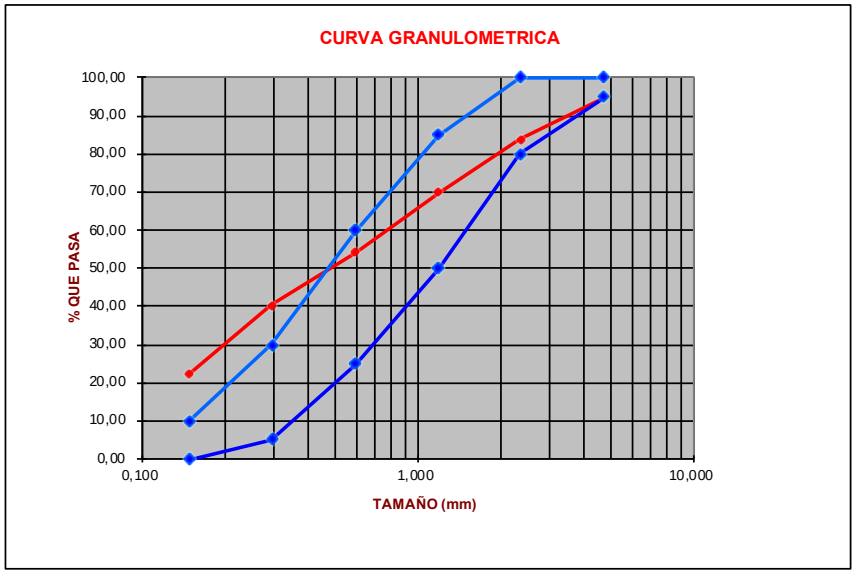
Resultado de ensayo: Al finalizar el ensayo se obtiene un MF1= 1,64, MF2= 1,68 y MF3= 1,72. Con un MF promedio de 1,68. Este valor no esta dentro de los límites de la norma INEN 872. No es apto para el diseño de mezclas de hormigón.

4.1.8 Granulometría agregado fino 2 (arena fina) - Mina San Roque

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN
GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	21/10/2020
MATERIAL:	Arena Fina	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAY	1	**MASA DE LA MUESTRA:**	500,20
CANTERA:	San Roque	**MODULO DE FINURA:**	2,35
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	0,00	0,00	0,00	100,00	100
N° 4	4,760	25,60	25,60	5,13	94,87	95-100
N° 8	2,362	55,60	81,20	16,28	83,72	80-100
N° 16	1,190	68,90	150,10	30,09	69,91	50-85
N° 30	0,595	77,90	228,00	45,70	54,30	25-60
N° 50	0,297	70,30	298,30	59,79	40,21	5-30
N° 100	0,149	89,40	387,70	77,71	22,29	0-10
P A S A No 100		111,20	111,20			
SUMA:		498,90	498,90			



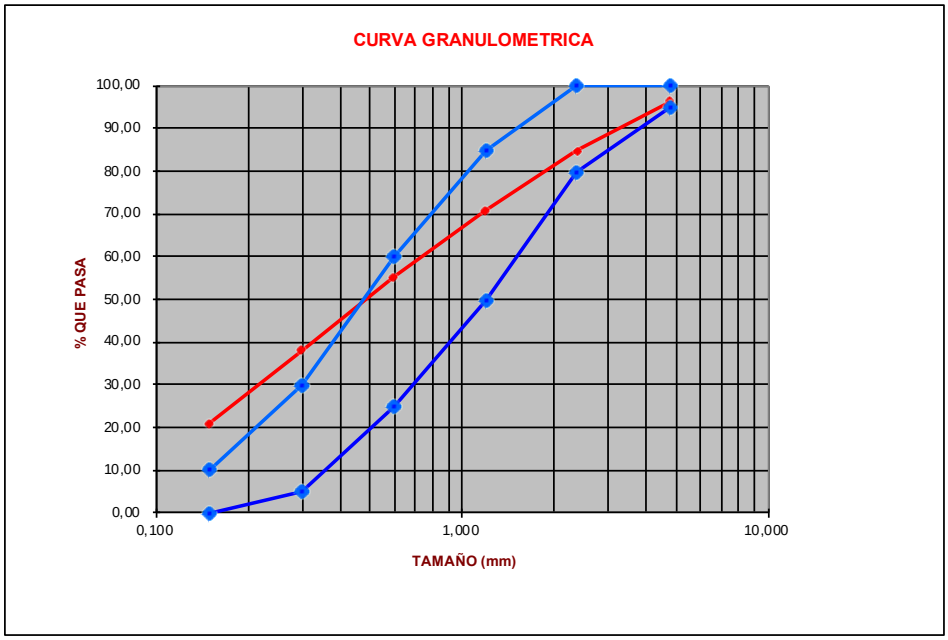
MF	2,35
% de error	0,26

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	21/10/2020
MATERIAL:	Arena Fina	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAY	2	**MASA DE LA MUESTRA:**	500,30
CANTERA:	San Roque	**MODULO DE FINURA:**	2,34
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	0,00	0,00	0,00	100,00	100
N° 4	4,760	18,20	18,20	3,65	96,35	95-100
N° 8	2,362	58,00	76,20	15,27	84,73	80-100
N° 16	1,190	69,30	145,50	29,16	70,84	50-85
N° 30	0,595	78,00	223,50	44,80	55,20	25-60
N° 50	0,297	85,70	309,20	61,98	38,02	5-30
N° 100	0,149	85,70	394,90	79,15	20,85	0-10
P A S A No 100		104,10	104,10			
SUMA:		499,00	499,00			



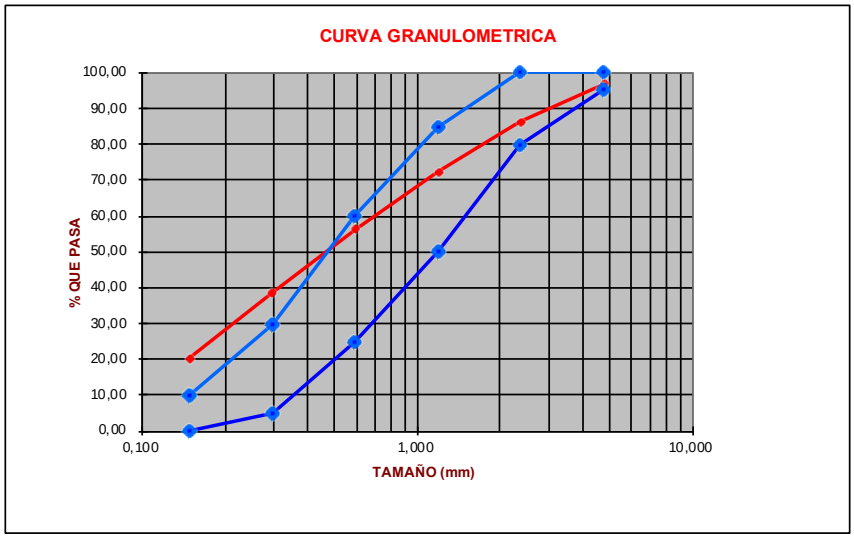
MF	2,34
% de error	0,26

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

GRANULOMETRIA POR MALLAS

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 696	**FECHA DE EMISIÓN:**	21/10/2020
MATERIAL:	Arena Fina	**ESPECIFICACION:**	Diseño de hormigón
NÚMERO DE ENSAY	3	**MASA DE LA MUESTRA:**	502,70
CANTERA:	San Roque	**MODULO DE FINURA:**	2,30
LOCALIZACION:	Pichincha	**LABORATORIO:**	INECYC
MUESTRA:	Tomada por el estudiante		

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. INEN 872
1"	25,400	0	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	0	0,00	0,00	100,00	100
N° 4	4,760	16,2	16,20	3,25	96,75	95-100
N° 8	2,362	52,8	69,00	13,83	86,17	80-100
N° 16	1,190	69,7	138,70	27,80	72,20	50-85
N° 30	0,595	79,8	218,50	43,80	56,20	25-60
N° 50	0,297	87,3	305,80	61,29	38,71	5-30
N° 100	0,149	92,1	397,90	79,76	20,24	0-10
P A S A No 100		103,6	103,60			
SUMA:		501,5	501,50			



MF	2,30
% de error	0,24

Resultado de ensayo: Finalizado el ensayo se obtiene MF1=2,35, MF2=2,34 y MF3= 2,3. Con un MF promedio de 2,33 el cual es un valor que esta en el límite del establecido en la norma INEN 872, por lo que no es recomendable su uso en la fabricación de hormigón.

4.1.9 Análisis de los resultados del ensayo granulométrico del agregado fino tipo 2 (arena fina)

Una vez realizado los ensayos de granulometría del agregado fino tipo 2 (arena fina) con partículas más pequeñas que las de tipo 1, es notorio que en ambos casos se tiene partículas demasiado finas para una arena que formará parte del hormigón.

En el caso de la mina San Francisco, no entraría en ninguno de los límites solicitados en la norma, razón por la cual esta arena es utilizada en pequeñas proporciones solo para dar un buen acabado a la cara del adoquín. Su módulo de finura en promedio tendrá un valor de 1,68, fuera de los límites establecidos.

La mina de San Roque presenta un material en su mayoría muy fino acompañado de una pequeña fracción de material grueso puesto que desde el tamiz No.16 el porcentaje pasante es excesivamente más alto al que rige los límites. Su módulo de finura en promedio tiene un valor de 2,33, ingresando entro del rango de 2,3-3,1establecido en la norma INEN 872. A su vez no presenta una distribución granulométrica adecuada en cada uno de los porcentajes pasantes para cada tamiz.

4.2 Peso unitario

4.2.1 Peso unitario agregado grueso - Mina San Francisco

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	1
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	27/10/2020
LOCALIZACION:	Cayambe	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Chispa		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	7450,00	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	8050,00	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,34	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,45	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	10100,0	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	10700,0	gr
MASA MOLDE	P =	2650,00	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	5540,0	cm^3

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	2
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	27/10/2020
LOCALIZACION:	Cayambe	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Chispa		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	7550,00	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	8150,00	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,36	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,47	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	10200,0	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	10800,0	gr
MASA MOLDE	P =	2650,00	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	5540,0	cm^3

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	3
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	27/10/2020
LOCALIZACION:	Cayambe	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Chispa		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	10147,35	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	10747,35	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,83	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,94	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	10150,00	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	10750,00	gr
MASA MOLDE	P =	2,65	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	5540,0	cm^3

4.2.2 Peso unitario agregado grueso - Mina San Roque

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN
PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	1
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	25/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Chispa		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	6700	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	7600	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,2	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,4	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	9350,00	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	10250,00	gr
MASA MOLDE	P =	2650,00	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	5540,0	cm^3

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN
PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	2
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	25/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Chispa		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	6700,00	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	7500,00	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,2	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,4	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	9350,00	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	10150,00	gr
MASA MOLDE	P =	2650,00	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	5540,0	cm^3

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	3
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	25/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Chispa		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	6750,00	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	7550,00	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,2	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,4	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	9400,00	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	10200,00	gr
MASA MOLDE	P =	2650,00	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	5540,0	cm^3

4.2.3 Análisis de los resultados del ensayo del peso unitario de la chispa

Una vez realizado el ensayo del peso unitario del agregado considerado como chispa de la mina San Francisco, se obtuvo un promedio de peso unitario suelto de 1,51 g/cm3 y un valor promedio de 1,62 g/cm3 de peso unitario compacto.

Para la chispa de la mina de San Roque se obtuvo un promedio de peso unitario suelto de 1,20 g/cm3 y un valor promedio de 1,40 g/cm3 de peso unitario compacto.

Valores utilizados para transformar de masa a volumen y viceversa en el diseño de la mezcla de hormigón en dosificaciones al volumen.

Si consideramos los vacíos de aire presentes entre partículas, podemos decir que la chispa de San Francisco al ser más densa presenta menos vacíos con respecto a la chispa procedente de San Roque.

El resultado de este ensayo varía según varios factores como la forma del agregado, su textura, etc. Además, este valor no constituye un índice de calidad sino una característica utilizada para realizar cálculos de dimensionamiento y comercialización. En el caso de ser utilizados para la fabricación de hormigón el valor del peso unitario de la chispa permite tener un indicio de su mayor o menor capacidad de ajuste por un proceso de compactación.

4.2.4 Peso unitario agregado fino tipo 1 (arena gruesa) - Mina San Francisco

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	1
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	27/10/2020
LOCALIZACION:	Cayambe	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Arena Gruesa		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	1576,9	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	1752,5	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,58	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,75	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	2206,0	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	2381,6	gr
MASA MOLDE	P =	629,1	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	1000,0	cm^3

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	2
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	27/10/2020
LOCALIZACION:	Cayambe	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Arena Gruesa		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	1549,6	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	1742,0	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,55	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,74	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	2178,7	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	2371,1	gr
MASA MOLDE	P =	629,1	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	1000,0	cm^3

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	3
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	27/10/2020
LOCALIZACION:	Cayambe	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Arena Gruesa		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	1568,1	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	1749,6	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,57	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,75	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	2197,2	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	2378,7	gr
MASA MOLDE	P =	629,1	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	1000,0	cm^3

4.2.5 Peso unitario agregado fino tipo 1 (arena gruesa) - Mina San Roque

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	1
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	28/10/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Arena Gruesa		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	1709,0	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	1901,6	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,71	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,90	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	2338,1	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	2530,7	gr
MASA MOLDE	P =	629,1	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	1000,0	cm^3

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	2
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	29/10/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Arena Gruesa		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	1707,7	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	1930,7	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,71	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,93	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	2336,8	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	2559,8	gr
MASA MOLDE	P =	629,1	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	1000,0	cm^3

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	3
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	29/10/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Arena Gruesa		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	1674,5	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	1939,6	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,67	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,94	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	2303,6	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	2568,7	gr
MASA MOLDE	P =	629,1	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	1000,0	cm^3

4.2.6 Análisis de resultados del ensayo del peso unitario del agregado fino tipo 1 (arena gruesa)

En el agregado fino tipo 1 de la mina San Francisco se obtuvo un promedio de peso unitario suelto de 1,56 g/cm3 y un valor promedio de 1,75 g/cm3 de peso unitario compacto.

Por otro lado para la mina de San Roque que obtuvo un promedio de peso unitario suelto de 1,70 g/cm3 y un valor promedio de 1,92 g/cm3 de peso unitario compacto.

Valores utilizados para transformar de masa a volumen y viceversa en el diseño de la mezcla de hormigón. Su aplicación dependerá del tipo de dosificación.

4.2.7 Peso unitario agregado fino tipo 2 (arena fina) - Mina San Francisco

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	1
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	02/02/2021
LOCALIZACION:	Cayambe	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Arena Fina		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	1746,0	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	1896,0	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,75	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,90	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	2375,3	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	2525,3	gr
MASA MOLDE	P =	629,3	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	1000,0	cm^3

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	2
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	02/02/2021
LOCALIZACION:	Cayambe	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Arena Fina		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	1747,3	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	1892,8	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,75	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,89	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	2376,6	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	2522,1	gr
MASA MOLDE	P =	629,3	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	1000,0	cm^3

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	3
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	02/02/2021
LOCALIZACION:	Cayambe	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Arena Fina		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	1750,2	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	1887,2	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,75	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,89	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	2379,5	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	2516,5	gr
MASA MOLDE	P =	629,3	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	1000,0	cm^3

4.2.8 Peso unitario agregado fino tipo 2 (arena fina) – Mina San Roque

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	1
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	02/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Arena Fina		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	1755,3	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	1952,3	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,76	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,95	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	2384,4	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	2581,4	gr
MASA MOLDE	P =	629,1	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	1000,0	cm^3

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	2
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	02/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Arena Fina		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	1755,7	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	1959,8	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,76	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,96	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	2384,8	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	2588,9	gr
MASA MOLDE	P =	629,1	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	1000,0	cm^3

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**TESISTAS**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 858	**# ENSAYO**	3
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	02/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**DESCRIPCION:**	Peso Unitario
MUESTRA:	Tomada por el estudiante	**LABORATORIO:**	INECYC
AGREGADO:	Arena Fina		

MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	1760,1	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	1955,5	gr
PESO UNITARIO SUELTO	Ms / V =	1,76	g / cm^3
PESO UNITARIO COMPACTO	Mc / V =	1,96	g / cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A =	2389,2	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B =	2584,6	gr
MASA MOLDE	P =	629,1	gr
VOLUMEN MOLDE	V =	1000,0	cm^3

4.2.9 Análisis de los resultados del ensayo de peso unitario del agregado fino tipo 2 (arena fina)

Para el agregado fino de la mina San Francisco se obtiene un promedio de peso unitario suelto de 1,75 g/cm3 y un valor promedio de 1,89 g/cm3 de peso unitario compacto.

Y en el caso de la mina de San Roque se obtiene un promedio de peso unitario suelto de 1,76 g/cm3 y un valor promedio de 1,96 g/cm3 de peso unitario compacto.

Valores utilizados para transformar de masa a volumen y viceversa en el diseño de la mezcla de hormigón.

Analizando los resultados obtenidos de las densidades de las dos minas se puede determinar que el agregado de la mina de San Roque presenta un menor porcentaje de vacíos con respeto al material de la mina de San Francisco, al tener una densidad más alta. De igual forma estos resultados no determinan la calidad de los agregados, simplemente son necesarios para cálculos y transformaciones.

4.3 Contenido de materia orgánica

4.3.1 Contenido de materia orgánica agregado fino tipo 1 (arena gruesa)- Mina San Francisco

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

Contenido de materia orgánica

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
Fecha:	3/11/20	**Tesistas:**	Buendía-Salgado
Agreado:	Arena Gruesa	**Cantera:**	San Francisco
Ensayo:	1-2	**LABORATORIO:**	INECYC





Número de orden en el comparador: 1
Intepretación: No presenta materia orgánica

4.3.2 Contenido de materia orgánica agregado fino tipo 1(arena gruesa) - Mina San Roque

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

Contenido de materia orgánica

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
Fecha:	3/11/20	**Tesistas:**	Buendía-Salgado
Agreado:	Arena gruesa	**Cantera:**	San Roque
Ensayo:	1-2	**Laboratorio:**	INECYC



Número de orden en el comparador: 1
Intepretación: No presenta materia orgánica

4.3.3 Análisis de resultados del ensayo de contenido de materia orgánica del agregado tipo 1 (arena gruesa)

Finalizado el ensayo, en el caso de los agregados provenientes de San Francisco dentro de la escala de color normalizado Gardner tiene un valor de 2. Por lo cual este agregado no presenta materia orgánica.

Para los agregados tipo 1 de San Roque el resultado en la escala de Gardner tiene un valor de 1. Determina que no exististe la presencia de materia orgánica.

Los agregados de las dos minas son aptos para la elaboración de hormigón.

4.3.4 Contenido de materia orgánica agregado fino tipo 2 (arena fina) - Mina San Francisco

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

Contenido de materia orgánica

PROYECTO: Tesis de Disertación
Fecha: 3/11/20
Agregado: Arena Fina
Ensayo: 1-2

SOLICITADO POR: PUCE
Tesistas: Buendía-Salgado
Cantera: San Francisco
LABORATORIO: INECYC





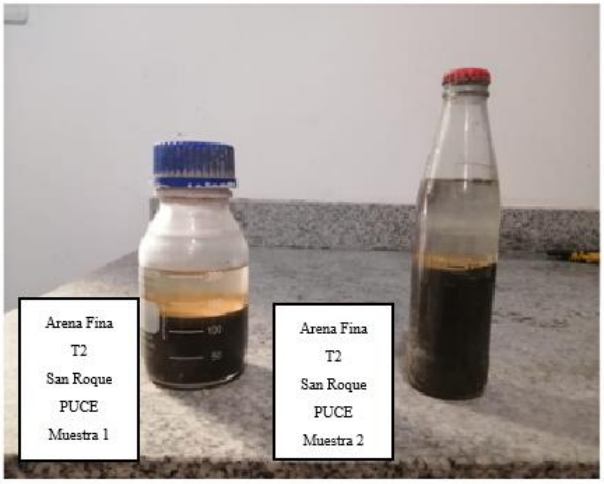
Número de orden en el comparador: 2
Intepretación: No presenta materia orgánica

4.3.5 Contenido de materia orgánica agregado fino tipo 2 (arena fina) - Mina San Roque

ENSAYOS PARA PROYECTO DE DISERTACIÓN

Contenido de materia orgánica

PROYECTO:	Tesis de Disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
Fecha:	3/11/20	**Tesistas:**	Buendía-Salgado
Agreado:	Arena Fina	**Cantera:**	San Roque
Ensayo:	1-2	**Laboratorio:**	INECYC



Número de orden en el comparador: 1

Intepretación: No presenta materia orgánica

4.3.6 Análisis de los resultados del ensayo de contenido de materia orgánica del agregado tipo 2

Los resultados del ensayo muestran que las dos arenas tipo 2 tienen el valor de 1 dentro de la escala de color normalizado Gardner. Por lo cual no presentan contenido de materia orgánica y pueden ser utilizadas en la fabricación de adoquines de hormigón.

4.4 Abrasión de chispa

4.4.1 Ensayo de Abrasión - Mina San Francisco

Ensayo para proyecto de Disertación

ENSAYO DE ABRASION

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	INEN 860	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
Ensayo N°:	1	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	10/11/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	4985,50 gr
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

$$D = (C / A) * 100$$

$$C = (A - B)$$

TIPO DE GRADACION: **C**

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	4985,5	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ Nº 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	B=	3296,2	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ Nº 12	C=	1689,3	gr
PORCENTAJE DE DESGASTE	**D=**	**34**	**%**
Coeficiente de Variación proemdio 3 ensayos	CV=	**4,4**	**%**

Ensayo para proyecto de Disertación

ENSAYO DE ABRASION

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	INEN 860	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
Ensayo N°:	2	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	10/11/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	5000,10 gr
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

$$D = (C / A) * 100$$

$$C = (A - B)$$

TIPO DE GRADACION: **C**

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	5000,1	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ Nº 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	B=	3350,6	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ Nº 12	C=	1649,5	gr
PORCENTAJE DE DESGASTE	**D=**	**33**	**%**

Ensayo para proyecto de Disertación

ENSAYO DE ABRASION

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	INEN 860	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
Ensayo N°:	3	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	10/11/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	4995,50 gr
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

D = (C / A) * 100

C = (A - B)

TIPO DE GRADACION: **C**

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	4995,5	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ Nº 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	B=	3392,3	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ Nº 12	C=	1603,2	gr
PORCENTAJE DE DESGASTE	**D=**	**32**	**%**

4.4.2 Ensayo de Abrasión - Mina San Roque

Ensayo para proyecto de Disertación
ENSAYO DE ABRASION

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	INEN 860	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
Ensayo N°:	1	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	25/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	4939,40 gr
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

D = (C / A) * 100

C = (A - B)

TIPO DE GRADACION: **C**

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	4939,4	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ Nº 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	B=	3579,1	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ Nº 12	C=	1360,3	gr
PORCENTAJE DE DESGASTE	**D=**	**28**	**%**
Coeficiente de Variación proemdio 3 ensayos	CV=	**2,63**	**%**

Ensayo para proyecto de Disertación

ENSAYO DE ABRASION

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	INEN 860	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
Ensayo N°:	2	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	25/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	5000,30 gr
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

$$D = (C / A) * 100$$

$$C = (A - B)$$

TIPO DE GRADACION: **C**

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	5000,3	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ Nº 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	B=	3572,1	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ Nº 12	C=	1428,2	gr
PORCENTAJE DE DESGASTE	**D=**	**29**	**%**

Ensayo para proyecto de Disertación

ENSAYO DE ABRASION

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	MASA REQUERIDA		
NORMA ENSAYO:	INEN 860	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
Ensayo N°:	3	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	25/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	4997,60 gr
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

D = (C / A) * 100

C = (A - B)

TIPO DE GRADACION: **C**

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	4997,6	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ Nº 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	B=	3562,1	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ Nº 12	C=	1435,5	gr
PORCENTAJE DE DESGASTE	**D=**	**29**	**%**

4.4.3 Análisis de resultados del ensayo de abrasión del agregado grueso- chispa

Al realizar 3 ensayos de abrasión se obtuvo un promedio de 33% de desgaste con el agregado proveniente de San Francisco valor aceptable según la normativa INEN 872, al ser menor al 50%, puede ser empleado en la fabricación de hormigón.

Para la chispa de San Roque se obtuvo un promedio de 29% de desgaste. Siendo un valor adecuado para el diseño de mezclas y fabricación de hormigón. La chispa de las dos minas son aptas para la elaboración de hormigón.

4.5 Gravedad específica y absorción

4.5.1 Gravedad específica y absorción agregado grueso (chispa) - Mina San Francisco

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 857	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	15/12/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

$$Ge = \frac{A}{B - C} \qquad Ges = \frac{B}{B - C}$$

$$Gea = \frac{A}{A - C} \qquad Ab = \frac{B - C}{A} * 100$$

MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	2123,90	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	2073,90	gr
MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA	C =	1278,60	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,45	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,51	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,61	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2447	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2506	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2601	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2,4	%

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 857	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	15/12/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

$$Ge = \frac{A}{B - C} \qquad Ges = \frac{B}{B - C}$$

$$Gea = \frac{A}{A - C} \qquad Ab = \frac{B - C}{A} * 100$$

MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	2148,30	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	2092,80	gr
MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA	C =	1292,10	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,44	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,51	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,61	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2438	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2503	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2607	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2,7	%

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	3	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 857	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	15/12/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

$$Ge = \frac{A}{B - C} \qquad Ges = \frac{B}{B - C}$$

$$Gea = \frac{A}{A - C} \qquad Ab = \frac{B - C}{A} * 100$$

MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	2140,40	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	2086,70	gr
.			
MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA	C =	1290,50	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,46	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,52	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,62	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2449	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2512	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2614	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2,6	%

4.5.2 Gravedad específica y absorción agregado grueso (chispa) - Mina San Roque

Ensayo para proyecto de Disertación
GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 857	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	15/12/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

$$Ge = \frac{A}{B - C} \qquad Ges = \frac{B}{B - C}$$

$$Gea = \frac{A}{A - C} \qquad Ab = \frac{B - C}{A} * 100$$

MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	2104,50	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	2064,10	gr
.			
MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA	C =	1300,00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,57	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,62	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,70	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2559	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2609	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2695	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2,0	%

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 857	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	15/12/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

$$Ge = \frac{A}{B - C} \qquad Ges = \frac{B}{B - C}$$

$$Gea = \frac{A}{A - C} \qquad Ab = \frac{B - C}{A} * 100$$

MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	2094,50	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	2057,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA	C =	1290,50	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,56	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,61	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,68	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2552	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2599	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2677	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	1,8	%

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO GRUESO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	3	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
NORMA ENSAYO:	INEN 857	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	15/12/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

$$Ge = \frac{A}{B - C} \qquad Ges = \frac{B}{B - C}$$

$$Gea = \frac{A}{A - C} \qquad Ab = \frac{B - C}{A} * 100$$

MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	2138,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	2098,30	gr
MASA DE LA MUESTRA SUMERGIDA	C =	1314,30	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,55	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,60	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,68	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2541	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2589	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2670	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	1,9	%

4.5.3 Análisis de los resultados del ensayo de gravedad específica del agregado grueso- chispa

Finalizado el ensayo se obtiene para la mina San Francisco un valor promedio de: gravedad específica= 2,45, gravedad específica saturada con superficie seca= 2,51, gravedad aparente= 2,61, densidad (SH) = 2445 kg/m3, densidad (SSS)= 2507 Kg/m3, densidad aparente= 2608 kg/m3 y un porcentaje de absorción de 2,5%.

Para la mina de San Roque se obtuvo un valor promedio de: gravedad específica= 2,56, gravedad específica saturada con superficie seca= 2,61, gravedad aparente= 2,69, densidad (SH) = 2551 kg/m3, densidad (SSS)= 2599 Kg/m3, densidad aparente= 2680 kg/m3 y un porcentaje de absorción de 1,9 %.

Estos valores pueden ser utilizados para la fabricación de hormigón y dependerá de los ensayos complementarios.

4.5.4 Gravedad específica y absorción agregado tipo fino 1 (arena gruesa) - Mina San Francisco

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO FINO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 856	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	15/12/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DEL MATRAZ	Mm =	149,70	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	Mmwm =	951,00	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	500,20	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A=	483,30	gr
MASA DE AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	Ma =	301,1	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,43	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,51	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,66	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2424	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2509	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2649	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	3,5	%

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO FINO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 856	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	15/12/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DEL MATRAZ	Mm =	149,70	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	Mmwm =	948,70	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	500,20	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A=	490,10	gr
MASA DE AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	Ma =	298,8	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,44	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,49	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,56	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2430	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2480	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2558	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2,1	%

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO FINO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	3	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 856	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	15/12/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DEL MATRAZ	Mm =	149,70	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	Mmwm =	950,20	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	500,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A=	490,10	gr
MASA DE AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	Ma =	300,5	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,46	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,51	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,58	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2451	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2500	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2578	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2,0	%

4.5.5 Gravedad específica y absorción agregado fino tipo 1 (arena gruesa) - Mina San Roque

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO FINO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 856	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	25/11/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DEL MATRAZ	Mm =	149,60	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	Mmwm =	953,20	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	500,20	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A=	479,90	gr
MASA DE AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	Ma =	303,4	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,44	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SEC.	Ges =	2,54	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,72	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2435	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2538	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2715	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	4,2	%

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO FINO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 856	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	25/11/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DEL MATRAZ	Mm =	149,60	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	Mmwm =	942,80	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	500,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A=	477,10	gr
MASA DE AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	Ma =	293,2	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,31	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SEC	Ges =	2,42	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,59	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2301	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2412	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2588	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	4,8	%

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO FINO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	3	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 856	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	25/11/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DEL MATRAZ	Mm =	149,60	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	Mmwm =	950,20	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	500,20	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A=	480,20	gr
MASA DE AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	Ma =	300,4	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,41	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SEC	Ges =	2,51	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,67	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2400	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2500	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2667	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	4,2	%

4.5.6Análisis de resultados del ensayo de gravedad específica del agregado fino tipo 1 (arena gruesa)

En el caso de la mina de San Francisco se obtiene un valor promedio de: gravedad específica= 2,44, gravedad específica saturada con superficie seca= 2,50, gravedad aparente= 2,60, densidad (SH) = 2435 kg/m3, densidad (SSS)= 2496 Kg/m3 , densidad aparente= 2595 kg/m3 y un porcentaje de absorción de 2,5 %.

Para la mina de San Roque se obtiene un valor promedio de: gravedad específica= 2,38, gravedad específica saturada con superficie seca= 2,49, gravedad aparente= 2,66, densidad (SH) = 2379 kg/m3, densidad (SSS)= 2483 Kg/m3 , densidad aparente= 2657 kg/m3 y un porcentaje de absorción de 4,4 %. Estos valores pueden ser utilizados para la fabricación de hormigón y dependerá de los ensayos complementarios.

4.5.7 Gravedad específica y absorción agregado fino tipo 2 (arena fina) - Mina San Francisco

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO FINO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena FINA
NORMA ENSAYO:	INEN 856	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	24/11/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DEL MATRAZ	Mm =	149,70	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	Mmwm =	920,80	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	501,30	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A=	469,30	gr
MASA DE AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	Ma =	269,8	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,04	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,18	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,37	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2034	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2172	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2362	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	6,8	%

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO FINO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 856	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	24/11/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DEL MATRAZ	Mm =	149,70	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	Mmwm =	933,30	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	501,10	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A=	467,80	gr
MASA DE AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	Ma =	282,5	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,15	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,30	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,54	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2145	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2298	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2533	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	7,1	%

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO FINO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	3	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 856	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	24/11/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DEL MATRAZ	Mm =	149,70	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	Mmwm =	921,70	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	501,50	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A=	463,30	gr
MASA DE AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	Ma =	270,5	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,02	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,19	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,42	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2014	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2180	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2416	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	8,2	%

4.5.8 Gravedad específica y absorción agregado fino tipo 2 (arena fina)- Mina San Roque

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO FINO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena FINA
NORMA ENSAYO:	INEN 856	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	05/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DEL MATRAZ	Mm =	149,70	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	Mmwm =	956,10	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	506,10	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A=	482,80	gr
MASA DE AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	Ma =	300,3	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,42	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SEC	Ges =	2,53	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,74	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2412	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2528	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2730	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	4,8	%

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO FINO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 856	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	05/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DEL MATRAZ	Mm =	149,70	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	Mmwm =	951,20	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	506,40	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A=	483,30	gr
MASA DE AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	Ma =	295,1	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,36	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SEC	Ges =	2,47	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,66	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2353	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2465	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2652	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	4,8	%

Ensayo para proyecto de Disertación

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION EN AGREGADO FINO

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	3	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 856	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	05/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DEL MATRAZ	Mm =	149,70	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	Mmwm =	954,90	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	502,10	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A=	480,30	gr
MASA DE AGUA AÑADIDA AL MATRAZ	Ma =	303,1	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA	Ge =	2,44	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SEC	Ges =	2,55	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,74	
DENSIDAD (SH)	Ge =	2433	Kg/m3
DENSIDAD (SSS)	Ges =	2544	Kg/m3
DENSIDAD APARENTE	Gea =	2736	Kg/m3
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	4,5	%

4.5.9 Análisis de resultados del ensayo de gravedad específica del agregado fino tipo 2 (arena fina)

Los resultados para la mina San Francisco en promedio son: gravedad específica= 2,07, gravedad específica saturada con superficie seca= 2,22, gravedad aparente= 2,44, densidad (SH) = 2064 kg/m3 , densidad (SSS)= 2217 Kg/m3 , densidad aparente= 2437 kg/m3 y un porcentaje de absorción de 7,4 %.

Para el caso de San Roque los ensayos arrojan un valor promedio de: gravedad específica= 2,41, gravedad específica saturada con superficie seca= 2,52, gravedad aparente= 2,71 , densidad (SH) = 2399 kg/m3 , densidad (SSS)= 2512 Kg/m3 , densidad aparente= 2706 kg/m3 y un porcentaje de absorción de 4,7 %. Estos valores pueden ser utilizados para la fabricación de hormigón y dependerá de los ensayos complementarios.

4.6 Terrones de Arcilla

4.6.1 Terrones de arcilla agregado grueso - Mina San Francisco

Ensayo para proyecto de Disertación
TERRONES DE ARCILLA

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO DE ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Agregado Grueso
NORMA ENSAYO:	INEN 698	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	08/12/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	M =	1000,00	gr
MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL TAMIZ ESTIPULADO	R =	993,20	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA	% =	0,68	

Ensayo para proyecto de Disertación
TERRONES DE ARCILLA

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO DE ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Agregado Grueso
NORMA ENSAYO:	INEN 698	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	08/12/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	M =	1000,00	gr
MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL TAMIZ ESTIPULAD(	R =	991,30	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA	% =	0,87	

4.6.2 Terrones de arcilla agregado grueso - Mina San Roque

Ensayo para proyecto de Disertación
TERRONES DE ARCILLA

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Agregado Grueso
NORMA ENSAYO:	INEN 698	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	10/12/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	M =	1000,10	gr
MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL TAMIZ ESTIPULADO	R =	995,30	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA	% =	0,48	

Ensayo para proyecto de Disertación

TERRONES DE ARCILLA

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Agregado Grueso
NORMA ENSAYO:	INEN 698	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	10/12/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	M =	1000,00	gr
MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL TAMIZ ESTIPULADO	R =	996,10	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA	% =	0,39	

4.6.3 Análisis de resultados del ensayo de terrones de arcilla del agregado grueso (chispa)

Una vez realizado los ensayos para la mina San Francisco se obtiene un porcentaje promedio de terrones de arcilla con un valor de 0,78%. Es un valor aceptable según la norma INEN 872.

Los ensayos realizados con los agregados de San Roque dan un porcentaje promedio de terrones de arcilla con un valor de 0,44 %. Es un valor aceptable según la norma INEN 872. En este caso los dos agregados son aptos para ser parte de una mezcla de hormigón al tener un porcentaje menor al 5%.

4.6.4 Terrones de arcilla agregado fino tipo1 (arena gruesa) - Mina San Francisco

Ensayo para proyecto de Disertación
TERRONES DE ARCILLA

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO DE ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 698	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	08/12/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	M =	1000,50	gr
MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL TAMIZ ESTIPULADO	R =	975,70	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA	% =	2,48	

Ensayo para proyecto de Disertación
TERRONES DE ARCILLA

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO DE ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 698	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	08/12/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	M =	1000,00	gr
MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL TAMIZ ESTIPULADC	R =	967,80	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA	% =	3,22	

4.6.5 Terrones de arcilla agregado fino tipo1 (arena gruesa) - Mina San Roque

Ensayo para proyecto de Disertación
TERRONES DE ARCILLA

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 698	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	10/12/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	M =	1000,20	gr
MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL TAMIZ ESTIPULADO	R =	949,60	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA	% =	5,06	

Ensayo para proyecto de Disertación
TERRONES DE ARCILLA

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 698	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	10/12/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	M =	1000,10	gr
MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL TAMIZ ESTIPULADC	R =	955,70	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA	% =	4,44	

4.6.6 Análisis de resultados del ensayo de terrones de arcilla del agregado fino tipo1 (arena gruesa)

El ensayo de terrones de arcilla para el agregado tipo 1 de San Francisco presenta un porcentaje promedio de 2,85%. Es un valor aceptable según la norma INEN 872.

En el caso del agregado fino tipo 1 proveniente de la mina San Roque tiene un valor promedio de terrones de arcilla de 4,75 %. Es un valor aceptable según la norma INEN 872. Los agregados provenientes de diferentes minas son aceptables para la elaboración de hormigón al tener un porcentaje menor al 5%.

4.6.7 Terrones de arcilla agregado fino tipo 2 (arena fina) - Mina San Francisco

Ensayo para proyecto de Disertación

TERRONES DE ARCILLA

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO DE ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 698	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	09/12/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	M =	300,80	gr
MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL TAMIZ ESTIPULADO	R =	289,90	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA	% =	3,62	

Ensayo para proyecto de Disertación
TERRONES DE ARCILLA

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO DE ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 698	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	09/12/2020
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	M =	300,20	gr
MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL TAMIZ ESTIPULADO	R =	286,60	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA	% =	4,53	

4.6.8 Terrones de arcilla agregado fino tipo 2 (arena fina) - Mina San Roque

Ensayo para proyecto de Disertación
TERRONES DE ARCILLA

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 698	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	09/12/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	M =	306,60	gr
MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL TAMIZ ESTIPULADO	R =	289,90	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA	% =	5,45	

Ensayo para proyecto de Disertación
TERRONES DE ARCILLA

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 698	**LABORATORIO:**	INECYC
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	09/12/2020
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....

MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	M =	300,20	gr
MASA DE LAS PARTICULAS RETENIDAS EN EL TAMIZ ESTIPULADO	R =	287,60	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA	% =	4,20	

4.6.9 Análisis de resultados del ensayo de terrones de arcilla del agregado fino tipo 2 (arena fina)

Una vez concluidos los ensayos se obtiene un porcentaje promedio de terrones de arcilla para los agregados de la mina San Francisco con un valor de 4,08 %. Es un valor aceptable según la norma INEN 872.

El porcentaje promedio obtenido de terrones de arcilla con agregados de la mina San Roque es de 4,83 %. Es un valor aceptable según la norma INEN 872.

Los materiales procedentes de diferentes minas son aceptables al tener un porcentaje menor al 5% para hormigones que serán empleados como pavimento articulado.

4.7 Ensayo de desgaste de sulfatos

El presente ensayo tiene como objetivo realizar una estimación empleando soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. La normativa que rige en el país para este ensayo es la INEN 863. Que es aplicable en agregados a ser utilizados para la fabricación de hormigón con el fin de tener una estimación del desempeño de los agregados por acción de la intemperie.

El intemperismo según la normativa de requisitos para áridos de hormigón INEN 872 es:

> "Acción del medio que actúa sobre el árido como: congelamiento y descongelamiento, secado y humedecimiento, calentamiento y enfriamiento y/o posibles combinaciones. Para la aplicación de los requisitos mencionados en la tabla 3 de esta norma, se refieren a la acción de congelamiento y descongelamiento" (INEN 872 ,2011, p.1)

Se presentan las siguientes condiciones de intemperismo:

- **Condición de intemperismo severo (S):** El hormigón se encontrará sometido a un clima frío, expuesto a productos químicos descongelantes. Existe la posibilidad de que el hormigón se sature por un contacto continuo con agua antes de producirse un ciclo de congelamiento y descongelamiento.
- **Condición de intemperismo moderado (M):** El hormigón se encontrará en zonas donde se espera un congelamiento ocasional. Pero donde se encuentre a la intemperie no este continuamente sometido a congelamiento y descongelamiento.
- **Condición de intemperismo nulo (N):** El hormigón estará expuesto a un clima que raramente presentará congelamiento en presencia de humedad.

El clima está compuesto de valores estadísticos sobre los elementos del tiempo atmosférico en una locación durante un período de tiempo representativo, como son: temperatura, presión, porcentaje de humedad, precipitaciones, viento, etc. Estos valores son obtenidos de una recopilación de información sistemática y homogénea, durante periodos de 30 años o más, con excepción de países ubicados en la faja ecuatorial donde el clima es más estable y con un porcentaje bajo de variación respecto a los parámetros climáticos. (Miguel Royo-Ochoa, 2010)

Resultado ensayo: Debido a que en el Ecuador la presencia de climas extremadamente fríos es casi inexistente. Se considera que el hormigón a fabricar estará en condiciones de imtemperismo nulo. Por esta razón se omitió realizar el ensayo, pues en los porcentajes de máximo permisible no se considera un porcentaje adecuado para que el agregado se considere apropiado para su uso en mezclas de hormigón.

Ilustración 43: Tabla máximos permisibles en agregados de hormigón

Designación de clase	Tipo o ubicación de la construcción de hormigón	Máximo permisible, %						
		Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	Chert [D] (gr. esp. SSS menor de 2,40)	Total de terrones de arcilla, partículas desmenuzables y chert (gr. esp. SSS menor de 2,40)	Material más fino que 75 µm	Carbón y lignito	Valor de la degradación (%)[A]	Solidez de los áridos mediante el sulfato de magnesio (5 ciclos) [B]
Condición de intemperismo severo								
1S	Zapatas, fundaciones, columnas y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10,0	---	---	1,0 [C]	1,0	50	---
2S	Pisos interiores sin revestimiento	5,0	---	---	1,0 [C]	0,5	50	---
3S	Muros de fundación sobre el nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5,0	5,0	7,0	1,0 [C]	0,5	50	18
4S	Pavimentos, tableros de puentes, caminos y bordillos, senderos, patios, pisos de garaje, pisos expuestos y terrazas o estructuras frente al agua, sujetas a humedecimiento continuo.	3,0	5,0	5,0	1,0 [C]	0,5	50	18
5S	Hormigón arquitectónico expuesto	2,0	3,0	3,0	1,0 [C]	0,5	50	18
Condición de intemperismo moderado								
1M	Zapatas, fundaciones, columnas, y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10,0	---	---	1,0 [C]	1,0	50	---
2M	Pisos interiores sin revestimiento	5,0	---	---	1,0 [C]	0,5	50	---
3M	Muros de fundación sobre el nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5,0	8,0	10,0	1,0 [C]	0,5	50	18
4M	Pavimentos, tableros de puentes, caminos y bordillos, senderos, patios, pisos de garaje, pisos expuestos y terrazas o estructuras frente al agua, sujetas a humedecimiento continuo	5,0	5,0	7,0	1,0 [C]	0,5	50	18
5M	Hormigón arquitectónico expuesto	3,0	3,0	5,0	1,0 [C]	0,5	50	18
Condición de intemperismo nulo								
1N	Losas sujetas a la abrasión del tráfico, tableros de puentes, pisos, senderos, pavimentos	5,0	---	---	1,0 [C]	0,5	50	---
2N	Todas las demás clases de hormigón	10,0	---	---	1,0 [C]	1,0	50	---

Fuente: INEN 863

Además, la norma INEN 863 detalla en sus disposiciones generales que este ensayo debido a su insuficiente precisión sus resultados no deben ser utilizados para rechazar agregados para la fabricación de hormigón. Debe ser complementado con otros ensayos relacionados directamente con sus características. Justamente lo que se está realizando en este trabajo de investigación, en el cual se busca determinar los mejores agregados para cumplir con los estándares de la normativa.

En esta investigación se omitió este ensayo debido a que en el país no se han registrado temperaturas bajo cero. Este ensayo sirve como un indicador para medir la calidad del árido por lo que es recomendable su uso en futuras investigaciones donde se profundice más el tema.

4.8 Material más fino que pasa el tamiz No.200

Los resultados de este ensayo permiten determinar una proporción relativa del contenido de polvo fino o material arcilloso presente en agregados considerado como perjudicial para la resistencia del hormigón.

De esta forma en base a la normativa INEN 872 en la cual se rige esta investigación para los agregados que son óptimos para la fabricación de hormigón, considera como sustancias perjudiciales para el árido fino al material más fino que 75 µm. Realizando el ensayo conocido como tamiz 200. Se especifican los siguientes porcentajes límites en la muestra de ensayo:

Ilustración 44: Límites para las sustancias perjudiciales para el agregado fino

Detalle	Porcentaje de la muestra total, en masa. Máximo
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	3,0
Material más fino que 75 µm: Hormigón sujeto a abrasión Todos los demás hormigones	 3,0 [A] 5,0 [A]
Carbón y lignito: Donde es importante la apariencia superficial del hormigón Todos los demás hormigones	 0,5 1,0
[A] En el caso de arena fabricada, si el material más fino que 75 µm consiste en polvo de trituración, esencialmente libre de arcilla o esquisto, se permite incrementar estos límites a 5% y 7%, respectivamente.	

Fuente: INEN 872

Se procedió a realizar el ensayo de tamiz 200 con los agregados finos bajo la normativa INEN 697. Utilizando el procedimiento A: lavado utilizando agua potable. Finalizado el ensayo se obtuvieron los siguientes resultados.

4.8.1 Tamiz 200- Agregado fino tipo 1 procedente de la mina San Francisco

Ensayo para proyecto de Disertación
TAMIZ 200

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 697	**Procedimiento:**	A
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	26/02/2021
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	M =	357,60	gr
MASA SECA DESPUES DEL LAVADO	R =	345,00	gr
PORCENTAJE MÁS FINO PASANTE TAMIZ 200 MEDIANTE LAVADO	% =	3,52	

Ensayo para proyecto de Disertación
TAMIZ 200

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 697	**Procedimiento:**	A
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	26/02/2021
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	M =	346,60	gr
MASA SECA DESPUES DEL LAVADO	R =	329,60	gr
PORCENTAJE MÁS FINO PASANTE TAMIZ 200 MEDIANTE LAVADO	% =	4,90	

Ensayo para proyecto de Disertación
TAMIZ 200

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	3	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 697	**Procedimiento:**	A
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	26/02/2021
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	M =	356,00	gr
MASA SECA DESPUES DEL LAVADO	R =	342,70	gr
PORCENTAJE MÁS FINO PASANTE TAMIZ 200 MEDIANTE LAVADO	% =	3,74	

4.8.2 Tamiz 200- Agregado fino tipo 1 (arena gruesa) procedente de la mina San Roque

Ensayo para proyecto de Disertación
TAMIZ 200

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 697	**Procedimiento:**	A
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	26/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	M =	339,90	gr
MASA SECA DESPUES DEL LAVADO	R =	316,60	gr
PORCENTAJE MÁS FINO PASANTE TAMIZ 200 MEDIANTE LAVADO	% =	6,85	

Ensayo para proyecto de Disertación
TAMIZ 200

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 697	**Procedimiento:**	A
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	26/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	M =	333,00	gr
MASA SECA DESPUES DEL LAVADO	R =	306,60	gr
PORCENTAJE MÁS FINO PASANTE TAMIZ 200 MEDIANTE LAVADO	% =	7,93	

Ensayo para proyecto de Disertación
TAMIZ 200

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	3	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Gruesa
NORMA ENSAYO:	INEN 697	**Procedimiento:**	A
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	26/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	M =	366,30	gr
MASA SECA DESPUES DEL LAVADO	R =	339,10	gr
PORCENTAJE MÁS FINO PASANTE TAMIZ 200 MEDIANTE LAVADO	% =	7,43	

4.8.3 Análisis de resultados del ensayo de tamiz 200 para el agregado tipo 1 (arena gruesa)

La normativa establece un porcentaje límite del 3% para hormigones que estén sometidos a abrasión. Al realizar un promedio la mina de San Francisco obtiene un valor de 4,1% más fino pasante del tamiz 200. A su vez la norma INEN 872 permite

ampliar este límite al 5% siempre que el material no contenga arcilla. Por ese motivo esta arena tipo 1 es aceptable para ser empleado en la fabricación de hormigón.

La arena originaria de la mina de San Roque presenta un porcentaje promedio de 7,4% de material arcilloso, siendo este un valor más alto del límite, lo que demuestra la presencia excesiva de partículas como polvo que pude formar revestimientos en los agregados, afectando a la adherencia que existe entre agua, cemento y agregados.

Adicionalmente, de acuerdo con la afirmación realizada por Martínez (2013): "Se confirma que los productos con contenidos de finos menores que el tamiz 200 libres de arcillas contribuye al incremento de las propiedades reológicas, mecánicas y de durabilidad." (p.2)

4.8.4 Tamiz 200- Agregado fino tipo 2 (arena fina) procedente de la mina San Francisco

Ensayo para proyecto de Disertación

TAMIZ 200

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 697	**Procedimiento:**	A
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	26/02/2021
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	M =	312,10	gr
MASA SECA DESPUES DEL LAVADO	R =	248,20	gr
PORCENTAJE MÁS FINO PASANTE TAMIZ 200 MEDIANTE LAVADO	% =	20,47	

Ensayo para proyecto de Disertación
TAMIZ 200

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 697	**Procedimiento:**	A
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	26/02/2021
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	M =	323,70	gr
MASA SECA DESPUES DEL LAVADO	R =	257,50	gr
PORCENTAJE MÁS FINO PASANTE TAMIZ 200 MEDIANTE LAVADO	% =	20,45	

Ensayo para proyecto de Disertación
TAMIZ 200

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NORMA ENSAYO:	3	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 697	**Procedimiento:**	A
CANTERA:	San Francisco	**FECHA DE EMISIÓN:**	26/02/2021
LOCALIZACION:	Pichincha	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	M =	307,30	gr
MASA SECA DESPUES DEL LAVADO	R =	246,10	gr
PORCENTAJE MÁS FINO PASANTE TAMIZ 200 MEDIANTE LAVADO	% =	19,92	

4.8.5 Tamiz 200- Agregado fino tipo 2 (arena fina) procedente de la mina San Roque

Ensayo para proyecto de Disertación
TAMIZ 200

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 697	**Procedimiento:**	A
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	26/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	M =	342,50	gr
MASA SECA DESPUES DEL LAVADO	R =	293,70	gr
PORCENTAJE MÁS FINO PASANTE TAMIZ 200 MEDIANTE LAVADO	% =	14,25	

Ensayo para proyecto de Disertación
TAMIZ 200

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 697	**Procedimiento:**	A
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	26/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	M =	376,30	gr
MASA SECA DESPUES DEL LAVADO	R =	316,50	gr
PORCENTAJE MÁS FINO PASANTE TAMIZ 200 MEDIANTE LAVADO	% =	15,89	

Ensayo para proyecto de Disertación
TAMIZ 200

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito		
NUMERO ENSAYO:	3	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:		**TIPO:**	Arena Fina
NORMA ENSAYO:	INEN 697	**Procedimiento:**	A
CANTERA:	San Roque	**FECHA DE EMISIÓN:**	26/02/2021
LOCALIZACION:	Imbabura	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**Tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL DE LA MUESTRA	M =	326,50	gr
MASA SECA DESPUES DEL LAVADO	R =	282,40	gr
PORCENTAJE MÁS FINO PASANTE TAMIZ 200 MEDIANTE LAVADO	% =	13,51	

4.8.6 Análisis de los resultados del tamiz 200 para agregados fino tipo2 (arena fina)

Finalizado el ensayo para el agregado de San Francisco se obtiene en promedio 20,3%, un valor alto para ser utilizado en hormigón. El material proveniente de San Roque tiene un valor promedio de 14,6%. Por esta razón estos materiales son utilizados en la mezcla en cantidades mínimas solo para dar un acabado a la cara del adoquín mas no para formar parte de su estructura.

4.9 Ensayo de densidad de cemento

Para el diseño del hormigón y tener una mayor exactitud en el cálculo de la dosificación para el cumplimiento de resistencia. Se realizó el ensayo que permita determinar la densidad del cemento tomando como fundamento la normativa INEN 156. La misma que emplea el método del frasco volumétrico de Le chatelier.

El ensayo consiste en establecer una relación entre la cantidad de cemento en masa por un volumen de líquido no reactivo (diferente del agua) y que esta masa se desplace dentro del frasco Le chatelier.

El cemento que se emplea en esta investigación es el cemento por desempeño, Holcim Premium de tipo HE (alta resistencia temprana). Cemento ideal para hormigones con mayores resistencias mecánicas empleado en prefabricados.

El ensayo consiste en introducir un líquido libre de agua o nafta. En este caso se utilizó diésel que debe estar a una temperatura de 23 ± 2 °C. Seguido se debe introducir el cemento tamizado por el número 20, una cantidad de 64g. Al introducir su totalidad se puede obtener una relación. Siempre controlando con un termómetro de estar a una temperatura ambiente.

Ilustración 45: Ensayo de densidad del cemento



Fuente: Autores 2021

Una vez finalizado el ensayo. Se debe tomar lectura del volumen dentro del recipiente de le chatelier. Con una división de la masa inicial de cemento sobre la medida que se tome en el recipiente se obtendrá su densidad. Este ensayo se realizó dos veces para verificar su validez y con una desviación estándar baja con su respectivo proceso de muestreo, el que consiste en tomar muestras representativas aproximadamente 7kg el mismo que fue almacenado en recipientes herméticos evitando el contacto con cualquier otra sustancia en especial con agua.

Ilustración 46: Medición densidad del cemento





Fuente: Autores (2021)

Obteniendo los siguientes resultados:

4.9.1 Resultado ensayo de densidad del cemento

Ensayo para proyecto de Disertación

Densidad del cemento

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**Laboratorio:**	INECYC
NUMERO ENSAYO:	1	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:	1	**TIPO:**	.....
NORMA ENSAYO:	INEN 156	**Procedimiento:**	.....
CEMENTO:	Holcim Premium	**FECHA DE EMISIÓN:**	23/04/2021
TIPO CEMENTO:	HE	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL CEMENTO	M =	64,04	gr
VOLUMEN DESPLAZADO	V=	21,60	cm3
DENSIDAD DEL CEMENTO	P =	2,96	gr/cm3

Ensayo para proyecto de Disertación

Densidad del cemento

PROYECTO:	Tesis de disertación	**SOLICITADO POR:**	PUCE
LOCALIZACION:	Quito	**Laboratorio:**	INECYC
NUMERO ENSAYO:	2	**TESISTAS:**	Buendía y Salgado
RECEPCION N°:	1	**TIPO:**	.....
NORMA ENSAYO:	INEN 156	**Procedimiento:**	.....
CEMENTO:	Holcim Premium	**FECHA DE EMISIÓN:**	23/04/2021
TIPO CEMENTO:	HE	**MASA DE LA MUESTRA:**	
MUESTRA:	**tomada por el estudiante**	**DESCRIPCION:**	.....
		LABORATORIO:	INECYC

MASA ORIGINAL CEMENTO	M =	64,03	gr
VOLUMEN DESPLAZADO	V=	21,80	cm3
DENSIDAD DEL CEMENTO	P =	2,94	gr/cm3

Resultado de ensayo: Una vez finalizado los dos ensayos se obtuvo un valor promedio de 2.95 gr/cm3, valor bajo corresponde a un cemento para hormigones de alta resistencia, pues este valor esta entre 2,9 g/cm3 a 3,15 g/cm3. Con una desviación estándar de 0,014. Se considera que el valor es el adecuado para continuar con el diseño del hormigón.

4.10 Ensayos complementarios

Inicialmente estos ensayos no se plantearon en la investigación, pero debido a su importancia para determinar el comportamiento de los agregados que serán parte de la mezcla del hormigón para adoquines, se realizaron los siguientes ensayos a los agregados y al cemento Holcim HE.

4.10.1 Partículas planas y alargadas Mina San Francisco

Este ensayo determina el porcentaje de caras planas y alargadas del agregado grueso para ser utilizado en la construcción carreteras, como es el caso del pavimento rígido. Se empleo el método de las 100 partículas gruesas, siendo separadas según lo detalla la norma ASTM D 4791-19.

Una vez tamizado el material, se deben tomar 100 partículas de agregado grueso y deben ser separadas conforme lo estipula la norma utilizando el instrumento conocido como “aparato calibrador”, utilizado para determinar porcentajes de partículas planas y alargadas.

Ilustración 47: Aparato calibrador



Fuente: Autores (2021)

Con la ayuda del calibrador se debe separar las partículas en tres grupos: planas, alargadas y ni planas ni alargadas. De esta forma se examina cada partícula de individualmente. La abertura más grande del calibrados debe ser igual al ancho de la partícula, esta es plana si pasa por la abertura más pequeña del calibrador; si el ancho de la partícula pasa por la abertura más pequeña esta es alargada. Y en caso de no pasar por la abertura esta no es ni plana ni alargada.

Ilustración 48:Ensayo de partículas planas y alargadas



Fuente: Autores 2021

El resultado del ensayo para agregados de San Francisco:

Tabla 13:Resultado partículas planas y alargadas- San Francisco

Partículas planas y alargadas- San Francisco			
Tamaño agregado	**%Planas**	**%Alargadas**	**% no planas, no alargadas**
3/8"	7%	7%	86%
4"	9%	12%	79%

Fuente: Autores (2021)

Resultado: Este ensayo no define completamente el comportamiento del agregado grueso, puesto que este analiza la forma de las partículas del agregado grueso; pero si se lo puede relacionar con su capacidad de resistencia al desgaste y rotura, ya que un alto porcentaje de partículas planas y alargadas podría afectar en la conformación del hormigón. En el ensayo se muestran porcentajes bajos de partículas que afectarán a la estructura de la mezcla; por lo tanto, este agregado no generará un alto porcentaje de vacíos en el hormigón.

4.10.2 Partículas planas y alargadas Mina San Roque

Ilustración 49: Ensayo de partículas planas y alargadas - San Roque



Fuente: Autores (2021)

Tabla 14:Resultado partículas planas y alargadas- San Francisco

Partículas planas y alargadas- San Roque			
Tamaño agregado	**%Planas**	**%Alargadas**	**% no planas, no alargadas**
3/8"	18%	7%	75%
4"	16%	13%	71%

Fuente: Autores (2021)

Resultado: El ensayo muestra una mínima cantidad de partículas planas y alargadas que pueden incidir en la conformación del hormigón, puesto que la forma y la textura del agregado grueso afectan la relación agua/cemento; además se afecta en mayot grado la resistencia debido a que disminuye la relación de adherencia entre agregados y pasta cementante. Se debe controlar la cantidad de agregados gruesos en la mezcla, puesto que cantidades excesivas producen segregación, este fenómeno se puede dar al realizar la mezcla, en el transporte y en el proceso de vibro compactación. (Silva, 2020) Según las especificaciones del MTOP el máximo porcentaje en peso de partículas alargadas y atachadas retenidas en el tamiz No. 4 (4,75mm) cuya relación entre dimensiones máximas y mínimas mayor que 5, no deberá ser mayor en un 10%; es así que de acuerdo a los datos obtenidos, los agregados son aptos para la mezcla. (MOP, 2002)

Se puede notar que la muestra tomada de la mina San Francisco para este ensayo presenta un porcentaje mayor de partículas que no son planas ni alargadas en comparación con la muestra tomada de la mina de San Roque; por lo tanto, al ser partículas con otro tipo de proporciones pueden dejar un porcentaje de vacíos más altos al momento de realizar la vibro compactación en el proceso de fabricación.

4.10.3 Ensayo de consistencia normal del cemento

Este ensayo establece un método para determinar la consistencia normal del cemento. El cual consiste en determinar la consistencia basándose en la resistencia que opone la pasta cementante a la penetración de la sonda utilizando un aparato normalizado, basándose en la norma ASTM C 187-64.

Tabla 15:Consistencia normal del cemento Holcim HE

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO	
TIPO DE CEMENTO:	**Cemento Holcim Tipo HE**
Fecha de ensayo	14/7/21
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	21
HUMEDAD AMBIENTE (%)	52
Cantidad de cemento (g)	650
Cantidad de agua (g)	174,47
CONSISTENCIA NORMAL CEMENTO (%)	**27%**

Fuente: Autores (2021)

Resultado: De acuerdo con el ensayo realizado, se obtiene una consistencia normal del cemento de 27%, valor necesario para complementar con otros ensayos, y que se utiliza para obtener el tiempo de fraguado, calor de hidratación y resistencia de un hormigón.

4.10.4 Ensayo de finura del cemento hidráulico mediante el equipo permeabilidad al aire “Blaine”

De acuerdo con lo expuesto en la norma INEN 196, el módulo de finura del cemento tiene su fundamento en que la velocidad de paso del aire a través de la capa del cemento utilizado en el ensayo, con una porosidad específica, es función del número de poros y tamaño de estos presentes en la capa de cemento, dependientes del tamaño de las partículas del cemento. Es una medida indirecta del módulo de finura por medio del principio de permeabilidad y superficie específica.

Tabla 16: Ensayo de finura del cemento hidráulico Holcim HE

EL CEMENTO HIDRÁULICO MEDIANTE EL EQUPO DE PERMEABILIDAD AL AIRE LIBRE		
TIPO DE CEMENTO	**Cemento Holcim Tipo HE**	
Fecha de ensayo	14/7/21	
Temperatura ambiental (°C)	21	
Humedad relativa (%)	51	
MUESTRA N°	**1**	**2**
Superficie específica de la muestra normalizada (m^2/kg) **Ss**	381,80	381,80
Tiempo de caída del manómetro para la muestra de ensayo (s) **T**	65,00	71,00
Tiempo de caída del manómetro para la muestra normalizada (s) **Ts**	87,33	87,33
Superficie específica de la muestra de ensayo (m^2/kg) S	**329,39**	**344,26**
Promedio (m^2/kg) S	**336,8**	

Fuente: Autores (2021)

Resultado: De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el ensayo de finura realizado al cemento Holcim HE, se obtuvo 336,8 m2/Kg, que representa el área de superficie total cubierta por kilogramo de cemento**,** la norma por desempeño no especifica valores de MF, puesto que en teoría si el cemento cumple con sus requerimientos por desempeño tendrá un valor aceptable de MF.

Este grado de finura influye directamente con la velocidad de fraguado y con el calor liberado, es por ello que en el mercado ecuatoriano existen cementos muy finos como el Holcim HE que generan altas resistencias durante los siete primeros días de fraguado, y cuyo resultado se ve plasmado en los ensayos de compresión ejecutados en los adoquines de hormigón.

4.10.5 Tiempo de fraguado de morteros

Este ensayo permite conocer al fabricante el tiempo de fraguado inicial y fraguado final de un tipo de cemento. Este periodo de tiempo inicia al producirse la reacción química exotérmica entre el cemento y el agua, en este lapso se produce un endurecimiento y la mezcla disminuye su plasticidad, estado conocido como de fraguado inicial. El fraguado final es el que se produce al realizarse el endurecimiento hasta alcanzar un valor muy apreciable. Este ensayo debe ser realizado empleando la normativa ASTM C 191. (Kosmatka & Panarese, 2007)

Utilizando el método del cono de vicat y un cronometro se realiza las penetraciones a la mezcla con una penetración menor a 25mm y con otra penetración mayor a los 25 mm. Estos tiempos deben ser tomados con un cronómetro y permitiendo determinar el tiempo de fraguado.

Tabla 17: Tiempo de fraguado del cemento Holcim HE

TIEMPO DE FRAGUADO DE MORTEROS			
TIPO DE CEMENTO	**Cemento Holcim Tipo HE**		
Fecha de Ensayo	15/7/21		
Temperatura ambiente (°C)	21		
Humedad Relativa (%)	52		
Muestra No.	**1**	**2**	**3**
Hora Inicio de Ensayo	09:00	09:00	09:00
Hora primera penetración menor 25 mm	11:15	11:15	11:15
Hora última penetración mayor 25 mm	11:00	11:00	11:00
Hora Final de Ensayo	12:15	12:15	12:15
E (min)	120	120	120
H (min)	135	135	135
C (mm)	25	25	26
D (mm)	21	20	20
Tiempo inicial de fraguado (min)	120	120	123
Ti promedio(min)	**121**		
Tiempo final de fraguado (min)	195	195	195
Tf promedio (min)	**195**		

Fuente: Autores (2021)

Resultado: El cemento Holcim HE el tiempo de fraguado inicial será a los 121 minutos (2 horas) y un fraguado final de195 minutos (3horas con15minutos). Según la norma ASTM C-150 el tiempo inicial de fraguado estará entre 45 a 60 minutos, en este caso no se cumple con este requerimiento, sin embargo, el fraguado final debe ser máximo de 10 horas en este ensayo se obtuvo un valor de 195 minutos (3h15).

El tiempo de fraguado inicial del cemento no debe ocurrir demasiado pronto, tampoco debe demorarse excesivamente puesto que son indicadores de que la pasta cementante está desarrollando su reacción de hidratación de manera normal. Además, es importante aclarar que los tiempos de fraguado de la pasta cementante no tienen ningún tipo de relación con el tiempo que le tomará fraguar a la mezcla de hormigón puesto que el ensayo se realiza en condiciones controladas de temperatura y fenómenos atmosféricos. (Kosmatka & Panarese, 2007)

4.10.6 Resistencia a la compresión de morteros

Este ensayo utiliza morteros con una parte de cemento y 2,75 partes de arena que conforman la mezcla. El cemento tendrá un contenido de agua siendo suficiente un flujo de 100 ± 5 gotas en la mesa hidrodinámica. Este ensayo se lo realiza como detalla la norma ASTM C 109. Los cubos tendrán una medida de cada lado de 50mm, compactados en 2 capas. Para posteriormente permaneces un día en el molde y después ser curadas en agua con cal hasta ser curadas al 1,3 y 7días.

Tabla 18: Ensayo de compresión de morteros de cemento Holcim HE

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS									
TIPO DE CEMENTO	**CEMENTO HOLCIM TIPO HE**								
TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	22								
HUMEDAD AMBIENTE (%)	51								
TEMPERATURA AGUA DE MEZCLA (°C)	25								
CANTIDAD DE CEMENTO (g)	740								
CANTIDAD DE AGUA (g)	318,3								
FLUJO	110								
Fecha de fabricación	13/7/21			13/7/21			13/7/21		
Fecha de ensayo	14/7/21			16/7/21			20/7/21		
Edad (días)	**1**			**3**			**7**		
Muestra No.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Largo (mm)	51,10	52,30	52,06	52,10	51,39	52,46	51,80	52,09	52,39
Ancho (mm)	52,06	51,84	51,20	51,30	51,18	51,86	51,66	51,43	51,60
Alto (mm)	50,37	50,25	51,01	51,76	50,01	50,15	50,09	51,36	50,07
Área (mm)	2622,3	2605,0	2611,7	2655,3	2559,5	2600,8	2587,6	2641,4	2583,6
Masa (g)	295,22	296,37	297,31	297,13	299,70	295,84	301,08	302,83	298,04
Volumen (cm^3)	134,0	136,2	136,0	138,3	131,5	136,4	134,0	137,6	135,4
Densidad (gr/cm^3)	2,20	2,18	2,19	2,15	2,28	2,17	2,25	2,20	2,20
Carga máxima (N)	45884	42188	43862	89086	93192	85532	101433	98349	96017
Resistencia a la compresión (MPa)	17,50	16,20	16,79	33,55	36,41	32,89	39,20	37,23	37,16
Resistencia a la compresión promedio (Mpa)	**16,8**			**34,3**			**37,9**		

Fuente: Autores (2021)

Resultado: Los resultados de la resistencia del mortero depende significativamente del contenido de cemento y su relación agua/ cemento (Kanemetsu, Noguchi, & Tomosawa, 2004). En este caso en un día alcanza una resistencia promedio de 16,8 MPa, en 3 días de 34,3 MPa y a los 7días de 37,9Mpa. Para el cemento por desempeño HE se debe alcanzar una resistencia mínima a la compresión de 24 Mpa a una edad de 3 días; requerimiento que se cumple de acuerdo con la norma ASTM C1157.

4.11 Diseño de hormigón

El proceso de diseño de la mezcla de hormigón debe tomar en cuenta la interrelación de los distintos factores que influyen en las características y propiedades de la mezcla. Con la finalidad de cumplir con la propiedades de trabajabilidad en un estado fresco, con una resistencia y durabilidad adecuada al encontrarse en un estado de endurecimiento; estas características empleadas en un diseño económico permiten considerar que la mezcla será exitosa.

La mezcla de hormigón consiste en dos procesos dependientes entre sí:

1. Seleccionar los ingredientes adecuados, que cumplían con las condiciones que impone la normativa (agregados, cemento y agua).
2. Determinar las cantidades relativas para generar hormigón. Este proporciona miento debe producir concreto económico, trabajable en estado fresco, resistente a compresión y de larga durabilidad.

La proporción dependerá de cada ingrediente que forma parte de la mezcla a su vez dependerá cual será la aplicación del hormigón. También se puede considerar criterios como la minimización de la contracción, asentamiento y ambientes químicos especiales. (Armas, 2016)

La información requerida para el diseño de mezclas de hormigón:

- Análisis granulométrico de agregado grueso y fino
- Peso unitario compactado de agregado grueso y fino
- Peso específico de agregado grueso y fino
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de agregado grueso y fino
- Textura y perfil de agregados grueso y fino
- Cemento (Tipo y marca)
- Peso específico del cemento a emplear

- Relación entre agua/cemento y la resistencia. Generando posibles combinaciones entre agregados y cemento.

En el presente trabajo de investigación se toma como referencia el método A.C.I. 211-1 para el diseño de la mezcla de hormigón plástico, al no existir una normativa que contemple el diseño de mezcla para hormigón seco. Tomando en cuenta las consideraciones necesarias para un hormigón utilizado en la fabricación de adoquines, el mismo que se lo define como: "un método de dosificación para el diseño de mezclas de hormigón; se basa en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido." (Romero, 2014, p. 35)

4.11.1 Diseño de la mezcla para la fabricación de hormigón

Una vez finalizado los ensayos de los agregados, el siguiente paso en la metodología es el diseño de la mezcla y la fabricación de los adoquines, aplicando el método ACI 211-1.

Se realizará el diseño de una dosificación con los agregados de cada mina, para una resistencia a la compresión de 400kg/cm2 - 39,23 Mpa con una relación agua cemento de 0,43.

4.11.1.1 Diseño de la dosificación con agregados de la mina San Francisco

El diseño necesitará de los siguientes datos:

- Relación agua/cemento =0,43
- F´c requerido= 40 Mpa.
- Densidad del cemento (∂c) = 2,95 g/cm3
- Módulo de finura de la chispa (MF $_{chispa}$) = 5,96
- Módulo de finura de la arena (MF $_{arena}$) =3,06
- Peso específico de la arena (SSS $_{arena}$) = 2,49 g/cm3
- Peso específico de la chispa (SSS $_{chispa}$) =2,51 g/cm3
- Peso unitario de la arena= 1,56 g/cm3
- Peso unitario compactado de la chispa = 1,62 g/cm3
- Porcentaje de absorción de la arena gruesa= 2,53%
- Porcentaje de absorción de la arena fina= 7,4%
- Porcentaje de absorción de la chispa = 2,54%
- Asentamiento para mezcla = 0 cm

Paso 1

Se debe determinar las características de trabajabilidad y consistencia de la mezcla de hormigón para el tipo de estructura. Si estará sometida a compactación y vibración. Pero en este caso los adoquines son sometidos a vibro compactación, de esta forma se determina el asentamiento.

Tabla 19: Trabajabilidad y asentamientos para estructuras

Compactación	Consistencia	Asentamiento (mm)	Fluidez (%)	Tipo de estructura
Vibro compactación	Muy rígida	0-10	10 – 30	Pavimentos para transito pesado, con fuerte vibración. Elementos prefabricados.
Alta vibración	Rígida	20-40	30 – 50	Pavimentos con maquina terminadora vibratoria. Cimentaciones de hormigón masivo, secciones poco reforzadas y vibradas, muros no reforzados.
Vibración normal	Plástica	50-90	50 – 70	Muros de contención reforzados, cimentaciones, pavimentos compactados normalmente, losas, vigas y columnas poco reforzadas
Baja vibración	Fluida	100-150	70 – 100	Secciones muy reforzadas (vigas, losas, columnas), muros reforzados, hormigón a colocar en condiciones difíciles.
Sin vibración	Liquida	>150	>100	Hormigón transportado por bombeo, hormigón autonivelante, no se recomienda vibrarlo.

Fuente: Orlando G. (2006)

Revisando la tabla en donde los adoquines son vibro compactados. Se obtiene:

Asentamiento de 0 mm y una consistencia muy rígida.

Paso 2

Una vez que se tenga definido el asentamiento y el tamaño máximo del agregado grueso se puede utilizar la siguiente tabla para determinar la cantidad de agua en el diseño de la mezcla y el porcentaje de aire incluido.

Tabla 20:Agua de diseño

Consitencia			Contenido relativo de agua (%)	Agua en kg/m³, para los tamaños máximos de áridos indicados				
Descripción	Asiento (cm)	Vebe (s)		10	12,5	20	25	40
Hormigón sin aire incluido								
Extremada-mente seca	-	32-18	78	180	170	160	150	140
Muy seca	-	18-10	83	185	185	170	160	150
Seca	0-3	10-5	88	200	195	180	170	155
Seco-plastica	3-8	5-3	92	205	200	185	180	160
Plástica	8-13	3-0	100	225	215	200	195	175
Blanda	13-18	-	106	240	230	210	205	185
Cantidad de aire incluido en un hormigón sin aireante (%)				3	2,5	2	1,5	1
Hormigón con aire incluido								
Extremada-mente seca	-	32-18	78	155	150	140	135	125
Muy seca	-	18-10	83	170	160	150	140	135
Seca	0-3	10-5	88	175	170	160	150	140
Seco-plastica	3-8	5-3	92	180	175	165	160	145
Plástica	8-13	3-0	100	200	190	180	175	160
Blanda	13-18	-	106	215	205	190	185	170
Contenido total de aire (%)				8	7	6	5	4,5

Fuente: ACI 211.1

En el presente diseño el tamaño nominal del agregado grueso es de 3/8 de pulgada que en milímetros es igual a 9,525 mm. Debido que la tabla tiene valores desde 10 mm. Se redondea el tamaño a 10 mm. Utilizando la tabla para un hormigón sin aire incluido se obtiene:

- El agua de diseño (W) será = 185 kg/m3. Sin embargo, debido a que el hormigón a fabricar es seco, se tiene un valor demasiado alto por lo cual se recomienda utilizar el valor de 100.49 kg/m3 obtenido mediante interpolación de valores propuestos en base a la investigación y experiencia en la elaboración de adoquines detallada en “Uso del cemento Portland tipo IE en la fabricación de adoquines” (Reaple & Ortega, 1993)
- Porcentaje de aire incluido= 3%

Paso 3

La relación agua/cemento (W/C) tiene un papel fundamental en la fabricación del hormigón para adoquines pues de esto dependerá su consistencia, fluidez y trabajabilidad del hormigón.

La normativa ACI presenta la siguiente tabla para resistencias a los 28 días.

Tabla 21:Relación W/C para resistencias alcanzadas a los 28 días

RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR RESISTENCIA		
Resistencia a compresión a los 28 días (MPa)	Relación agua/cemento diseño en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
15	0,80	0,71
20	0,70	0,61
25	0,62	0,53
30	0,55	0,46
35	0,48	0,4
40	0,43	--
45	0,38	--

Fuente ACI 211.1

En este caso como las resistencias a alcanzar a los 28 días sería:

- A/C= 0,43

Paso 4

Los datos obtenidos en pasos anteriores son para calcular la cantidad de cemento para un metro cúbico de hormigón.

- El agua de diseño (W) será = 100,49 kg/m3
- Relaciones agua cemento: 0,43

Para 40 Mpa

$$\frac{W}{C} = 0{,}43$$

$$\frac{100.49\ Kg/m3}{C} = 0{,}43$$

$$\frac{100.49\ Kg/m3}{0{,}43} = C$$

$$C = 233{,}69\ Kg/m3$$

Paso 5

El cálculo del agregado grueso por un metro cúbico de hormigón en función del módulo de finura del agregado fino depende de la siguiente tabla ACI.

Tabla 22:Peso agregado grueso por un metro cúbico de hormigón

PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO				
Tamaño máximo nominal	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de Volumen del concreto para diversos módulos de finura			
	2,4	2,6	2,8	3
3/8"	0,5	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,6
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,7
2"	0,75	0,76	0,74	0,72
3"	0,81	0,79	0,77	0,75
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: ACI 211.1

En este caso el módulo de finura de la arena (MF_{arena}) =3,1

El valor que se adoptará será el de 0,44 para la obtención de la cantidad de chispa en la dosificación.

Paso 6

Una vez definido el factor del agregado grueso con el proceso de extrapolación se aplica la siguiente expresión:

$$R = f * \text{DCR}$$

Donde:

R= Peso de la chispa

f= factor del agregado grueso= 0,44

DCR= Densidad compacta de la chispa = 1,62 g/cm3

$$R = 0{,}44 * 1{,}62 \text{ g/cm3}$$

$$R=0{,}7128*1000$$

$$R = 712{,}80\ kg/m3$$

Paso 7

Para el cálculo de la cantidad de agregado fino presente en un metro cúbico de hormigón, se lo relaciona con el tamaño nominal del agregado grueso y del porcentaje de aire. En este diseño el agregado grueso tiene un tamaño nominal de 3/8".

Tabla 23:Contenido de aire

CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	
Tamaño máximo nominal	**Aire atrapado**
3/8"	3
1/2"	2,5
3/4"	2
1"	1,5
1 1/2"	1
2"	0,5
3"	0,3
6"	0,2

Fuente: ACI 211.1

Utilizando la siguiente tabla para el tamaño máximo nominal empleado se tendrá un 3% de aire atrapado. Con los datos ya obtenidos de peso específico de la chispa, arena y cemento, aplicando una suma se tendrá la cantidad de arena para un metro cúbico de mezcla.

- Peso específico de la arena (SSS $_{arena)}$ = 2,49 g/cm3
- Peso específico de la chispa (SSS $_{chispa}$) =2, 51 g/cm3
- Densidad del cemento = 2,95 g/cm3

Para determinar el volumen de material que será empleado en un metro cúbico de hormigón se aplica la siguiente expresión:

$$Volumen\ = \frac{Peso\ del\ material\ (Kg)}{Peso\ específco\ del\ material\ (\frac{kg}{m3})}$$

Se obtiene para esta resistencia:

Con una resistencia mayor de 400 kg/cm2

Tabla 24: Volumen de materiales para 1 m3 de hormigón de 400 kg/cm2- San Francisco

f´c= 400 Kg/cm2				
Material	**P. Específico (g/cm3)**	**P. Específico (kg/m3)**	**Peso (Kg)**	**Volumen (m3)**
Cemento	2,95	2950	233,69	0,08
Agua	1	1000	100,49	0,1
Chispa	2,507	2507	712,80	0,28
Aire				0,03
				0,49

Fuente: Autores (2021)

Este valor se resta de un metro cúbico y se obtendrá la cantidad de arena.

$$Volumen\ de\ arena = 1\ m3 - 0{,}49\ m3$$

$$Volumen\ de\ arena = 0{,}51\ m3$$

Una vez finalizado los ensayos de los agregados se comprueba que la arena fina o arena tipo 2 no contribuye a mejorar la estructura del adoquín sino solo para generar un mejor terminado en la cara de este. Debido a que la participación de la arena fina es mínima, se tomará solo el 10% de la arena total.

Realizando el producto entre el volumen de la arena y su peso específico se obtiene la cantidad de arena en un metro cúbico de hormigón.

$$Arena\ fina = Volumen\ arena\ fina * Densidad\ real\ arena\ fina$$

$$Arena\ fina = 0{,}051\ m3 * 2064 kg/m3$$

$$Arena\ fina\ = 105{,}26\ kg$$

$$Arena\ gruesa = Volumen\ arena\ gruesa * Densidad\ real\ arena\ gruesa$$

$$Arena\ gruesa = 0{,}449\ m3 * 2500 kg/m3$$

$$Arena\ gruesa\ = 1122{,}5\ kg$$

Arena total= $Arena\ gruesa + \ Arena\ fina$

Arena Total= 1227,76 kg

Obteniendo las siguientes tabla resumen:

Tabla 25: Tabla resumen m3 para hormigón de 400 kg/cm2- San Francisco

f´c= 400 kg/cm2		
MATERIAL	**PESO (KG)**	**Volumen (m3)**
Cemento	233,69	0,08
Agua	100,49	0,1
Arena Gruesa	1122,5	0,45
Arena Fina	105,26	0,051
Chispa	712,80	0,28
Total	**2274,48**	**1,0**

Fuente: Autores (2021)

Paso 8

Una vez calculadas las cantidades para 1 metro cúbico de hormigón se puede detallar el peso de cada material en la mezcla para 8 adoquines, debido a que la maquina vibro-compactadora fabrica 8 adoquines por tablero.

El área teórica se calcula en base a la normativa INEN 1486:

$$AS = \frac{200\ xWs}{W}$$

Donde:

AS: área teórica del adoquín en cm2

Ws: Peso en gramos de la cartulina con la forma del adoquín muestra

W: Peso en gramos de un rectángulo de cartulina de 20 x 10 cm

$$AS = \frac{200\ x\ 7{,}42\ gr}{3{,}07\ gr}$$

$$AS = 483{,}39\ cm2$$

Su espesor será de 8 cm

$$V.Adoquín = 483{,}38\ cm2\ x\ 8\ cm$$

$$V.Adoqín = 3867{,}12\ cm3$$

Sin embargo, para efectos de cálculo se utiliza el valor del volumen del molde donde se fabrica el adoquín:

El volumen del hormigón en un adoquín es de 0,003868 m3.

Para elaborar 8 adoquines tendrán un volumen de:

$$Volumen\ Total = 0{,}003868m3\ x\ 8 \text{ unidades}$$

$$Volumen\ Total = 0{,}03\ m3$$

La cantidad de hormigón a fabricar en Kg se obtiene:

$$Cantidad\ hormigón\ = Volumen\ Total\ x\ Peso\ total\ m3\ hormigón$$

$$Cantidad\ hormigón\ = 0{,}03\ m3\ x\ 2274{,}48\ kg/m3$$

$$Cantidad\ hormigón\ = 68{,}23\ kg$$

Paso 8.1:

Es necesario ajustar la cantidad para 1 m3 de hormigón a el volumen de 1 adoquín 0,003868 m3.

Aplicando las siguientes ecuaciones:

$$Cemento\ = \frac{Peso\ del\ hormigón\ a\ fabricar\ x\ peso\ del\ cemento\ por\ m3}{Peso\ total\ del\ hormigón}$$

$$Cemento\ = \frac{68{,}23\ \ kgx\ 233{,}69\ kg/m3}{2274{,}48\frac{kg}{m3}}$$

$$Cemento\ = 7{,}01kg$$

$$Agua\ = \frac{Peso\ del\ hormigón\ a\ fabricar\ x\ peso\ de\ agua\ por\ m3}{Peso\ total\ del\ hormigón}$$

$$Agua = \frac{68{,}23\ kgx\ 100{,}49\ kg/m3}{2274{,}48\frac{kg}{m3}}$$

$$Agua\ = 3{,}01\ kg$$

$$Chispa\ = \frac{Peso\ del\ hormigón\ a\ fabricar\ x\ peso\ del\ ripio\ por\ m3}{Peso\ total\ del\ hormigón}$$

$$Chispa = \frac{68{,}23\ kgx\ 712{,}8\ kg/m3}{2274{,}48\frac{kg}{m3}}$$

$$Chispa\ = 21{,}38\ kg$$

$$Arena\ Gruesa = \frac{Peso\ del\ hormigón\ a\ fabricar\ x\ peso\ arena\ gruesa\ por\ m3}{Peso\ total\ del\ hormigón}$$

$$Arena\ Gruesa = \frac{68{,}23\ kgx\ 1122{,}5\ kg/m3}{2274{,}48\frac{kg}{m3}}$$

$$Arena\ Gruesa = 33{,}67\ \ kg$$

$$Arena\ fina = \frac{Peso\ del\ hormigón\ a\ fabricar\ x\ peso\ arena\ fina\ por\ m3}{Peso\ total\ del\ hormigón}$$

$$Arena\ fina = \frac{68{,}23kgx\ 105{,}26\ kg/m3}{2274{,}48\frac{kg}{m3}}$$

$$Arena\ fina = 3{,}15\ \ kg$$

Se obtiene el siguiente resumen:

Tabla 26: Resumen dosificación para 8 adoquines de f´c= 400 kg/cm2 con material de la mina San Francisco

Material	**Peso (Kg)**
CEMENTO	7,01
AGUA	3,01
CHISPA	21,38
ARENA Gruesa	33,67
Arena Fina	3,15

Fuente: Autores (2021)

Paso 8.2

Es necesario realizar la corrección de la cantidad de agua de amasado. En este paso se debe conocer el porcentaje de absorción y porcentaje de humedad de cada uno de los agregados.

Datos obtenidos:

Porcentaje de absorción de la chispa= 2,54%

Porcentaje de absorción de la arena gruesa=2,5%

Porcentaje de absorción de la arena fina= 7,4%

Contenido de humedad de la chispa=1,35%

Contenido de humedad de la arena gruesa= 2%

Contenido de humedad de la arena fina= 2,5 %

Corrección del contenido de humedad para la chispa:

$$Chispa = Masa\ chispa\ x\ \frac{100 + \%\ Contenido\ humedad}{100 + \%\ absorción}$$

$$Chispa = 21{,}38\ x\ \frac{100 + 1{,}35}{100 + 2{,}54}$$

$$Chispa = 21{,}13\ kg$$

$$Agua\ de\ amasado = Cantidad\ incial - Cantidad\ corregida$$

$$Agua\ de\ amasado = 21{,}38 - 21{,}13$$

$$Agua\ de\ amasado = 0{,}25\ kg$$

Corrección del contenido de humedad para la arena gruesa:

$$Arena\ Gruesa = Masa\ arena\ gruesa\ x\ \frac{100 + \%\ Contenido\ humedad}{100 + \%\ absorción}$$

$$Arena\ gruesa = 33{,}67\ x\ \frac{100 + 2}{100 + 2{,}5}$$

$$Arena\ gruesa = 33{,}50\ kg$$

$$Agua\ de\ amasado = Cantidad\ incial - Cantidad\ corregida$$

$$Agua\ de\ amasado = 33{,}67 - 33{,}50$$

$$Agua\ de\ amasado = 0{,}17\ kg$$

Corrección del contenido de humedad para la arena fina:

$$Arena\ fina = Masa\ arena\ fina\ x\ \frac{100 + \%\ Contenido\ humedad}{100 + \%\ absorción}$$

$$Arena\ gruesa = 3{,}15\ x\ \frac{100 + 2{,}5}{100 + 7{,}4}$$

$$Arena\ gruesa = 3{,}00\ kg$$

$$Agua\ de\ amasado = Cantidad\ incial - Cantidad\ corregida$$

$$Agua\ de\ amasado = 3{,}15 - 3{,}00$$

$$Agua\ de\ amasado = 0{,}15kg$$

Agua de amasado TOTAL = Agua netal+Agua amasado para la chispa+agua amasado para la arena gruesa+agua amasado para la arena fina

$$Agua\ de\ amasado\ Total = 3{,}01 + 0{,}25 + 0{,}17 + 0{,}15$$

$$Agua\ de\ amasado\ Total = 3{,}67\ kg$$

Tabla de resumen

Tabla 27: Resumen final de cantidades para 8 adoquines - Mina San Francisco

f´c=400 kg/cm2	
Material	**Peso (Kg)**
CEMENTO	7,01
AGUA	3,67
RIPIO	21,38
ARENA Gruesa	33,67
Arena Fina	3,15
Total	68,88

Fuente: Autores (2021)

Para transformar las cantidades obtenidas a volumen se procede a dividir el peso en kilogramos para el peso unitario suelto correspondiente.

Tabla 28: Peso unitario suelto de agregados mina San Francisco

PESO UNITARIO SUELTO	
cemento kg/m3	1250
agua kg/m3	997
ripio kg/m3	1515
arena kg/m3	1565
arena Fina kg/m3	1750

Fuente: Autores (2021)

Tabla 29:Cantidades al volumen de agregados mina San Francisco

f´c=400 kg/cm2	
Material	**m3**
CEMENTO	0,0056
AGUA	0,0036
RIPIO	0,014
ARENA GRUESA	0,021
ARENA Fina	0,001

Fuente: Autores (2021)

Considerando que las dimensiones de la parihuela a utilizarse son :0,33mx0,33 mx0,33m.

Para obtener el volumen de los materiales en parihuelas se realiza la transformación de m3 a parihuelas. Obteniendo el siguiente resumen para 8 adoquines:

Tabla 30: Numero de parihuelas de agregados para la fabricación de 8 adoquines- San Francisco

f´c=400 kg/cm2	
Material	**PARIHUELAS**
CEMENTO	0,15
AGUA	0,1
RIPIO	0,39
ARENA GRUESA	0,58
Arena FINA	0,002

Fuente: Autores (2021)

Debido a que por parada se fabrican 64 adoquines de 400 kg/cm2 las cantidades a utilizarse serán las siguientes:

Tabla 31:Numero de parihuelas de agregados para la fabricación de 64 adoquines- San Francisco

f´c=400 kg/cm2	
Material	**PARIHUELAS**
CEMENTO	1,2
AGUA	0,8
RIPIO	3,12
ARENA GRUESA	4,64
Arena FINA	0,016

Fuente: Autores (2021)

4.11.1.2 Diseño de la dosificación con agregados de la mina San Roque

El diseño necesitará de los siguientes datos:

- Relación agua/cemento= 0,43
- f´c requerido= 40 Mpa.
- Densidad del cemento (∂c) = 2,95 g/cm3
- Módulo de finura de la chispa (MF $_{chispa}$) = 5,96
- Módulo de finura de la arena (MF $_{arena}$) =3,69
- Peso específico de la arena (SSS $_{arena}$) = 2,38 g/cm3
- Peso específico de la chispa (SSS $_{chispa}$) =2, 22 g/cm3
- Peso unitario de la arena= 1,48 g/cm3
- Peso unitario compactada de la chispa = 1,40 g/cm3
- Porcentaje de absorción de la arena gruesa= 4,4%
- Porcentaje de absorción de la arena fina= 4,7%
- Porcentaje de absorción de la chispa = 1,9%
- Asentamiento para mezcla = 0 cm

Paso 1

Determinación de asentamientos y consistencia de la mezcla.

De acuerdo con la tabla 20 del apartado anterior, para un hormigón vibro-compactado el asentamiento debe ser de 0 mm con consistencia rígida.

Paso 2

Haciendo referencia a la tabla 21 y considerando el tamaño nominal del agregado grueso que para efectos de la investigación es de 3/8" se obtiene los siguientes valores para el agua de diseño y porcentaje de aire incluido:

- El agua de diseño (W) será = 185 kg/m3. Sin embargo, debido a que el hormigón a fabricar es seco, se tiene un valor demasiado alto por lo cual se recomienda utiliza el valor de 100.49 kg/m3 basado en la investigación y experiencia en la elaboración de adoquines detallada en "Uso del cemento Portland tipo IE en la fabricación de adoquines" (Reaple & Ortega, 1993)
- Porcentaje de aire incluido= 3%

Paso 3

Como se planteó anteriormente la resistencia que se busca alcanzar a los 28 días será de 40 MPa, y en base a la tabla 22 la relación agua cemento para este caso será el mismo que para la dosificación del apartado 4.34.1.1.

Relación agua/cemento en base a la resistencia deseada:

- A/C= 0,43

Paso 4

Los datos obtenidos en pasos anteriores son para calcular la cantidad de cemento para un metro cúbico de hormigón.

- El agua de diseño (W) será = 100,49 kg/m3
- Relaciones agua cemento: 40 Mpa= 0,43

Para 40 Mpa

$$\frac{W}{C} = 0{,}43$$

$$\frac{100{,}49\ Kg/m3}{C} = 0{,}43$$

$$\frac{100{,}49\ Kg/m3}{0{,}43} = C$$

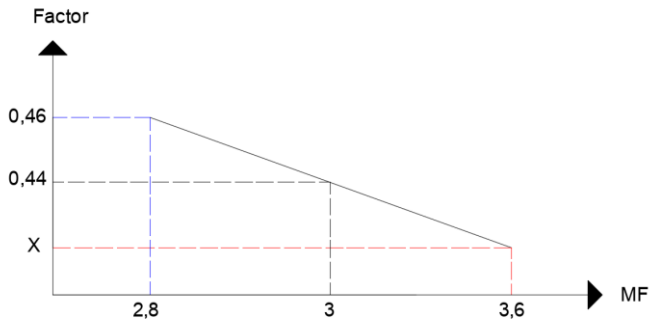
$$C = 233{,}69\ Kg/m3$$

Paso 5

Tomando en cuenta el módulo de finura del agregado fino se procede al cálculo del factor del agregado grueso como lo indica la tabla 23.

Para este caso el MF= 3,69 y al no contar con este valor en la tabla, es necesario realizar una extrapolación, obteniéndose el siguiente resultado.

Ilustración 50: Extrapolación valor peso del agregado grueso



Fuente: Autores (2021)

$$\frac{3 - 2{,}8}{0{,}44 - 0{,}46} = \frac{3{,}69 - 3}{X - 0{,}44}$$

$$X = 0{,}37$$

En este diseño el factor para el agregado grueso es de 0,37

Paso 6

Una vez definido el factor del agregado grueso con el proceso de extrapolación se aplica la siguiente expresión:

$$R = f^* \text{ DCR}$$

Donde:

R= Peso de la chispa

f= factor del agregado grueso= 0,37

DCR= Densidad compacta de la chispa = 1,40 g/cm3

$$R = 0{,}37^* \text{ 1,40 g/cm3}$$

$$\text{R=0,518*1000}$$

$$R = 518\ kg/m3$$

Paso 7

De acuerdo con la tabla 24 considerando el tamaño nominal de 3/8 para el agregado grueso, el porcentaje de aire para utilizarse en el diseño es del 3%.

Con los datos ya obtenidos de peso específico de la chispa, arena y cemento, se obtendrá la cantidad de arena para un metro cúbico de mezcla.

- Peso específico de la arena (SSS $_{\text{arena)}}$ = 2,40 g/cm3
- Peso específico de la chispa (SSS $_{\text{chispa}}$) =2,22 g/cm3
- Densidad del cemento = 2,95 g/cm3

Para determinar el volumen de material que será empleado en un metro cúbico de hormigón se aplica la siguiente expresión:

$$Volumen\ = \frac{Peso\ del\ material\ (Kg)}{Peso\ específco\ del\ material\ (\frac{kg}{m3})}$$

Se obtiene para esta resistencia:

Tabla 32: Volumen de materiales para 1 m3 de hormigón de 400 kg/cm2- San Roque

f´c= 400 Kg/cm2				
Material	**P. Específico (g/cm3)**	**P. Específico (kg/m3)**	**Peso (Kg)**	**Volumen (m3)**
Cemento	2,95	2950	233,69	0,08
Agua	1	1000	100,49	0,1
Ripio	2,22	2220	518	0,23
Aire				0,03
				0,44

Fuente: Autores (2021)

Este valor se resta de un metro cúbico y se obtendrá la cantidad de arena.

$$Volumen\ de\ arena = 1\ m3 - 0{,}44\ m3$$

$$Volumen\ de\ arena = 0{,}56 m3$$

De acuerdo con lo analizado anteriormente el porcentaje de arena fina aplicada en este diseño será solo el 10% del total de la cantidad de arena en la mezcla.

Realizando el producto entre el volumen de la arena y su peso específico se obtiene la cantidad de arena en un metro cúbico de hormigón.

$$Arena\ fina = Volumen\ arena\ fina * Densidad\ real\ arena\ fina$$

$$Arena\ fina = 0{,}056\ m3 * 2400 kg/m3$$

$$Arena\ fina\ = 134{,}4\ kg$$

$$Arena\ gruesa = Volumen\ arena\ gruesa * Densidad\ real\ arena\ gruesa$$

$$Arena\ gruesa = 0{,}50\ m3 * 2500 kg/m3$$

$$Arena\ gruesa = 1260 kg$$

Arena total= $Arena\ gruesa +\ Arena\ fina$

Arena Total= 1394,4 kg

Obteniendo las siguientes tabla resumen:

Tabla 33: Tabla resumen m3 para hormigón de 400 kg/cm2-San Roque

f´c= 400 kg/cm2		
MATERIAL	**PESO (KG)**	**Volumen (m3)**
Cemento	233,69	0,08
Agua	100,49	0,1
Arena Gruesa	1260	0,5
Arena Fina	134,4	0,056
Ripio	518	0,233
Total	**2246,58**	**1,0**

Fuente: Autores (2021)

Paso 8

El cálculo de volumen de material para 8 adoquines manteniendo la misma área es el siguiente:

$$AS = \frac{200\ x\ 7{,}42\ gr}{3{,}07\ gr}$$

$$AS = 483{,}39\ cm2$$

Espesor de 8 cm:

$$V.Adoquín = 483{,}38\ cm2\ x\ 8\ cm$$

$$AS = 3867{,}12\ cm3$$

Sin embargo, para efectos de cálculo se utiliza el valor del volumen del molde donde se fabrica el adoquín:

El volumen del hormigón en un adoquín es de 0,003868 m3.

Para elaborar 8 adoquines tendrán un volumen de:

$$Volumen\ Total = 0{,}003868m3\ x\ 8 \text{ unidades}$$

$$Volumen\ Total = 0{,}03\ m3$$

La cantidad de hormigón a fabricar en Kg se obtiene:

$$Cantidad\ hormigón\ = Volumen\ Total\ x\ Peso\ total\ m3\ hormigón$$

$$Cantidad\ hormigón\ = 0{,}03\ m3\ x\ 2246{,}58\ kg/m3$$

$$Cantidad\ hormigón\ = 67{,}4kg$$

Paso 8.1:

Es necesario ajustar la cantidad para 1 m3 de hormigón al volumen de 1 adoquín 0,003868 m3.

Aplicando las siguientes ecuaciones:

$$Cemento\ = \frac{Peso\ del\ hormigón\ a\ fabricar\ x\ peso\ del\ cemento\ por\ m3}{Peso\ total\ del\ hormigón}$$

$$Cemento\ = \frac{67{,}40\ kgx\ 233{,}69\ kg/m3}{2246{,}58\frac{kg}{m3}}$$

$$Cemento\ = 7{,}01kg$$

$$Agua\ = \frac{Peso\ del\ hormigón\ a\ fabricar\ x\ peso\ del\ agua\ por\ m3}{Peso\ total\ del\ hormigón}$$

$$Agua = \frac{67{,}40\ kgx\ 100{,}49\ kg/m3}{2246{,}58\frac{kg}{m3}}$$

$$Agua\ = 3{,}01\ kg$$

$$Chispa\ = \frac{Peso\ del\ hormigón\ a\ fabricar\ x\ peso\ del\ ripio\ por\ m3}{Peso\ total\ del\ hormigón}$$

$$Chispa = \frac{67{,}40\ kgx\ 518\ kg/m3}{2246{,}58\frac{kg}{m3}}$$

$$Chispa\ = 15{,}54\ kg$$

$$Arena\ Gruesa = \frac{Peso\ del\ hormigón\ a\ fabricar\ x\ peso\ arena\ gruesa\ por\ m3}{Peso\ total\ del\ hormigón}$$

$$Arena\ Gruesa = \frac{67{,}4\ kgx\ 1260\ kg/m3}{2246{,}58\frac{kg}{m3}}$$

$$Arena\ Gruesa = 37{,}80\ \ kg$$

$$Arena\ fina = \frac{Peso\ del\ hormigón\ a\ fabricar\ x\ peso\ arena\ fina\ por\ m3}{Peso\ total\ del\ hormigón}$$

$$Arena\ fina = \frac{67{,}4\ kg x\ 134{,}4\ kg/m3}{2246{,}58 \frac{kg}{m3}}$$

$$Arena\ fina = 4{,}03\ \ kg$$

Se obtiene el siguiente resumen:

Tabla 34: Resumen dosificación para 8 adoquines de f´c= 400 kg/cm2 con material de la mina San Roque

Material	**Peso (Kg)**
CEMENTO	7,01
AGUA	3,01
CHISPA	15,54
ARENA Gruesa	37,80
Arena Fina	4,03

Fuente: Autores (2021)

Paso 8.2

La corrección por el porcentaje de absorción y porcentaje de humedad para cada uno de los agregados es el siguiente:

Datos obtenidos:

Porcentaje de absorción de la chispa= 1,9 %

Porcentaje de absorción de la arena gruesa=4,4%

Porcentaje de absorción de la arena fina= 4,7%

Contenido de humedad de la chispa=1,52%

Contenido de humedad de la arena gruesa= 3,9 %

Contenido de humedad de la arena fina= 5,4 %

Corrección del contenido de humedad para la chispa:

$$Chispa = Masa\ chispa\ x\ \frac{100 + \%\ Contenido\ humedad}{100 + \%\ absorción}$$

$$Chispa = 15{,}54x\ \frac{100 + 1{,}52}{100 + 1{,}9}$$

$$Chispa = 15{,}48\ kg$$

$$Agua\ de\ amasado = Cantidad\ incial - Cantidad\ corregida$$

$$Agua\ de\ amasado = 15{,}54 - 15{,}48$$

$$Agua\ de\ amasado = 0{,}06\ kg$$

Corrección del contenido de humedad para la arena gruesa:

$$Arena\ Gruesa = Masa\ arena\ gruesa\ x\ \frac{100 + \%\ Contenido\ humedad}{100 + \%\ absorción}$$

$$Arena\ gruesa = 37{,}80\ x\ \frac{100 + 3{,}9}{100 + 4{,}4}$$

$$Arena\ gruesa = 37{,}61\ kg$$

$$Agua\ de\ amasado = Cantidad\ incial - Cantidad\ corregida$$

$$Agua\ de\ amasado = 37{,}80 - 37{,}61$$

$$Agua\ de\ amasado = 0{,}18\ kg$$

Corrección del contenido de humedad para la arena fina :

$$Arena\ fina = Masa\ arena\ fina\ x\ \frac{100 + \%\ Contenido\ humedad}{100 + \%\ absorción}$$

$$Arena\ gruesa = 4{,}03\ x\ \frac{100 + 5{,}4}{100 + 4{,}7}$$

$$Arena\ gruesa = 4{,}05kg$$

$$Agua\ de\ amasado = Cantidad\ incial - Cantidad\ corregida$$

$$Agua\ de\ amasado = 4{,}03 - 4{,}05$$

$$Agua\ de\ amasado = -0{,}02kg$$

Agua de amasado TOTAL = Cantidad incial+Agua amasado para la chispa+agua amasado para la arena gruesa+agua amasado para la arena fina

$$Agua\ de\ amasado\ Total = 3{,}01 + 0{,}06 + 0{,}18 - 0{,}02$$

$$Agua\ de\ amasado\ Total = 3{,}23\ kg$$

Tabla de resumen

Tabla 35: Resumen final de cantidades para 8 adoquines - Mina San Roque

f´c=400 kg/cm2	
Material	**Peso (Kg)**
CEMENTO	7,01
AGUA	3,23
CHISPA	15,54
ARENA Gruesa	37,80
Arena Fina	4,03
Total	67,61

Fuente: Autores (2021)

Transformación al volumen:

Tabla 36: Peso unitario suelto de agregados mina San Roque

PESO UNITARIO SUELTO	
cemento kg/m3	1250
agua kg/m3	997
chispa kg/m3	1200
arena kg/m3	1700
arena Fina kg/m3	1760

Fuente: Autores (2021)

Tabla 37:Cantidades al volumen de agregados mina San Roque

f´c=400 kg/cm2	
Material	**m3**
CEMENTO	0,0056
AGUA	0,0032
CHISPA	0,012
ARENA GRUESA	0,022
ARENA Fina	0,002

Fuente: Autores (2021)

Para una parihuela de 0,33x0,33 mx0,33m o 0,036m3.

La transformación de m3 a parihuelas:

Tabla 38: Numero de parihuelas de agregados para la fabricación de 8 adoquines- San Roque

f´c=400 kg/cm2	
Material	**PARIHUELAS**
CEMENTO	0,16
AGUA	0,09
CHISPA	0,33
ARENA GRUESA	0,61
Arena FINA	0,05

Fuente: Autores (2021)

Para una parada de 64 adoquines de 400 kg/cm2 las cantidades a utilizarse son:

Tabla 39:Numero de parihuelas de agregados para la fabricación de 64 adoquines- San Roque

f´c=400 kg/cm2	
Material	**PARIHUELAS**
CEMENTO	1,3
AGUA	0,72
CHISPA	2,6
ARENA GRUESA	4,88
Arena FINA	0,4

Fuente: Autores (2021)

4.12 Comprobación de la consistencia de la mezcla con agregados provenientes de la mina San Francisco

Una vez elaborada la mezcla de acuerdo con la dosificación al peso planteada en la tabla 27, y aplicando el ensayo del cono de Abrams se pudo medir el asentamiento y consistencia del hormigón; sin embargo, es recomendable la utilización del consistómetro vebe para medir este parámetro en hormigones secos de una forma más exacta.

El consistómetro Vebe se utiliza para determinar la consistencia del hormigón fresco haciendo vibrar la muestra de hormigón después de retirar el cono de asentamiento. El conjunto se monta sobre una pequeña mesa vibratoria que trabaja con una amplitud y frecuencia fija. El tiempo que se tarda en completar la vibración requerida da una indicación de la consistencia del hormigón.

Ilustración 51: Consistómetro Vebe



Fuente: https://www.testmak.com/uploads/Vebe-Consistometer.jpg

Debido que en esta investigación se está evaluando el comportamiento del hormigón en el ámbito producción se utilizará como base para la medición del asentamiento del hormigón el ensayo de cono Abrams, sin embargo, en laboratorio es necesario medir el asentamiento de hormigón seco con el consistómetro vebe.

Ilustración 52: Ensayo Cono de Abrams- San Francisco



Fuente: Autores (2021)

Ilustración 53:Resultado ensayo del cono de Abrams- San Francisco



Fuente: Autores (2021)

Resultado: El asentamiento obtenido fue de cero para un hormigón seco cumpliendo con el requisito que exige la normativa ACI 211.1.

4.13 Comprobación de la consistencia de la mezcla con agregados provenientes de la mina de San Roque

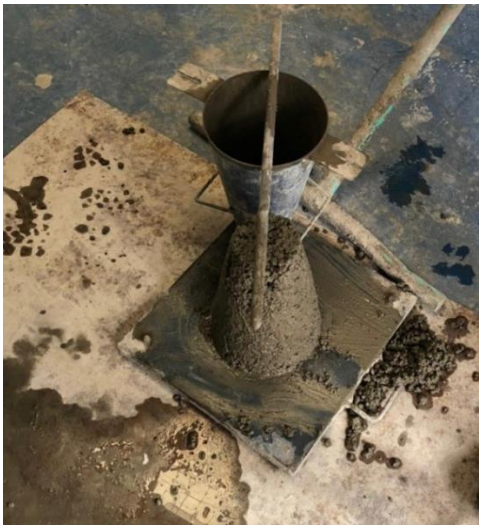
El proceso de comprobación es el mismo, realizar el ensayo del cono de Abrams con la finalidad de medir el asentamiento que tiene esta mezcla utilizando los agregados provenientes de San Roque.

Ilustración 54: Ensayo cono de Abrams- San Roque



Fuente: Autores (2021)

Ilustración 55: Resultado ensayo del cono de Abrams- San Roque



Fuente: Autores (2021)

Resultado: El asentamiento para este tipo de mezcla fue de cero, valor dentro del rango de 0-10mm siendo está catalogada como una mezcla seca según la normativa y apta para la fabricación de adoquines.

Sin embargo, en la fabricación del hormigón seco, el valor obtenido en el ensayo del cono de Abrams no es de gran importancia como es en el caso de un hormigón plástico; puesto que su comportamiento es como una pasta seca que necesita una cantidad baja de agua y su asentamiento no debe ser mayor a los 3 cm. En caso de que la mezcla presente vacíos se los reducirá por medio del correcto vibrado producido por la máquina prensadora de adoquines. (Pilicita & Segovia, 2014)

4.14 Fabricación de los adoquines del trabajo de titulación

En esta investigación la elaboración de los adoquines con los agregados provenientes de la mina de San Francisco y la mina de San Roque fueron elaborados en la fábrica "MSM- Planta procesadora de prefabricados de hormigón". Ubicada en la ciudad de Cayambe en la Av. Luis Cordero. Junto a la empresa pública municipal de movilidad de Cayambe. La fecha de elaboración de los adoquines fue el 26 de mayo del 2021.

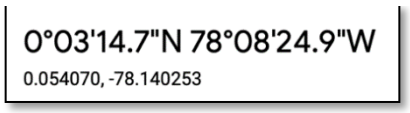
Ilustración 56: Ubicación de la fábrica MSM



Fuente: Google Maps (2021)

Su ubicación georreferenciada es:

Ilustración 57: Coordenadas de la fábrica MSM



Fuente: Google Maps (2021)

4.15 Procesos de fabricación del adoquín

4.15.1 Homogenización del material

Al estar trabajando con un tipo de pavimento que se conforma de un 80% de agregados es importante realizar una homogenización previa a la fabricación de probetas. De esta forma el hormigón tendrá una menor cantidad de espacios vacíos, reduciendo el uso

de cemento cumpliendo con la alta resistencia requerida para un correcto funcionamiento.

Al trabajar con agregados homogenizados se busca lograr un hormigón optimo al menor costo. Utilizando de una mejor manera los agregados que conforman las minas del estudio con la finalidad de tener resultados positivos.

Las siguientes imágenes muestran un mecanismo real utilizado en la homogenización de los materiales en una planta de fabricación de adoquines.

Ilustración 58: Homogenización de materiales



Fuente: Autores (2021)

4.15.2 Volumen de agregados

Previo a la fabricación de la mezcla se requiere realizar una corrección de la humedad de los agregados que se encuentran a la intemperie, mediante la toma de una muestra representativa que permitirá conocer la humedad real de la misma y que permitirá tener valores más exactos del agua a ser utilizada en la mezcla.

Una vez que todos los agregados hayan sido homogenizados correctamente se procede a tomar las cantidades necesarias para fabricar los 87 adoquines de cada mina. Estos serán dosificados al volumen en base a una parihuela de 33 cm x33cm x33cm.

Los agregados van a ser colocados en una parihuela llena y enrazada para tener una mayor exactitud en las cantidades que conformarán el hormigón, basándose en la dosificación diseñada anteriormente la cual se derivó de la dosificación al peso.

Ilustración 59: Parihuela con agregados



Fuente: Autores (2021)

Ilustración 60: Llenado de parihuelas



Fuente: Autores (2021)

Al completar las parihuelas necesarias para realizar una parada de 60 adoquines estos son colocados en una retroexcavadora para ser transportados a la mezcladora.

Ilustración 61: Transporte de materiales a la mescladora



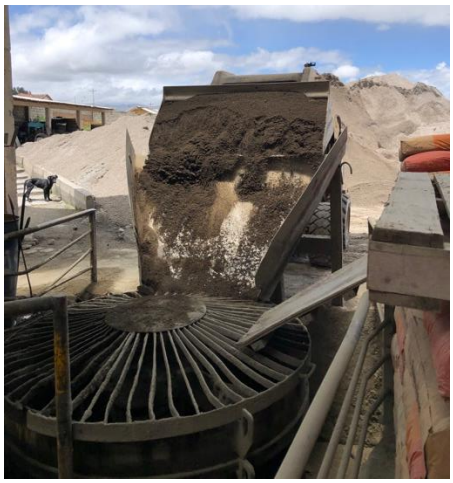


Fuente: Autores (2021)

4.15.3 Mezclado

Los materiales que conforman el hormigón para la fabricación de adoquín serán mezclados en la fábrica “MSM”. Para lo cual se cuenta con una máquina mezcladora, en la cual se introducen los materiales pétreos por medio del bocadito juntamente con el cemento “Holcim HE” para su homogeneización por un periodo de 2 a 3 minutos.

Ilustración 62:Ingreso de agregados a la mescladora



Fuente: Autores (2021)

Una vez homogenizados los agregados se incorpora el agua de amasado, para producir el hormigón para la fabricación de adoquines utilizando las cantidades presentes en las dosificaciones.

Ilustración 63: Incorporación de agua en la mezcla



Fuente: Autores (2021)

Una vez finalizado el tiempo de mezclado, el hormigón es conducido a la tolva de la máquina vibro-compactadora a través de una banda transportadora y se verifica su consistencia en base a la experiencia del operador de la mezcladora; sin embargo, se recomienda contar con un consitómetro vebe en planta, lo que por un lado permitiría contar con datos más exactos pero que a su vez afectaría al proceso de producción debido al incremento de los tiempos en cada actividad.

Ilustración 64:Transporte de la mezcla a la máquina vibro-compactadora y verificación de consistencia



Fuente: Autores (2021)

4.15.4 Vibro-compactación

La mezcla obtenida ingresa de forma automática en la máquina vibro-compactadora. Esta le dará la forma característica hexagonal utilizando un molde con dimensiones especificadas. Una vez que el molde está lleno se vibro-compacta aproximadamente 10 segundos en cada tanda de 8 adoquines que la máquina va despachando hacia el área de secado.

Ilustración 65:Maquina vibro-compactadora



Fuente: Autores (2021)

Ilustración 66:Fabricación de adoquines



Fuente: Autores (2021)

Ilustración 67:Despacho de adoquines



Fuente: Autores (2021)

4.15.5 Curado de adoquines

Al finalizar el número de paradas necesarias para obtener los adoquines por mina son transportados a una zona de curado, donde se les dará su respectivo tratamiento de riego tres veces al día y serán cubiertas por plásticos impermeables evitando la pérdida del agua de amasado y quede retenido dentro del adoquín.

El curado se lo realizó por 7 días consecutivos de la siguiente manera: los 3 primeros días se mantuvieron saturados por aspersión de agua en forma de lluvia y los 4 días restantes se los mantuvo cubiertos con plástico de color negro logrando con ello una humedad interior permanente, para posteriormente ser transportados al laboratorio de resistencia de materiales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Ilustración 68:Probetas para realizar ensayos en laboratorio



Fuente: Autores (2021)

CAPITULO V

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES UTILIZANDO LOS AGREGADOS DE LAS MINAS SAN FRANCISCO Y SAN ROQUE

En la presente investigación los ensayos de los adoquines se regirán a los parámetros de calidad detallados en la normativa NTE INEN 3040, en la cual se establecen número de especímenes a ensayar, proceso para realizar cálculos, límites y parámetros a cumplirse.

Los ensayos realizados son los siguientes:

1. Determinación del índice de absorción del agua
2. Resistencia a la tracción indirecta
3. Resistencia al desgaste por abrasión mediante el ensayo de la rueda ancha
4. Resistencia al deslizamiento/resbalamiento sin pulir (USRV)
5. Resistencia a la compresión simple (INEN 1485-derogada)

Los especímenes utilizados para los ensayos están acorde a la tabla 3 “Plan de muestreo y criterios de conformidad para ensayos de tipo inicial y adicionales” de la norma INEN 3040.

Es importante detallar que en la presente investigación los resultados se basaran en el número de ensayos que asigna la norma para el cumplimiento por parte de un fabricante.

Tabla 40: Plan de muestreo y criterios de conformidad para ensayos de adoquines

Propiedad	Requisitos	Método de ensayo	Número de adoquines	Criterio de conformidad
Aspectos visuales	5.2.4	Anexo H	20[a]	Ningún adoquín debe mostrar fisuras, descamaciones [b-a]
Espesor de la doble capa	5.2.1	Anexo C.6[b]	8	Igual o mayor a 4 mm. Ningún adoquín debe presentar delaminación.
Forma y dimensiones	5.2.2	Anexo C[b]	8[a]	Todo adoquín debe satisfacer los requisitos declarados
Resistencia y carga de tracción indirecta	5.2.3.3	Anexo E	8	La resistencia característica a la tracción indirecta debe ser igual o mayor a 3,6 MPa. Ningún adoquín debe tener una resistencia a la tracción indirecta menor que 2,9 MPa, ni una carga de tracción indirecta inferior a 250 N/mm.
Resistencia a la abrasión	5.2.3.4	Anexo F	3	Todo adoquín debe satisfacer una longitud de cuerda máxima de 23 mm o un desgaste máximo de 20 000 mm^3/ 5 000 mm^2, según el caso.
Resistencia a deslizamiento/resbalamiento (solo donde se ensaye).	5.2.3.5	Anexo G	5	Debe declararse el valor medio de los 5 adoquines.
Resistencia climática	5.2.3.2	Anexo D	3	Todo adoquín debe tener un índice de absorción igual o inferior a 6 %

[a] Estos adoquines pueden ser empleados para otros ensayos.
[b] El anexo C.6 solo es aplicable a adoquines de doble capa.

Fuente: INEN 3040

5.1 Ensayo de determinación del índice de absorción

5.1.1 Ensayo de determinación del índice de absorción- San Francisco

Edad de los adoquines: 7 días

Tabla 41:Ensayo de Absorción a los 7 días- San Francisco

Muestra N°	1	2	3
Identificación	Por numeración		
Masa natural (gr)	8720	8460	8670
MUESTRAS SUMERGIDAS EN AGUA			
FECHA DE INICIO	2021-06-08		
FECHA DE FINALIZACIÓN	2021-06-11		
TIEMPO DE INMERSIÓN (días)	3		
MASA M_1 (g)	8660	8240	8640
MUESTRAS SECADAS AL HORNO			
FECHA DE INICIO	2021-06-11		
FECHA DE FINALIZACIÓN	2021-06-14		
TIEMPO DE SECADO (días)	3		
MASA M_2 (g)	8080	7670	8060
Índice de Absorción W_a (%)	**7%**	**7%**	**7%**

Fuente: Autores (2021)

Porcentaje de absorción promedio: 7%

Eda adoquines: 14 días

Tabla 42: Ensayo de absorción a los 14 días-San Francisco

Muestra N°	1	2	3
Identificación	Por numeración		
Masa natural (gr)	8830	8470	8690
MUESTRAS SUMERGIDAS EN AGUA			
FECHA DE INICIO	2021-06-16		
FECHA DE FINALIZACIÓN	2021-06-19		
TIEMPO DE INMERSIÓN (días)	3		
MASA M_1 (g)	8930	8600	8800
MUESTRAS SECADAS AL HORNO			
FECHA DE INICIO	2021-06-19		
FECHA DE FINALIZACIÓN	2021-06-22		
TIEMPO DE SECADO (días)	3		
MASA M_2 (g)	8410	8150	8230
Índice de Absorción W_a (%)	**6%**	**6%**	**7%**

Fuente: Autores (2021)

Porcentaje de absorción promedio: 6%

Edad adoquines: 28 días

Tabla 43: Ensayo de absorción a los 28 días-San Francisco

Muestra N°	1	2	3
Identificación	Por numeración		
Masa natural (gr)	8720	8750	8690
MUESTRAS SUMERGIDAS EN AGUA			
FECHA DE INICIO	2021-06-30		
FECHA DE FINALIZACIÓN	2021-07-03		
TIEMPO DE INMERSIÓN (días)	3		
MASA M_1 (g)	8860	8815	8800
MUESTRAS SECADAS AL HORNO			
FECHA DE INICIO	2021-06-19		
FECHA DE FINALIZACIÓN	2021-06-22		
TIEMPO DE SECADO (días)	3		
MASA M_2 (g)	8390	8290	8200
Índice de Absorción W_a (%)	**6%**	**6%**	**7%**

Fuente: Autores (2021)

Porcentaje de absorción promedio: 6%

5.1.2 Ensayo de determinación del índice de absorción- San Roque

Edad de los adoquines: 7 días

Tabla 44:Ensayo de absorción a los 7 días- San Roque

Muestra N°	**1**	**2**	**3**
Identificación	Por numeración		
Masa natural (gr)	7990	8010	8100
MUESTRAS SUMERGIDAS EN AGUA			
FECHA DE INICIO	2021-06-08		
FECHA DE FINALIZACIÓN	2021-06-11		
TIEMPO DE INMERSIÓN (días)	3		
MASA M_1 (g)	8220	8240	8280
MUESTRAS SECADAS AL HORNO			
FECHA DE INICIO	2021-06-11		
FECHA DE FINALIZACIÓN	2021-06-14		
TIEMPO DE SECADO (días)	3		
MASA M_2 (g)	7420	7350	7630
Índice de Absorción W_a (%)	**11%**	**12%**	**9%**

Fuente: Autores (2021)

Porcentaje de absorción promedio: 10%

Edad de los adoquines:14 días

Tabla 45: Ensayo de Absorción a los 14 días- San Roque

Muestra N°	**1**	**2**	**3**
Identificación	Por numeración		
Masa natural (gr)	7810	7980	8020
MUESTRAS SUMERGIDAS EN AGUA			
FECHA DE INICIO	2021-06-16		
FECHA DE FINALIZACIÓN	2021-06-19		
TIEMPO DE INMERSIÓN (días)	3		
MASA M_1 (g)	7920	8150	8230
MUESTRAS SECADAS AL HORNO			
FECHA DE INICIO	2021-06-19		
FECHA DE FINALIZACIÓN	2021-06-22		
TIEMPO DE SECADO (días)	3		
MASA M_2 (g)	7260	7541	7510
Índice de Absorción W_a (%)	**9%**	**8%**	**10%**

Fuente: Autores (2021)

Porcentaje de absorción promedio: 9%

Edad de los adoquines: 28días

Tabla 46: Ensayo Absorción a los 28 días- San Roque

Muestra N°	1	2	3
Identificación	Por numeración		
Masa natural (gr)	7490	7850	7670
MUESTRAS SUMERGIDAS EN AGUA			
FECHA DE INICIO	2021-06-30		
FECHA DE FINALIZACIÓN	2021-07-03		
TIEMPO DE INMERSIÓN (días)	3		
MASA M_1 (g)	7650	7791	7780
MUESTRAS SECADAS AL HORNO			
FECHA DE INICIO	2021-06-19		
FECHA DE FINALIZACIÓN	2021-06-22		
TIEMPO DE SECADO (días)	3		
MASA M_2 (g)	7010	7067	7133
Índice de Absorción W_a (%)	**9%**	**10%**	**9%**

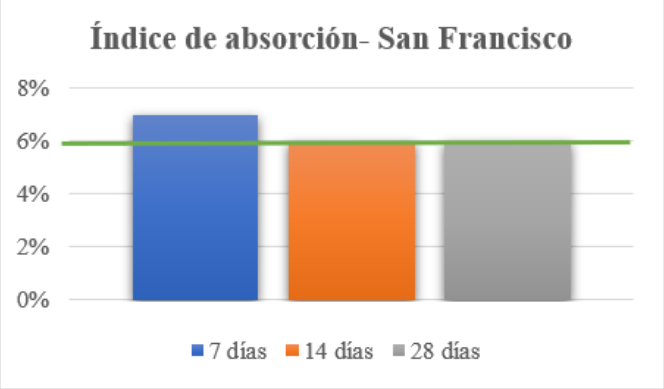
Fuente: Autores (2021)

Porcentaje de absorción promedio: 9%

5.1.3 Análisis de resultados del ensayo de absorción en adoquines de hormigón

Una vez finalizados los ensayos de absorción en adoquines elaborados con los materiales procedentes de la mina de San Francisco, los cuales permanecieron sumergidos por un periodo de 3 días, cumplen con los requerimientos de la normativa a una edad de 14 y 28 días.

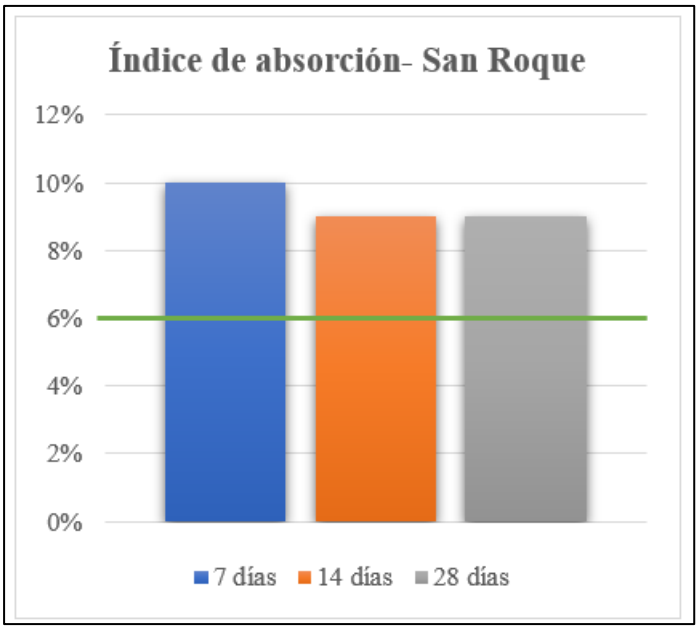
Gráfica 1:Índice de absorción- San Francisco



Fuente: Autores (2021)

La norma INEN 3040 establece valores menores o iguales al 6% como índice de absorción. Para lo cual los adoquines con materiales provenientes de San Francisco a los 7 días presentan un valor promedio de 7%, a los 14 días de 6% y a los 28 días del 6%. Por lo cual es notorio que la porosidad del adoquín va reduciendo conforme este va envejeciendo y ganando resistencia con su respectivo curado. Para finalmente a los 28 días cumplir con los requerimientos.

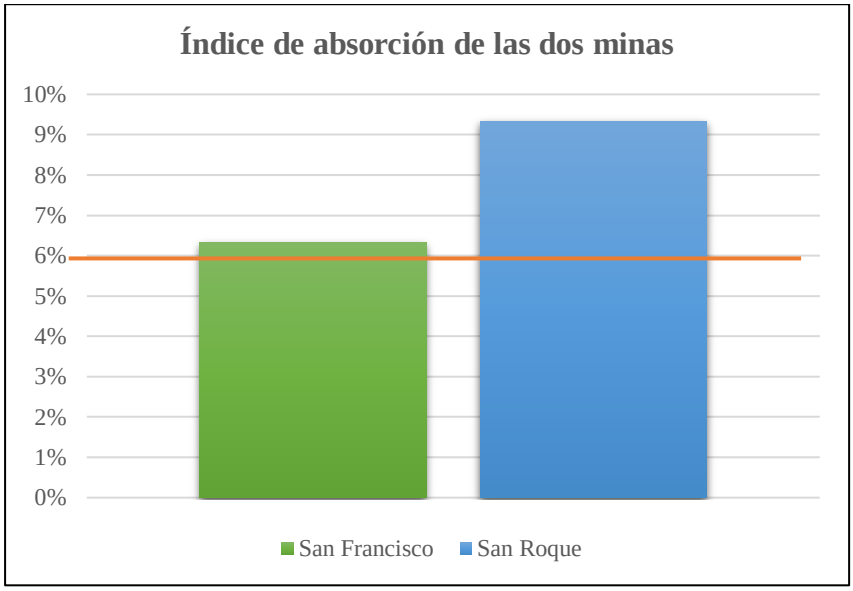
Gráfica 2:Índice de absorción- San Roque



Fuente: Autores (2021)

En el caso de los adoquines con agregados provenientes de San Roque se tuvo un comportamiento distinto. Pues su índice de absorción promedio a los 7 días fue del 10%, a los 14 días del 9% y a los 28 días del 9%. Para lo cual notamos una mejora en la reducción de porosidad, pero no llega a cumplir con los límites que requiere la normativa.

Gráfica 3:Índice de absorción de las dos minas



Fuente: Autores (2021)

Con los datos obtenidos , se puede decir que los agregados considerados en esta investigación procedentes de la mina San Francisco con los cuales se elaboraron adoquines utilizando la dosificación detalla en el capítulo IV presentan un mejor desempeño con respecto al límite del 6% establecido en la norma como indicador de control. El índice de absorción expresado en porcentaje permite estimar la resistencia climática por absorción total de agua.

Existe una correlación directa entre la absorción y la resistencia a la compresión en el adoquín, varias investigaciones han demostrado que al aumentar la absorción afecta a la disminución de la resistencia a la compresión debido a la relación de vacíos que existe entre las partículas en un estado seco, el cual al estar saturado llena los espacios vacíos. Por tal motivo al tener índices de absorciones altas se consideran materiales porosos y por ende con una menor resistencia a la compresión. (Morales, 2012)

5.2 Ensayo de resistencia a la tracción indirecta

5.2.1 Ensayo de resistencia a la tracción indirecta – San Francisco

Edad adoquines: 7 días

Tabla 47:Ensayo de tracción indirecta a los 7 días- San Francisco

IDENTIFICACIÓN DEL ADOQUÍN								
Muestra N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Identificación	Por numeración							
Fecha de Fabricación	2021-06-02							
Fecha de Rotura	2021-06-09							
Edad	7							
DIMENSIONES Y CARGA DE ROTURA								
Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8
Longitud 1	243,19	243,25	243,92	244,26	241,68	243,76	243,27	244,78
Longitud 2	241,25	243,34	244,85	244,51	241,43	244,25	244,08	245,13
Espesor 1	83,2	82,3	81,9	79,6	82,6	82,1	83,2	81,6
Espesor 2	82,9	82,0	81,9	79,5	81,8	81,6	83,4	81,9
Espesor 3	83,0	82,5	82,2	80,9	82,3	80,9	81,5	81,8
Carga Rotura (N)	31315,92	44761,33	36435,30	40979,23	55037,88	41431,62	33821,26	42322,14
INFORMACIÓN DEL ENSAYO								
Longitud de tracción indirecta (mm)	242	243	244	244	242	244	244	245
Espesor de tracción indirecta (mm)	83	82	82	80	82	82	83	82
Superficie de tracción indirecta (mm2)	20116	20018	20040	19549	19860	19890	20148	20028
Carga de rotura (N)	31315,92	44761,33	36435,3	40979,23	55037,88	41431,62	33821,26	42322,14
Factor de corrección por espesor	1,02	1,02	1,01	1,00	1,02	1,01	1,02	1,01
Resistencia a la Tracción Indirecta (Mpa)	1,0	1,5	1,2	1,3	1,8	1,3	1,1	1,4
Carga por unidad de longitud (N/mm)	130	180	150	170	230	170	140	170

Fuente: Autores (2021)

Tabla 48: Resumen del ensayo de tracción indirecta a los 7 días- San Francisco

RESUMEN DE RESULTADOS		
Resistencia a la Tracción Indirecta mínima	1,0	Mpa
Carga por unidad de longitud mínima	130	N/mm
Resistencia a la Tracción Indirecta promedio (fm)	**1,3**	**Mpa**
Desviación Estándar (S)	0,2	Mpa
Resistencia Característica (fk)	**0,9**	**Mpa**

Fuente: Autores (2021)

Edad de adoquines: 14 días

Tabla 49: Ensayo de tracción indirecta a los 14 días- San Francisco

IDENTIFICACIÓN DEL ADOQUÍN								
Muestra N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Identificación	Por numeración							
Fecha de Fabricación	2021-06-02							
Fecha de Rotura	2021-06-16							
Edad	14 días							
DIMENSIONES Y CARGA DE ROTURA								
Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8
Longitud 1	242,2	241,8	243,1	242,5	243,5	242,74	243,14	242,46
Longitud 2	242,1	241,3	242,3	242,4	243,51	243,83	243,97	242,31
Espesor 1	84,0	80,1	82,2	82,1	79,3	81,3	82,2	80,0
Espesor 2	83,9	79,6	82,3	81,9	79,3	82,0	83,2	80,4
Espesor 3	83,9	80,4	81,7	82,5	80,0	82,3	82,9	80,1
Carga Rotura (N)	75324,55	56751,65	83680,34	86971,71	86657,80	90384,66	75887,49	70700,01
INFORMACIÓN DEL ENSAYO								
Longitud de tracción indirecta (mm)	242	242	243	242	244	243	244	242
Espesor de tracción indirecta (mm)	84	80	82	82	80	82	83	80
Superficie de tracción indirecta (mm2)	20325	19332	19918	19917	19360	19918	20159	19427
Carga de rotura (N)	75324,55	56751,65	83680,34	86971,71	86657,8	90384,66	75887,49	70700,01
Factor de corrección por espesor	1,03	1,00	1,01	1,01	1,00	1,01	1,02	1,00
Resistencia a la Tracción Indirecta (Mpa)	2,4	1,9	2,7	2,8	2,9	2,9	2,4	2,3
Carga por unidad de longitud (N/mm)	310	230	340	360	360	370	310	290

Fuente: Autores (2021)

Tabla 50:Resumen del ensayo de tracción indirecta a los 14 días- San Francisco

RESUMEN DE RESULTADOS		
Resistencia a la Tracción Indirecta mínima	1,9	Mpa
Carga por unidad de longitud mínima	230	N/mm
Resistencia a la Tracción Indirecta promedio (fm)	**2,5**	**Mpa**
Desviación Estándar (S)	0,4	Mpa
Resistencia Característica (fk)	**2,0**	**Mpa**

Fuente: Autores (2021)

Edad de adoquines: 28 días

Tabla 51: Ensayo de tracción indirecta a los 28 días- San Francisco

IDENTIFICACIÓN DEL ADOQUÍN								
Muestra N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Identificación	Por numeración							
Fecha de Fabricación	2021-06-02							
Fecha de Rotura	2021-06-30							
Edad	28 días							
DIMENSIONES Y CARGA DE ROTURA								
Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8
Longitud 1	244,91	241,7	242,48	246,6	244,48	244,6	242,64	244,75
Longitud 2	245,36	242,82	245,5	244,8	246,48	244,97	245,66	245,5
Espesor 1	81,9	85,0	82,9	80,7	79,9	80,8	82,7	80,1
Espesor 2	82,7	85,6	83,6	80,7	80,9	80,8	82,2	80,7
Espesor 3	81,7	84,6	83,1	80,0	81,4	81,6	81,7	81,0
Carga Rotura (N)	101786,37	89867,88	108310,44	90335,49	73656,21	99953,93	86811,03	101020,99
INFORMACIÓN DEL ENSAYO								
Longitud de tracción indirecta (mm)	245	242	244	246	245	245	244	245
Espesor de tracción indirecta (mm)	82	85	83	80	81	81	82	81
Superficie de tracción indirecta (mm2)	20121	20599	20308	19774	19813	19837	20066	19749
Carga de rotura (N)	101786,37	89867,88	108310,44	90335,49	73656,21	99953,93	86811,03	101020,99
Factor de corrección por espesor	1,01	1,03	1,02	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01
Resistencia a la Tracción Indirecta (Mpa)	3,3	2,9	3,5	2,9	2,4	3,2	2,8	3,3
Carga por unidad de longitud (N/mm)	420	370	440	370	300	410	360	410

Fuente: Autores (2021)

Tabla 52: Resumen del ensayo de tracción indirecta a los 28 días- San Francisco

RESUMEN DE RESULTADOS		
Resistencia a la Tracción Indirecta mínima	2,4	Mpa
Carga por unidad de longitud mínima	300	N/mm
Resistencia a la Tracción Indirecta promedio (fm)	**3,0**	**Mpa**
Desviación Estándar (S)	0,4	Mpa
Resistencia Característica (fk)	**2,5**	**Mpa**

Fuente: Autores (2021)

5.2.2 Ensayo de resistencia a la tracción indirecta – San Roque

Edad de adoquines: 7 días

Tabla 53: Ensayo de tracción indirecta a los 7 días- San Roque

IDENTIFICACIÓN DEL ADOQUÍN								
Muestra N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Identificación	Por numeración							
Fecha de Fabricación	2021-06-02							
Fecha de Rotura	2021-06-09							
Edad	7							
DIMENSIONES Y CARGA DE ROTURA								
Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8
Longitud 1	242,23	243,25	242,6	242,9	241,68	242,9	242,2	241,9
Longitud 2	242,18	243,34	242,94	241,93	241,43	243,3	243,1	242,3
Espesor 1	83,0	82,3	85,3	84,8	83,9	243,2	85,1	242,1
Espesor 2	83,0	82,0	85,0	84,8	83,9	84,9	85,0	83,4
Espesor 3	82,9	82,5	84,9	84,1	83,6	84,2	81,5	84,3
Carga Rotura (N)	28679	28877	27898	31190	29767	28924	29870	30998
INFORMACIÓN DEL ENSAYO								
Longitud de tracción indirecta (mm)	242	243	243	242	242	243	243	242
Espesor de tracción indirecta (mm)	83	82	85	85	84	137	84	137
Superficie de tracción indirecta (mm2)	20093	20018	20650	20499	20246	33410	20350	33071
Carga de rotura (N)	28678,87	28876,8	27897,98	31189,67	29767,44	28923,74	29870,21	30997,9
Factor de corrección por espesor	1,02	1,02	1,03	1,03	1,02	1,25	1,02	1,25
Resistencia a la Tracción Indirecta (Mpa)	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	0,7	1,0	0,7
Carga por unidad de longitud (N/mm)	120	120	110	130	120	120	120	130

Fuente: Autores (2021)

Tabla 54: Resumen del ensayo de tracción indirecta a los 7 días- San Roque

RESUMEN DE RESULTADOS		
Resistencia a la Tracción Indirecta mínima	0,7	Mpa
Carga por unidad de longitud mínima	110	N/mm
Resistencia a la Tracción Indirecta promedio (fm)	**0,9**	**Mpa**
Desviación Estándar (S)	0,1	Mpa
Resistencia Característica (fk)	**0,7**	**Mpa**

Fuente: Autores (2021)

Edad de adoquines: 14 días

Tabla 55:Ensayo de tracción indirecta a los 14 días- San Roque

IDENTIFICACIÓN DEL ADOQUÍN								
Muestra N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Identificación	Por numeración							
Fecha de Fabricación	2021-06-02							
Fecha de Rotura	2021-06-16							
Edad	14 días							
DIMENSIONES Y CARGA DE ROTURA								
Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8
Longitud 1	240,59	244,28	243,56	243,74	243,88	244,11	244,33	243,64
Longitud 2	243,47	244,93	242,87	243,55	243,15	243,58	243,67	243,61
Espesor 1	85,5	86,1	87,4	85,1	84,7	84,3	83,4	84,6
Espesor 2	85,4	87,8	84,8	84,3	83,5	83,7	84,0	83,4
Espesor 3	84,2	85,6	84,6	83,7	84,6	82,9	83,7	83,6
Carga Rotura (N)	62405	61329	61285	55124	69635	72790	65940	65767
INFORMACIÓN DEL ENSAYO								
Longitud de tracción indirecta (mm)	242	245	243	244	244	244	244	244
Espesor de tracción indirecta (mm)	85	87	86	84	84	84	84	84
Superficie de tracción indirecta (mm2)	20579	21162	20818	20548	20515	20397	20428	20432
Carga de rotura (N)	62405	61329	61285	55124	69635	72790	65940	65767
Factor de corrección por espesor	1,03	1,04	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02
Resistencia a la Tracción Indirecta (Mpa)	2,0	1,9	1,9	1,8	2,2	2,3	2,1	2,1
Carga por unidad de longitud (N/mm)	260	250	250	230	290	300	270	270

Fuente: Autores (2021)

Tabla 56: Resumen del ensayo de tracción indirecta a los 14 días- San Roque

RESUMEN DE RESULTADOS		
Resistencia a la Tracción Indirecta mínima	1,8	Mpa
Carga por unidad de longitud mínima	230	N/mm
Resistencia a la Tracción Indirecta promedio (fm)	**2,0**	**Mpa**
Desviación Estándar (S)	0,2	Mpa
Resistencia Característica (fk)	**1,8**	**Mpa**

Fuente: Autores (2021)

Edad adoquines: 28 días

Tabla 57:Ensayo de tracción indirecta a los 28 días- San Roque

IDENTIFICACIÓN DEL ADOQUÍN								
Muestra N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Identificación	Por numeración							
Fecha de Fabricación	2021-06-02							
Fecha de Rotura	2021-06-30							
Edad	28 días							
DIMENSIONES Y CARGA DE ROTURA								
Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8
Longitud 1	241,92	242,88	240,68	244,27	243,5	240,86	243,28	243,03
Longitud 2	241,32	242,9	240,25	244,68	243,51	241	244,29	244,05
Espesor 1	87,1	87,8	87,4	89,4	79,3	87,1	83,8	89,6
Espesor 2	87,7	89,3	87,4	89,6	79,3	87,3	85,2	90,0
Espesor 3	87,8	89,0	87,9	89,2	80,0	87,0	85,4	90,1
Carga Rotura (N)	84506,6	77513,83	62907,08	92204,67	99657	83285,92	84429,47	66180,83
INFORMACIÓN DEL ENSAYO								
Longitud de tracción indirecta (mm)	242	243	240	244	244	241	244	244
Espesor de tracción indirecta (mm)	88	89	88	89	80	87	85	90
Superficie de tracción indirecta (mm2)	21148	21539	21058	21856	19360	20995	20667	21899
Carga de rotura (N)	84506,6	77513,83	62907,08	92204,67	99657	83285,92	84429,47	66180,83
Factor de corrección por espesor	1,05	1,05	1,05	1,06	1,00	1,04	1,03	1,06
Resistencia a la Tracción Indirecta (Mpa)	2,7	2,4	2,0	2,8	3,3	2,6	2,7	2,0
Carga por unidad de longitud (N/mm)	350	320	260	380	410	350	350	270

Fuente: Autores (2021)

Tabla 58: Resumen del ensayo de tracción indirecta a los 28 días- San Roque

RESUMEN DE RESULTADOS		
Resistencia a la Tracción Indirecta mínima	2,0	Mpa
Carga por unidad de longitud mínima	260	N/mm
Resistencia a la Tracción Indirecta promedio (fm)	**2,6**	**Mpa**
Desviación Estándar (S)	0,4	Mpa
Resistencia Característica (fk)	**1,9**	**Mpa**

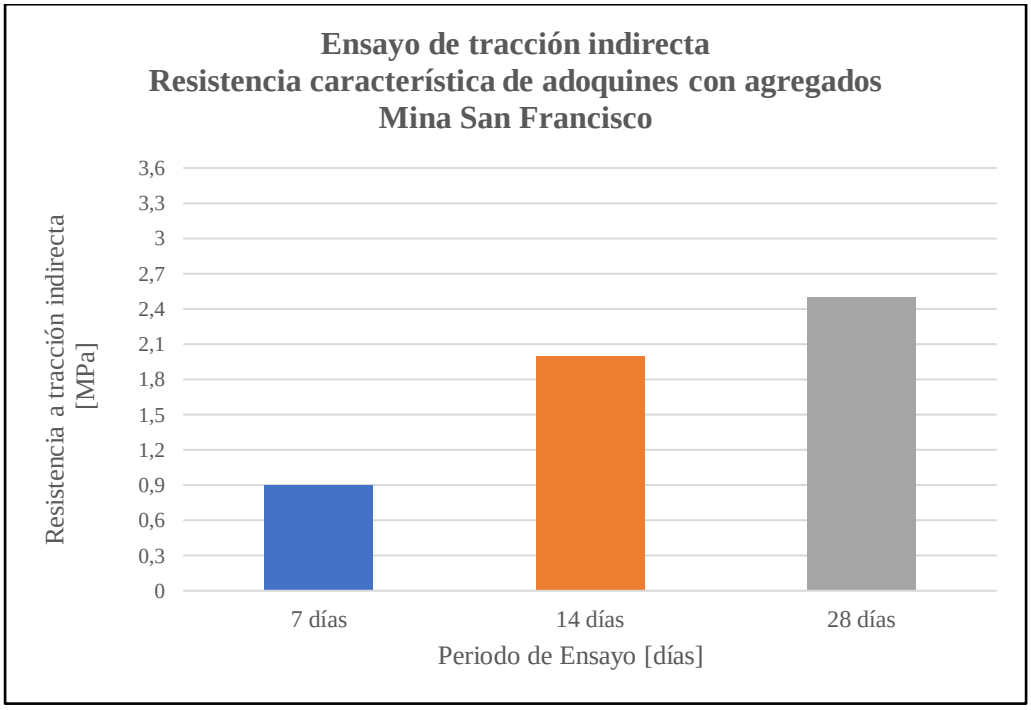
Fuente: Autores (2021)

5.2.3 Análisis de resultados del ensayo de tracción indirecta en adoquines de hormigón

Una vez concluidos los ensayos de las probetas fabricadas con agregados provenientes de las minas en estudio a las edades de 7, 14 y 28 días, sus resultados fueron analizados de acuerdo a los parámetros de calidad establecidos en la normativa INEN 3040, referentes a tracción indirecta, en la cual se requiere que cada probeta tenga un valor mayor o igual a 2,9 MPa, una carga por unidad de longitud no menor a 250 N/mm y una resistencia característica mayor o igual a 3,6 MPa.

Los adoquines fabricados con el agregado originario de San Francisco una vez realizado el ensayo, presentaron una resistencia característica a la tracción indirecta a los 7 días de 0,9 MPa y una resistencia promedio de 1,3 MPa, valor que no cumple con los requerimientos de la normativa. Las probetas ensayadas a los 14 días muestran una resistencia característica de 2 MPa y una resistencia promedio de 2,5 MPa; valores que no satisfacen los límites para este ensayo. Para los adoquines con una edad de 28 días se observar una resistencia característica de 2,5 Mpa y un valor promedio de 3 MPa, pero cada probeta si alcanzo un valor mínimo de 2,9 MPa y una carga por unidad de longitud mayor a 250 N/mm; por lo tanto, es notorio que al ganar mayor edad estos llegan a tener una mejor resistencia a la tracción indirecta.

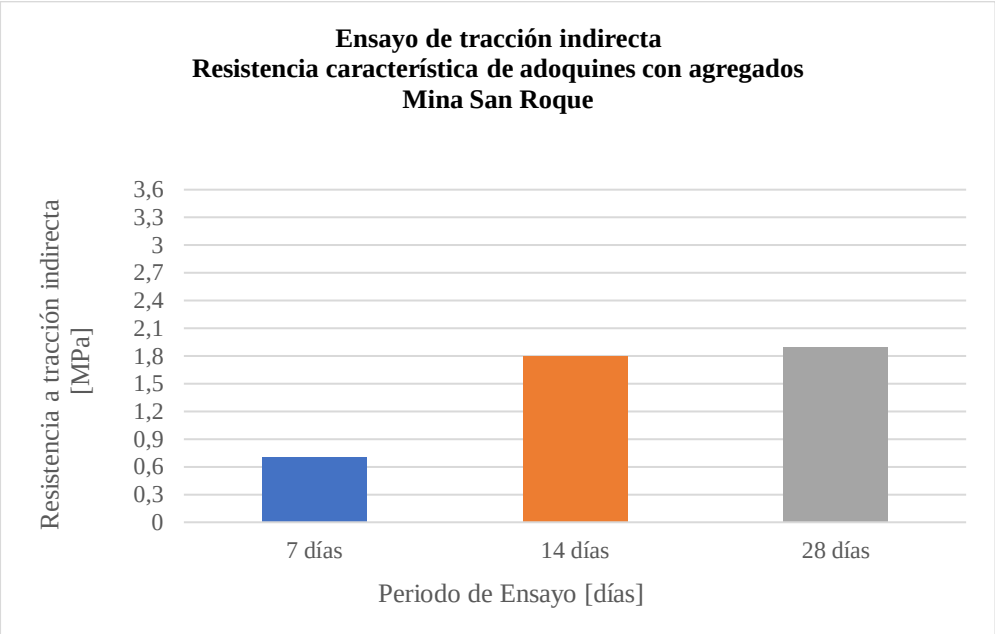
Gráfica 4:Resistencia característica ensayo de tracción indirecta- San Francisco



Fuente: Autores (2021)

Los adoquines fabricados con los agregados de la mina San Roque presentan una resistencia característica a los 7 días de 0,7 MPa y una resistencia a la tracción indirecta promedio de 0,9 Mpa, valor muy por debajo del límite requerido. Los adoquines con una edad de 14 días obtuvieron una resistencia característica de 1,8 MPa y una resistencia promedio de 2 MPa, valores inferiores al límite requerido. Los adoquines con una edad de 28 días tienen una resistencia característica de 1,9 MPa y una resistencia promedio de 2,6 MPa, valores inferiores al requerido por la normativa.

Gráfica 5:Resistencia característica ensayo de tracción indirecta- San Roque



Fuente: Autores (2021)

Indiferente de la edad de los adoquines, los elaborados con materiales pétreos originarios de San Francisco tendrá una resistencia característica más alta. En el caso de estos adoquines es importante recalcar que en su mayoría todos presentaron un valor mayor de 2,9 MPa de resistencia de forma individual, pero al ser analizado en conjunto no cumplen con el valor requerido siendo un indicador para el fabricante de un posible error en la producción, al tener una gran cantidad de variables por controlar tanto en dosificación, calibración de la maquina vibro-compactadora, control de humedad, elaboración en planta de los mismos, curado, transporte, etc.

Al finalizar los ensayos planificados en este estudio sería importante relacionar la resistencia a la compresión simple con la resistencia a la tracción indirecta llegando a conclusiones determinantes en el análisis del comportamiento de agregados en este tipo de hormigón.

5.3 Ensayos de Resistencia al desgaste por abrasión mediante el ensayo de rueda ancha

5.3.1 Resistencia al desgaste por abrasión- San Francisco

Fecha de ensayo: 7 días

Tabla 59:Ensayo de desgaste por abrasión a los 7 días -San Francisco

MUESTRA N°	1	2	3
Identificación	Por numeración		
Fecha de fabricación	2021-06-02		
Fecha de ensayo	2021-06-08		
Edad (días)	7		
Caudal del flujo de abrasivo (l/min)	2,5		
Masa de la pesa (gr)	13844	13844	13844
Angulo (°)	15,52	16,39	15,81
Espesor de la rueda h (mm)	70	70	70
Diámetro (mm)	200	200	200
Factor corrección	0,5	0,5	0,5
Longitud de la cuerda medida (mm)	26,5	28,0	27,0
Longitud de la cuerda corregida (mm)	**27,0**	**28,5**	**27,5**

Fuente: Autores (2021)

Fecha de ensayo: 14 días

Tabla 60:Ensayo de desgaste por abrasión a los 7 días -San Francisco

MUESTRA N°	1	2	3
Identificación	Por numeración		
Fecha de fabricación	2021-06-02		
Fecha de ensayo	2021-06-16		
Edad (días)	14		
Caudal del flujo de abrasivo (l/min)	2,5		
Longitud de la cuerda de la pesa (cm)	66,5	66,5	66,5
Masa de la pesa (gr)	13844	13844	13844
Angulo (°)	14,36	15,52	14,07
Espesor de la rueda h (mm)	70	70	70
Diámetro (mm)	200	200	200
Factor corrección	0,5	0,5	0,5
Longitud de la cuerda medida (mm)	24,5	26,5	24,0
Longitud de la cuerda corregida (mm)	**25,0**	**27,0**	**24,5**

Fuente: Autores (2021)

Fecha de ensayo: 28 días

Tabla 61:Ensayo de desgaste por abrasión a los 28 días -San Francisco

MUESTRA N°	1	2	3
Identificación	Por numeración		
Fecha de fabricación	2021-06-02		
Fecha de ensayo	2021-06-16		
Edad (días)	14		
Caudal del flujo de abrasivo (l/min)	2,5		
Longitud de la cuerda de la pesa (cm)	66,5	66,5	66,5
Masa de la pesa (gr)	13844	13844	13844
Angulo (°)	15,52	16,39	15,81
Espesor de la rueda h (mm)	70	70	70
Diámetro (mm)	200	200	200
Factor corrección	0,5	0,5	0,5
Longitud de la cuerda medida (mm)	26,5	28,0	27,0
Longitud de la cuerda corregida (mm)	**27,0**	**28,5**	**27,5**

Fuente: Autores (2021)

5.3.2 Resistencia al desgaste por abrasión- San Roque

Fecha de ensayo: 7 días

Tabla 62:Ensayo de desgaste por abrasión a los 7 días -San Roque

MUESTRA N°	1	2	3
Identificación	Por numeración		
Fecha de fabricación	2021-06-02		
Fecha de ensayo	2021-06-08		
Edad (días)	7		
Caudal del flujo de abrasivo (l/min)	2,5		
Masa de la pesa (gr)	13844	13844	13844
Angulo (°)	18,12	18,12	18,99
Espesor de la rueda h (mm)	70	70	70
Diámetro (mm)	200	200	200
Factor corrección	0,5	0,5	0,5
Longitud de la cuerda medida (mm)	31,0	31,0	32,5
Longitud de la cuerda corregida (mm)	**31,5**	**31,5**	**33,0**

Fuente: Autores (2021)

Fecha de ensayo: 14 días

Tabla 63:Ensayo de desgaste por abrasión a los 14 días -San Roque

MUESTRA N°	1	2	3
Identificación	Por numeración		
Fecha de fabricación	2021-06-02		
Fecha de ensayo	2021-06-16		
Edad (días)	14		
Caudal del flujo de abrasivo (l/min)	2,5		
Longitud de la cuerda de la pesa (cm)	66,5	66,5	66,5
Masa de la pesa (gr)	13844	13844	13844
Angulo (°)	18,12	18,41	18,99
Espesor de la rueda h (mm)	70	70	70
Diámetro (mm)	200	200	200
Factor corrección	0,5	0,5	0,5
Longitud de la cuerda medida (mm)	31,0	31,5	32,5
Longitud de la cuerda corregida (mm)	**31,5**	**32,0**	**33,0**

Fuente: Autores (2021)

Fecha de ensayo: 28 días

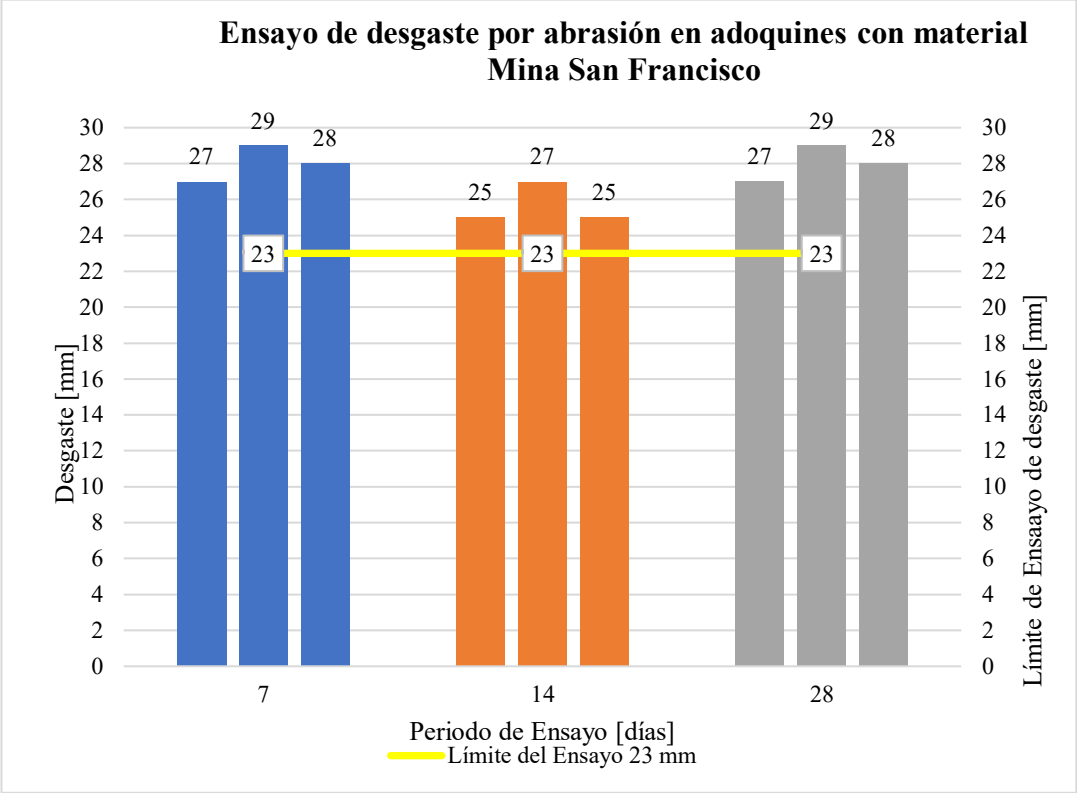
Tabla 64:Ensayo de desgaste por abrasión a los 28días -San Roque

MUESTRA N°	1	2	3
Identificación	Por numeración		
Fecha de fabricación	2021-06-02		
Fecha de ensayo	2021-06-16		
Edad (días)	14		
Caudal del flujo de abrasivo (l/min)	2,5		
Longitud de la cuerda de la pesa (cm)	66,5	66,5	66,5
Masa de la pesa (gr)	13844	13844	13844
Angulo (°)	18,70	18,41	19,58
Espesor de la rueda h (mm)	70	70	70
Diámetro (mm)	200	200	200
Factor corrección	0,5	0,5	0,5
Longitud de la cuerda medida (mm)	32,0	31,5	33,5
Longitud de la cuerda corregida (mm)	**32,5**	**32,0**	**34,0**

Fuente: Autores (2021)

5.3.3 Análisis de resultado del ensayo de resistencia al desgaste por abrasión

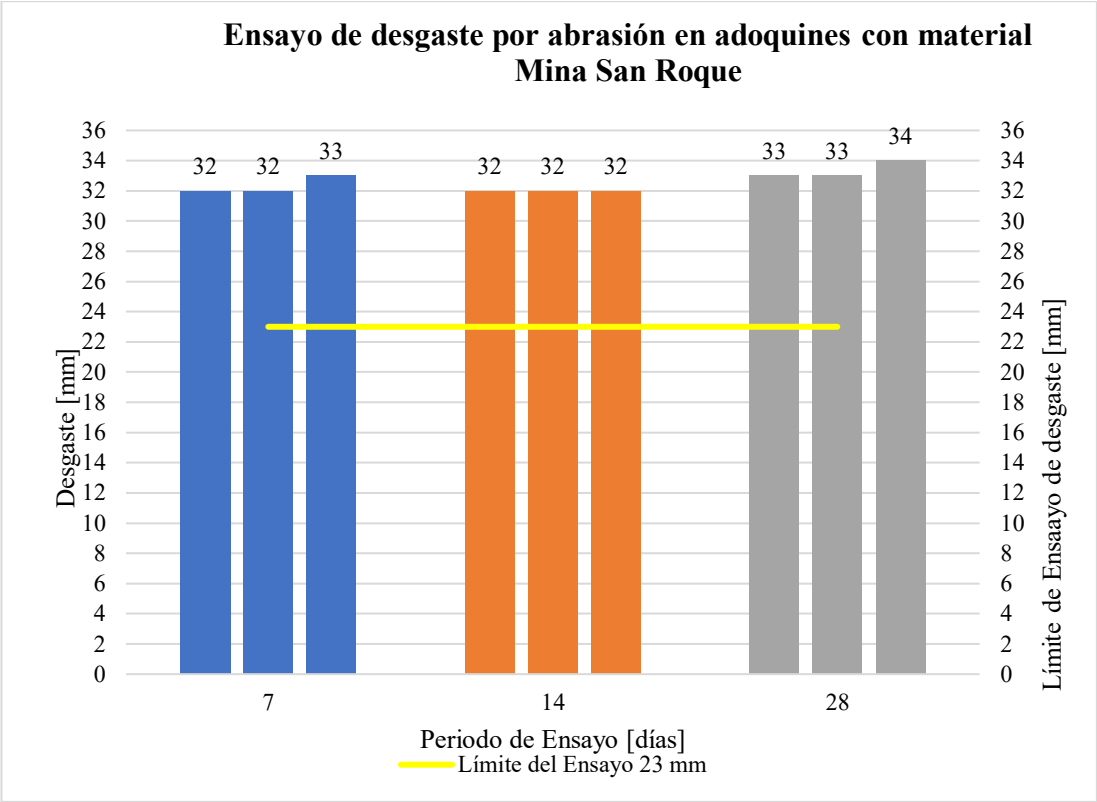
Gráfica 6: Ensayo de desgaste por abrasión en adoquines- San Francisco



Fuente: Autores (2021)

En la gráfica anterior se puede observar que una vez terminados los ensayos de resistencia a la abrasión en adoquines fabricados con material de la mina San Francisco, se puede notar que estos no cumplen con los valores establecidos en la norma NTE INEN 3040, “Tabla 33: Plan de muestreo y criterios de conformidad para ensayos de tipo inicial y adicionales”, donde se establece una cuerda máxima de 23 mm para considerarlo como aceptable; en este caso los adoquines presentan un desgaste que varía entre 25 y 29 mm.

Gráfica 7: Ensayo de desgaste por abrasión en adoquines- San Roque



Fuente: Autores (2021)

De igual manera, en la gráfica 8, que presenta los resultados de abrasión de los adoquines fabricados con material de la mina de San Roque, se observa que tampoco cumplen con los valores establecidos en la norma NTE INEN 3040, presentando un desgaste por abrasión que oscila entre los 32 y 34 mm.

5.4 Resistencia al deslizamiento sin pulir (USRV)

5.4.1 Ensayo de resistencia al deslizamiento sin pulir (USRV)- San Francisco

Fecha de adoquines: 7 días

Tabla 65:Ensayo de deslizamiento sin pulir a los 7 días- San Francisco

MUESTRA N°	1		2		3		4		5	
Identificación	1		2		3		4		5	
Fecha de fabricación	2021-06-02									
Fecha de ensayo	2021-06-09									
Edad (días)	7									
Dimensiones Patín (mm)										
Plano	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**
Lectura 1 (mm)	90	110	85	110	90	100	90	105	90	110
Lectura 2 (mm)	90	100	105	110	100	105	95	100	95	105
Lectura 3 (mm)	105	110	110	100	110	105	115	110	115	105
Lectura 4 (mm)	80	100	90	100	90	110	95	110	95	105
Lectura 5 (mm)	100	100	90	100	90	105	90	105	90	110
USRV de cada muestra	99		101		101		102		102	
USRV	**101**									

Fuente: Autores (2021)

El valor promedio a los 7 días de USRV: 101

Fecha de adoquines: 14 días

Tabla 66:Ensayo de deslizamiento sin pulir a los 14 días- San Francisco

MUESTRA N°	1		2		3		4		5	
Identificación	1		2		3		4		5	
Fecha de fabricación	2021-06-02									
Fecha de ensayo	2021-06-16									
Edad (días)	14									
Dimensiones Patín (mm)										
Plano	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**
Lectura 1 (mm)	105	95	105	100	105	115	105	100	105	100
Lectura 2 (mm)	115	100	115	100	115	110	115	95	115	100
Lectura 3 (mm)	105	115	105	95	100	100	100	100	100	105
Lectura 4 (mm)	105	90	100	90	100	110	100	110	100	100
Lectura 5 (mm)	90	100	95	115	90	100	90	100	90	105
USRV de cada muestra	102		102		105		102		102	
USRV	**102**									

Fuente: Autores (2021)

El valor promedio a los 14 días de USRV: 102

Fecha de adoquines: 28 días

Tabla 67:Ensayo de deslizamiento sin pulir a los 28 días- San Francisco

MUESTRA N°	1		2		3		4		5	
Identificación	1		2		3		4		5	
Fecha de fabricación	2021-06-02									
Fecha de ensayo	2021-06-30									
Edad (días)	28									
Dimensiones Patín (mm)										
Plano	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**
Lectura 1 (mm)	80	95	90	95	105	100	105	100	100	105
Lectura 2 (mm)	80	90	90	95	105	100	100	95	95	105
Lectura 3 (mm)	85	95	90	100	105	95	105	90	95	100
Lectura 4 (mm)	80	100	90	100	105	100	105	90	90	105
Lectura 5 (mm)	85	100	95	100	100	100	100	90	95	100
USRV de cada muestra	89		95		102		98		99	
USRV	**96**									

Fuente: Autores (2021)

El valor promedio a los 28 días de USRV: 96

5.4.2 Ensayo de resistencia al deslizamiento sin pulir (USRV)- San Roque

Tabla 68:Ensayo de deslizamiento sin pulir a los 7 días- San Roque

MUESTRA N°	1		2		3		4		5	
Identificación	1		2		3		4		5	
Fecha de fabricación	2021-06-02									
Fecha de ensayo	2021-06-09									
Edad (días)	7									
Dimensiones Patín (mm)										
Plano	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**
Lectura 1 (mm)	90	100	100	100	95	100	100	100	100	100
Lectura 2 (mm)	90	100	100	95	100	105	95	90	110	100
Lectura 3 (mm)	100	95	95	100	100	95	100	95	100	100
Lectura 4 (mm)	95	95	100	95	90	95	90	90	95	95
Lectura 5 (mm)	95	95	95	95	90	100	90	100	95	100
USRV de cada muestra	96		98		97		95		100	
USRV	**97**									

Fuente: Autores (2021)

El valor promedio a los 7 días de USRV: 97

Tabla 69:Ensayo de deslizamiento sin pulir a los 14 días- San Roque

MUESTRA N°	1		2		3		4		5	
Identificación	1		2		3		4		5	
Fecha de fabricación	2021-06-02									
Fecha de ensayo	2021-06-16									
Edad (días)	14									
Dimensiones Patín (mm)										
Plano	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**
Lectura 1 (mm)	100	95	110	95	100	115	100	95	95	95
Lectura 2 (mm)	100	90	100	100	100	100	100	100	100	95
Lectura 3 (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90
Lectura 4 (mm)	110	95	95	100	95	95	100	90	100	95
Lectura 5 (mm)	100	100	100	95	95	100	95	100	100	95
USRV de cada muestra	99		100		100		98		97	
USRV	**99**									

Fuente: Autores (2021)

El valor promedio a los 14 días de USRV: 99

Tabla 70: Ensayo de deslizamiento sin pulir a los 28 días- San Roque

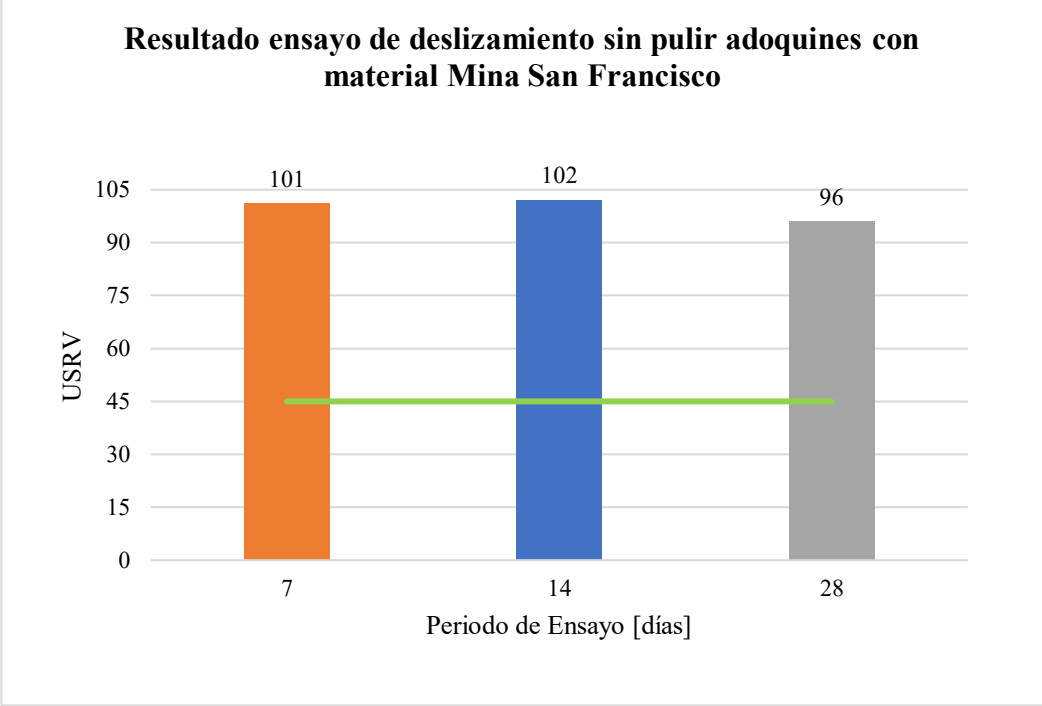
MUESTRA N°	1		2		3		4		5	
Identificación	1		2		3		4		5	
Fecha de fabricación	2021-06-02									
Fecha de ensayo	2021-06-30									
Edad (días)	28									
Dimensiones Patín (mm)										
Plano	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**	**0°**	**180°**
Lectura 1 (mm)	120	110	115	115	120	100	115	100	110	115
Lectura 2 (mm)	120	125	110	110	110	100	120	110	115	120
Lectura 3 (mm)	115	120	110	125	110	110	110	100	120	110
Lectura 4 (mm)	120	120	120	110	110	110	110	100	120	110
Lectura 5 (mm)	125	125	120	125	115	120	115	100	125	110
USRV de cada muestra	120		116		111		108		116	
USRV	**114**									

Fuente: Autores (2021)

El valor promedio a los 28 días de USRV: 114

5.4.3 Análisis de resultados del ensayo de deslizamiento sin pulir

Gráfica 8:Resultado ensayo de deslizamiento sin pulir adoquines con material Mina San Francisco

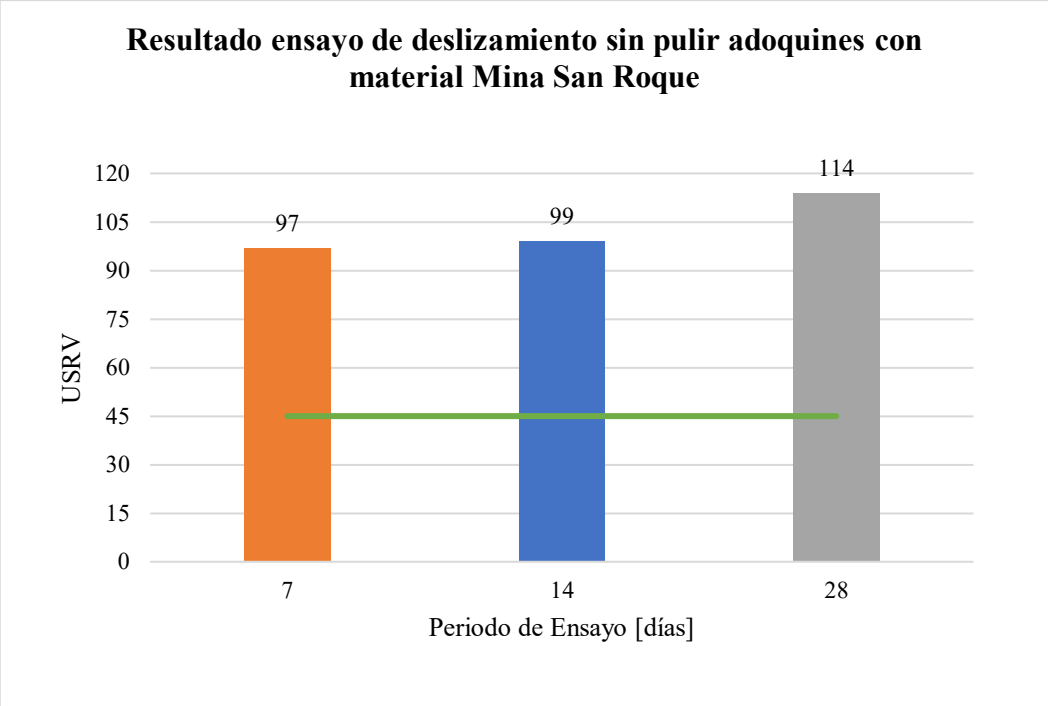


Fuente: Autores (2021)

En la gráfica 9, se muestran los resultados de ensayos de deslizamiento sin pulir realizados en adoquines fabricados con material de la Mina San Francisco; pese a que en la norma NTE INEN 3040 no se especifica un valor al cual hacer referencia para

dar como aceptado este ensayo, Cabezas (2014) en el Manual de procesos constructivos del Adoquinado, menciona que “Si se requiere un valor de resistencia al resbalamiento, el mínimo será de 45”(p.23), con lo cual se puede verificar que los adoquines cumplen con dicho requerimiento, pues los valores de deslizamiento en este caso varían entre 96 y 101.

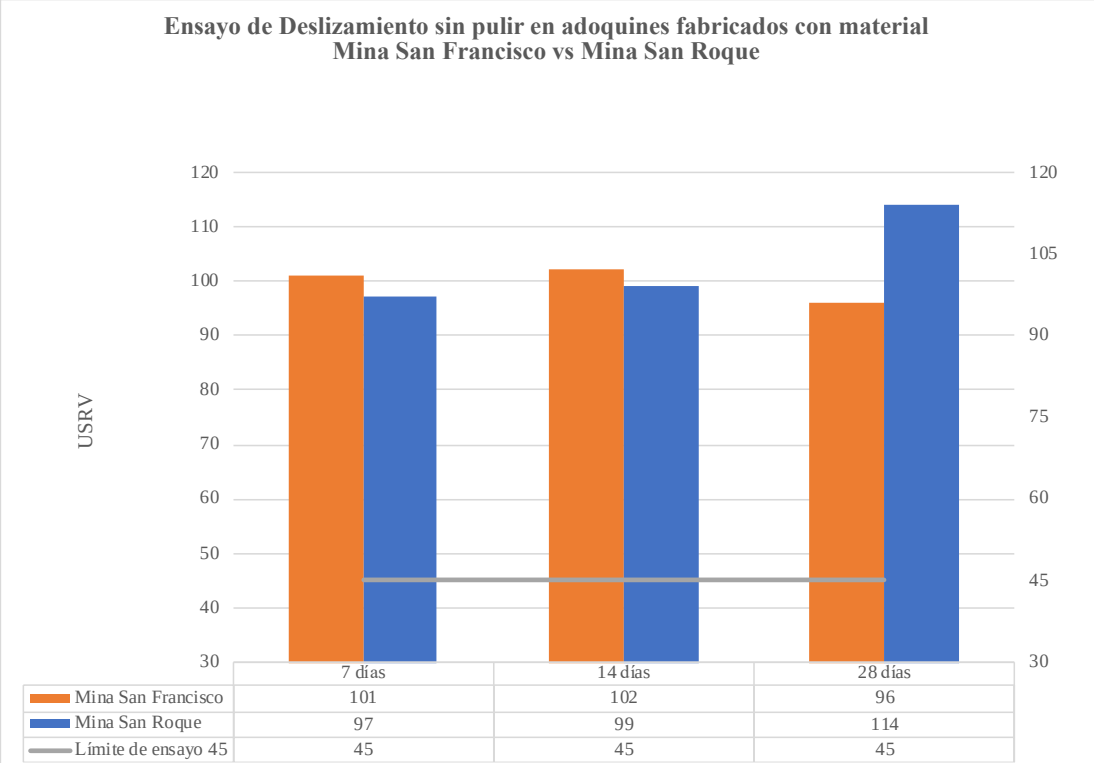
Gráfica 9:Resultado ensayo de deslizamiento sin pulir adoquines con material Mina San Roque



Fuente: Autores (2021)

De la misma forma, la gráfica 10, muestra los resultados de ensayos de deslizamiento sin pulir realizados en adoquines fabricados con material de la Mina San Roque; los cuales, si nos basamos en el Manual de Procesos Constructivos del adoquinado mencionado en el párrafo anterior, también cumplirían ya que los valores varían con un mínimo de 97 a los 7 días en comparación con 114 USRV a los 28 días.

Gráfica 10: Ensayo de deslizamiento sin pulir en adoquines fabricados con materiales mina San Francisco vs Mina San Roque



Fuente: Autores (2021)

Realizando una evaluación entre el deslizamiento obtenido en adoquines fabricados con material de las minas de San Francisco y San Roque se puede determinar que los adoquines fabricados con material de la mina de San Francisco presentan un valor mayor de USRV medido con el péndulo en las 5 probetas de cada mina en estudio.

No obstante, los datos obtenidos en las presentes pruebas no son contundentes para llegar a la conclusión de que una mina tiene mejor comportamientos que otro, puesto que debería realizarse un análisis estadístico y dentro de una probabilidad para verificar si realmente son diferentes los datos o pertenecen a un mismo rango.

La normativa ecuatoriana no presenta una especificación para este tipo de ensayo debido a que en condiciones generales los adoquines (por su proceso constructivo y composición de materiales) desarrolla una fricción suficiente para las solicitaciones a las que estará sometida en condiciones normales. En casos especiales como: el tipo de

tráfico, diseño geométrico vial (pendientes) y rugosidad debido al clima, puede exigir establecer un valor específico que debe ser considerado en el diseño.

5.5 Compresión Simple

5.5.1 Ensayo de compresión simple- San Francisco

Edad de adoquines: 7 días

Tabla 71: Ensayo de compresión simple a los 7 días- San Francisco

Probeta N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Identificación	Por numeración									
Color	Gris natural									
Fecha de fabricación	02/06/21									
Fecha de rotura	09/06/21									
Edad (días)	7									
Espesor (mm)	81,41	81,16	83,10	81,94	81,03	83,16	82,96	83,54	82,43	80,73
Área (mm²)	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00
Volumen (mm³)	3897916	3886304	3978838	3923533	3879840	3981950	3972374	4000266	3946756	3865595
Masa (gr)	8800,00	8490,00	8850,00	8810,00	8760,00	8510,00	8830,00	8930,00	8830,00	8600,00
Peso Unitario (gr/cm³)	2,26	2,18	2,22	2,25	2,26	2,14	2,22	2,23	2,24	2,22
Carga (kN)	1901,00	1559,00	1927,00	1855,00	1689,00	1556,00	1724,00	1841,00	1849,00	1669,00
Factor de Forma	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
Resistencia (MPa)	**44**	**36**	**45**	**43**	**39**	**36**	**40**	**43**	**43**	**39**

Fuente: Autores (2021)

Tabla 72: Resumen resultados ensayo compresión simple a los 7 días-San Francisco

Resumen de resultados			
Resistencia característica	**f ck =**	**36 (MPa)**	**363 (Kg/cm^2)**
Resistencia Promedio	f cm =	41 (MPa)	416 (Kg/cm^2)
Desviación Estándar	s =	3,2 (MPa)	32 (Kg/cm^2)

Fuente: Autores (2021)

Edad adoquines: 14 días

Tabla 73:Ensayos de compresión simple a los 14 días- San Francisco

Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Identificación	Por numeración									
Color	Gris natural									
Fecha de fabricación	02/06/21									
Fecha de rotura	16/06/21									
Edad (días)	14									
Espesor (mm)	81,78	79,57	81,79	80,91	80,35	82,28	80,73	80,66	83,15	81,96
Área (mm^2)	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00
Volumen (mm^3)	3915632	3810170	3916351	3874333	3847519	3939574	3865714	3862123	3981352	3924371
Masa (gr)	8360,00	8360,00	8690,00	8590,00	8210,00	8700,00	8530,00	8420,00	8430,00	8640,00
Peso Unitario (gr/cm^3)	2,14	2,19	2,22	2,22	2,13	2,21	2,21	2,18	2,12	2,20
Carga (kN)	1916,00	1923,00	1942,00	1913,00	1910,00	1939,00	1928,00	1935,00	1918,00	1938,00
Factor de Forma	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
Resistencia (MPa)	**44**	**45**	**45**	**44**	**44**	**45**	**45**	**45**	**44**	**45**

Fuente: Autores (2021)

Tabla 74: Resumen resultados compresión simple a los 14 días-San Francisco

Resumen de Resultados			
Resistencia característica	**fck =**	**44 (MPa)**	**451 (Kg/cm^2)**
Resistencia Promedio	fcm =	45 (MPa)	456 (Kg/cm^2)
Desviación Estándar	s =	0,3 (MPa)	3 (Kg/cm^2)

Fuente: Autores (2021)

Edad adoquines: 28 días

Tabla 75: Ensayo de compresión simple a los 28 días- San Francisco

Probeta N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Identificación	Por numeración									
Color	Gris natural									
Fecha de fabricación	02/06/21									
Fecha de rotura	30/06/21									
Edad (días)	28									
Espesor (mm)	84,17	82,60	82,17	83,18	83,44	81,38	78,95	85,67	82,37	82,59
Área (mm²)	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00	47883,00
Volumen (mm³)	4030312	3954896	3934546	3982788	3995477	3896479	3780483	4102256	3944003	3954777
Masa (gr)	8690,00	8590,00	8210,00	8700,00	8530,00	8420,00	8430,00	8640,00	8400,00	8360,00
Peso Unitario (gr/cm³)	2,16	2,17	2,09	2,18	2,13	2,16	2,23	2,11	2,13	2,11
Carga (kN)	1984,00	1959,00	1935,00	1940,00	1949,00	1924,00	1946,00	1941,00	1972,00	1951,00
Factor de Forma	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
Resistencia (MPa)	**46**	**46**	**45**	**45**	**45**	**45**	**45**	**45**	**46**	**45**

Fuente: Autores (2021)

Tabla 76:Resumen resultados compresión simple a los 28 días-San Francisco

Resumen de Resultados			
Resistencia característica	**fck =**	**45 (MPa)**	**456 (Kg/cm^2)**
Resistencia Promedio	fcm =	45 (MPa)	463 (Kg/cm^2)
Desviación Estándar	s =	0,4 (MPa)	4 (Kg/cm^2)

Fuente: Autores (2021)

5.5.2 Ensayo de compresión simple- San Roque

Edad adoquines: 7 días

Tabla 77: Ensayo compresión simple a los 7 días-San Roque

Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Identificación	Por numeración									
Color	Gris natural									
Fecha de fabricación	02/06/21									
Fecha de rotura	09/06/21									
Edad (días)	7									
Espesor (mm)	82,50	79,25	80,25	81,25	78,75	82,75	79,50	80,75	80,75	78,75
Área (mm²)	47685,00	47685,00	47685,00	47685,00	47685,00	47685,00	47685,00	47685,00	47685,00	47685,00
Volumen (mm³)	3934013	3779036	3826721	3874406	3755194	3945934	3790958	3850564	3850564	3755194
Masa (gr)	7550,00	7430,00	7640,00	7710,00	7910,00	8280,00	8060,00	8210,00	8010,00	7810,00
Peso Unitario (gr/cm³)	1,92	1,97	2,00	1,99	2,11	2,10	2,13	2,13	2,08	2,08
Carga (kN)	850,00	821,00	890,00	880,00	879,00	878,00	804,00	871,00	812,00	804,00
Factor de Forma	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
Resistencia (MPa)	**20**	**19**	**21**	**20**	**20**	**20**	**19**	**20**	**19**	**19**

Fuente: Autores (2021)

Tabla 78:Resumen resultados compresión simple a los 7 días-San Roque

Resumen de resultados					
Resistencia característica	**fck =**	**18**	**(MPa)**	**188**	**(Kg/cm²)**
Resistencia Promedio	fcm =	20	(MPa)	201	(Kg/cm²)
Desviación Estándar	s =	0,8	(MPa)	8	(Kg/cm²)

Fuente: Autores (2021)

Edad adoquines: 14 días

Tabla 79:Ensayo compresión simple a los14 días-San Roque

Probeta N°	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Identificación	Por numeración									
Color	Gris natural									
Fecha de fabricación	02/06/21									
Fecha de rotura	16/06/21									
Edad (días)	14									
Espesor (mm)	82,50	82,04	81,14	82,31	82,02	83,54	82,31	83,06	83,36	83,43
Área (mm^2)	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00
Volumen (mm^3)	3943088	3921221	3877847	3934126	3920026	3992675	3934126	3969972	3984072	3987417
Masa (gr)	7920,00	8060,00	8100,00	7990,00	8010,00	8270,00	8160,00	8250,00	8100,00	8100,00
Peso Unitario (gr/cm^3)	2,01	2,06	2,09	2,03	2,04	2,07	2,07	2,08	2,03	2,03
Carga (kN)	1135,00	721,00	1320,00	1060,00	1145,00	1181,00	1239,00	1243,00	1287,00	1398,00
Factor de Forma	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
Resistencia (MPa)	**26**	**17**	**31**	**25**	**27**	**28**	**29**	**29**	**30**	**33**

Fuente: Autores (2021)

Tabla 80: Resumen resultados compresión simple a los 14 días-San Roque

Resumen de resultados			
Resistencia característica	**fck =**	**20 (MPa)**	**206 (Kg/cm^2)**
Resistencia Promedio	fcm =	27 (MPa)	279 (Kg/cm^2)
Desviación Estándar	s =	4,4 (MPa)	44 (Kg/cm^2)

Fuente: Autores (2021)

Edad adoquines: 28 días

Tabla 81: Ensayo compresión simple a los 28 días -San Roque

Probeta N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Identificación	Por numeración									
Color	Gris natural									
Fecha de fabricación	02/06/21									
Fecha de rotura	30/06/21									
Edad (días)	28									
Espesor (mm)	83,11	82,97	83,09	84,03	83,94	83,49	84,02	83,67	82,72	83,29
Área (mm²)	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00	47795,00
Volumen (mm³)	3972242	3965312	3971287	4016094	4011912	3990524	4015497	3999008	3953483	3980726
Masa (gr)	7970,00	7140,00	7880,00	7990,00	7490,00	8130,00	7490,00	7930,00	8180,00	7900,00
Peso Unitario (gr/cm³)	2,01	1,80	1,98	1,99	1,87	2,04	1,87	1,98	2,07	1,98
Carga (kN)	1394,00	1379,00	1189,00	1125,00	1813,00	1504,00	1488,00	1829,00	1096,00	1354,00
Factor de Forma	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
Resistencia (MPa)	**33**	**32**	**28**	**26**	**42**	**35**	**35**	**43**	**26**	**32**

Fuente: Autores (2021)

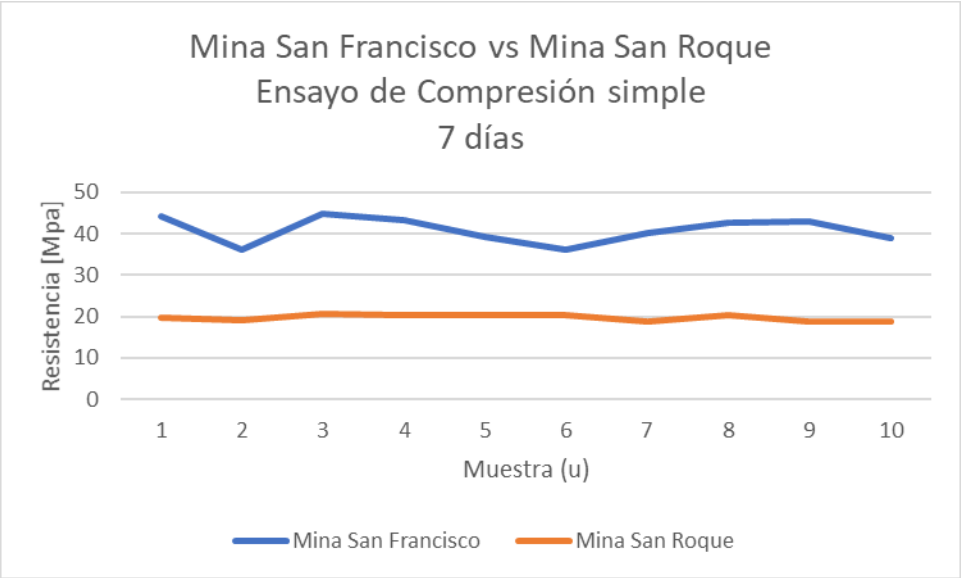
Tabla 82: Resumen resultados compresión simple a los 28 días-San Roque

Resumen de resultados			
Resistencia característica	**fck =**	**23 (MPa)**	**238 (Kg/cm^2)**
Resistencia Promedio	fcm =	33 (MPa)	337 (Kg/cm^2)
Desviación Estándar	s =	6,0 (MPa)	61 (Kg/cm^2)

Fuente: Autores (2021)

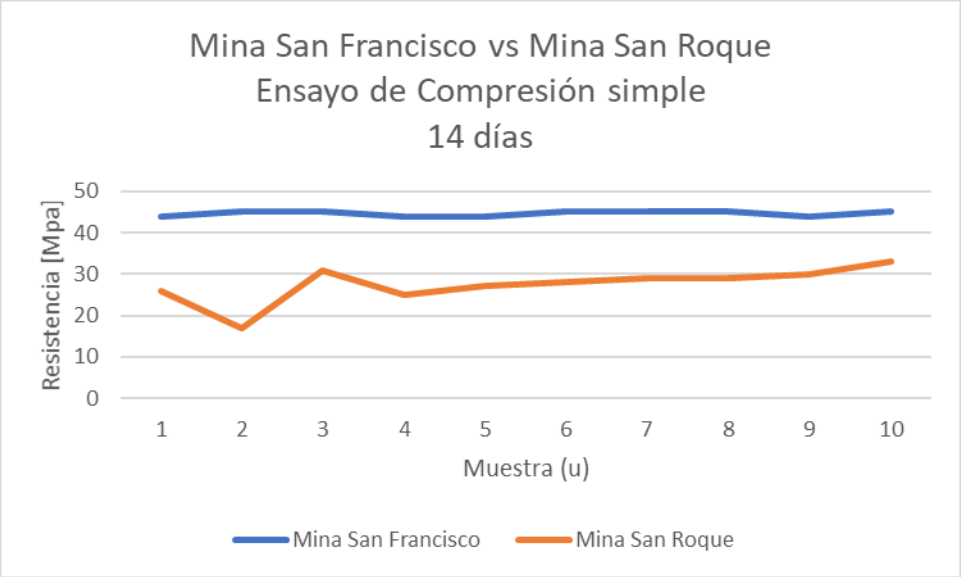
5.5.3 Análisis de resultados del ensayo de compresión simple

Gráfica 11: Compresión a los 7 días Mina San Francisco Vs Mina San Roque



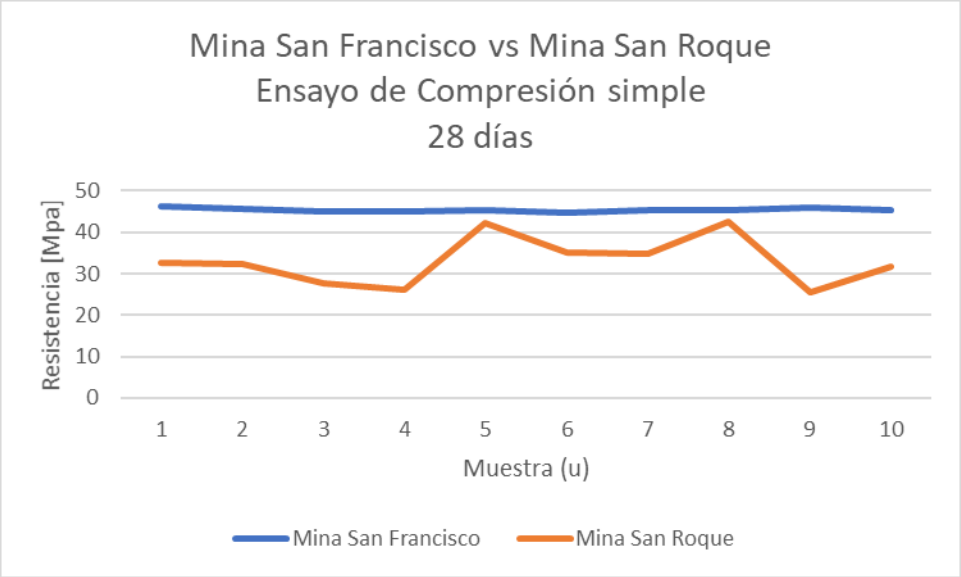
Fuente: Autores (2021)

Gráfica 12:Compresión a los 14 días Mina San Francisco Vs Mina San Roque



Fuente: Autores (2021)

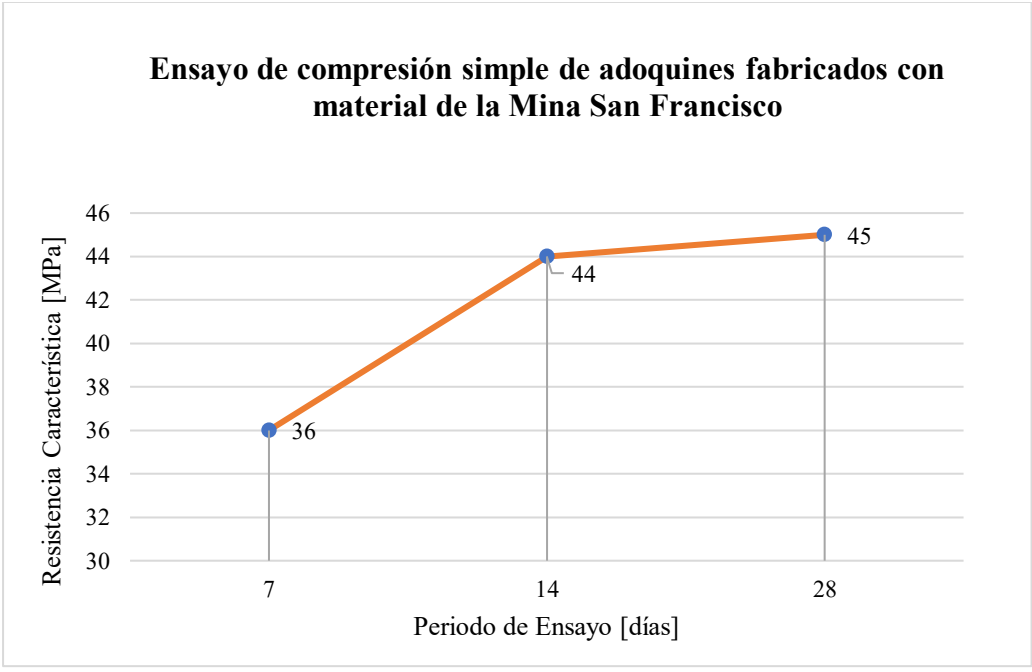
Gráfica 13:Compresión a los 14 días Mina San Francisco Vs Mina San Roque



Fuente: Autores (2021)

En base a los resultados obtenidos es notorio que los adoquines elaborados con la dosificación realizada con los materiales de San Francisco presentan mayores resistencias al ensayo de compresión simple en comparación con los adoquines fabricados con la dosificación utilizando los agregados de la mina de San Roque en las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente.

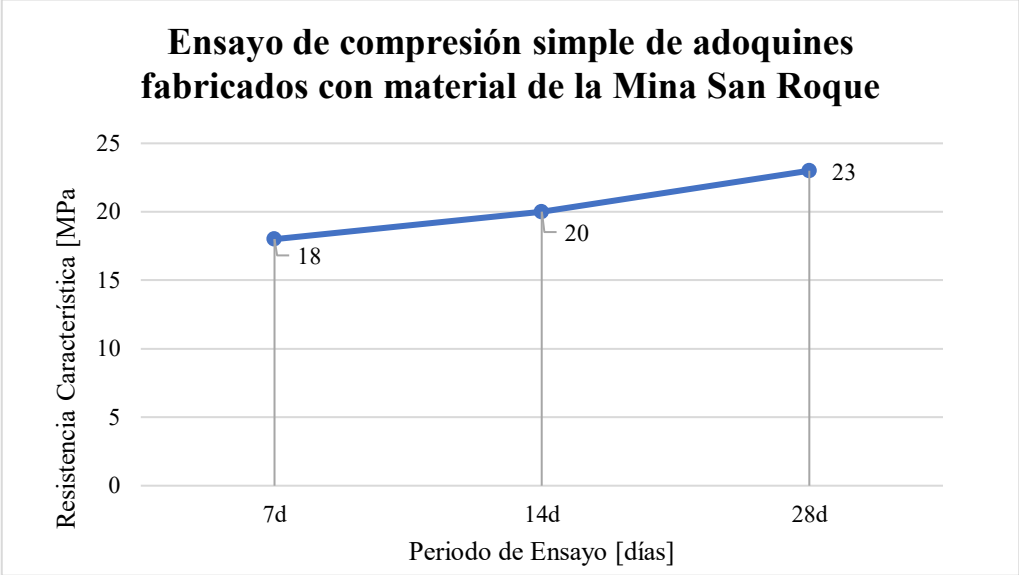
Gráfica 14:Ensayo de compresión simple de adoquines fabricados con material de la Mina San Francisco



Fuente: Autores (2021

La compresión simple en adoquines de hormigón se encuentra regulada mediante la aplicación de la norma NTE INEN 1485(derogada), donde se muestra claramente los mecanismos para el cálculo de la resistencia de los adoquines, así que una vez procesados los resultados de los ensayos, se puede observar en la gráfica 15 , que los adoquines fabricados con material proveniente de la Mina San Francisco, presentan una resistencia a los 7 días de 36 MPa, que representan 363 Kg/cm2 vs una resistencia a los 28 días de 45 MPa que representan 456 Kg/cm2.

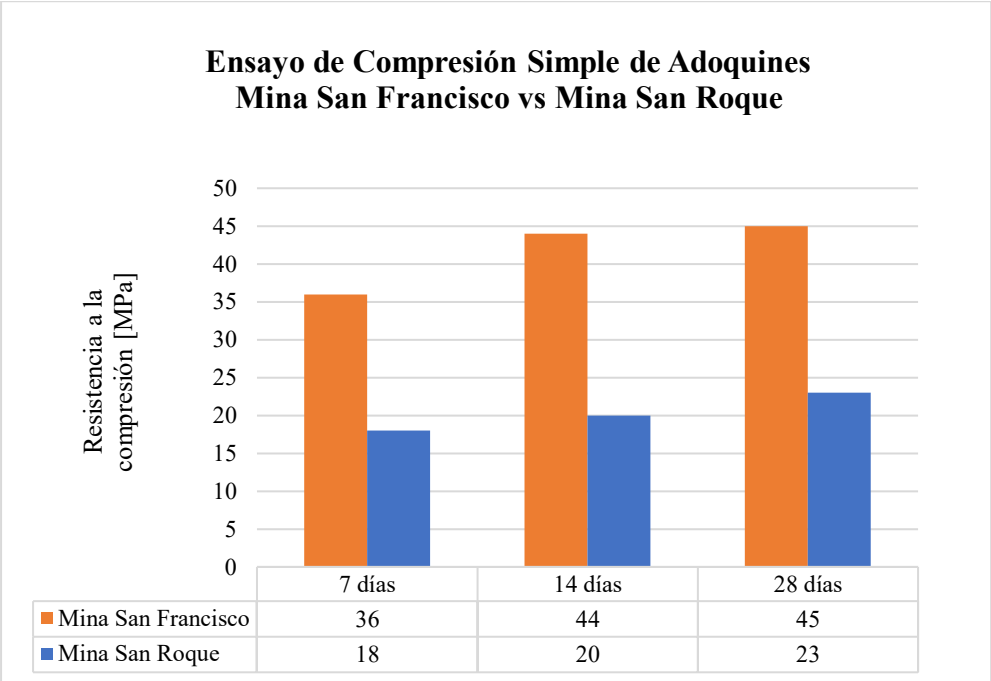
Gráfica 15:Ensayo de compresión simple de adoquines fabricados con material de la Mina San Roque



Fuente: Autores (2021)

La gráfica 16, representa la curva de compresión siemple de los adoquines fabricados con material de la mina de San Roque, y se observa que alcanza una resistencia de 18 MPa a los 7 días en comparación de los 23 MPa obtenidos a los 28 días.

Gráfica 16:Ensayo de Compresión Simple de Adoquines



Fuente: Autores (2021)

En la gráfica 14, se puede verificar que los adoquines fabricados con el material de la Mina de San Francisco, presentan un mayor desempeño en la ejecución del ensayo de compresión simple, ya que soportan un 50% más de carga a comparación de los adoquines fabricados con el material de la otra mina.

Una vez finalizado todos los ensayos se podrá determinar las posibles correlaciones entre la resistencia por compresión y los ensayos que son exigidos por la normativa INEN 3040.

5.6 Tabla resumen final de ensayos en adoquines

Tabla 83:Resumen de ensayos en Adoquines

Resumen de ensayos en adoquines- INEN 3040						
Origen de agregados	**San Francisco**			**San Roque**		
Edad en días	**7**	**14**	**28**	**7**	**14**	**28**
Índice de Absorción: ≤ 6%	7%	6%	6%	10%	9%	9%
	NO CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Tracción Indirecta (Mpa): ≥ 3,6 Mpa	0,9 MPa	2 Mpa	2,5 Mpa	0,7 Mpa	1,8 MPa	1,9 Mpa
	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Desgaste por abrasión rueda ancha: <23mm	28 mm	25,5 mm	28 mm	32 mm	32 mm	33 mm
	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE
Dimensiones del adoquín	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Deslizaminento sin pulir (USRV)	101	100	96	96	98	114
	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
Resumen de ensayos en adoquines- INEN 1485						
Compresión Simple: ≥ 40 Mpa	36 Mpa	44 Mpa	45 Mpa	18 Mpa	20 Mpa	23 Mpa
	NO CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Fuente: Autores (2021)

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, realizados a los agregados provenientes de las minas en estudio, se puede notar que los agregados presentan características físico-mecánicas aptas para la fabricación de adoquines de hormigón; sin embargo, existen otras variables como: calibración de la máquina vibro compactadora, tiempo de vibrado, calidad de los tableros para asentar los adoquines, dosificación de la mezcla, relación agua/cemento, proceso de curado, almacenamiento y transporte de los adoquines, que pueden aportar a un proceso productivo más eficiente que permitan cumplir los parámetros de calidad establecidos en la norma INEN 3040.
- Un factor a tomar en cuenta en la fabricación de adoquines mediante la utilización de una máquina semi automática es la vibración, pues brinda las siguientes características al hormigón: compacidad que es la capacidad de aumentar la densidad del hormigón e ir reduciendo el aire que se encuentre atrapado en su interior, impermeabilidad, resistencia a la abrasión, resistencia mecánica, un buen acabado superficial, fácil desmolde y economía (cemento y mano de obra); los cuales inciden en un eficiente proceso de fabricación de adoquines de hormigón.

- La trabajabilidad y resistencia del hormigón tienen una relación directa con el comportamiento de los agregados. En el caso de granulometrías de las minas

de estudio para los agregados gruesos de 3/8" son aptos y están dentro de los límites para elaboración de hormigón. Pero las arenas consideradas como gruesas presentan partículas más grandes de las que entran en un rango de agregado fino. Y las arenas consideradas como finas presentan partículas excesivamente pequeñas, por lo cual son utilizadas solo para dar acabado al hormigón más no para utilizarlo en su estructura.

- En base a los resultados obtenidos del ensayo de compresión se puede observar que los adoquines fabricados con los agregados provenientes de la mina San Francisco cumplen con los requerimientos de la norma derogada (INEN1485), mientras que los adoquines fabricados con los agregados provenientes de la mina San Roque no cumplen con los requisitos de resistencia planteados en esta investigación, de esta manera se verifica que los materiales de la mina San Francisco si permiten llegar a resistencias de 40 Mpa, lo que no ocurre con los agregados de la mina San Roque, los cuales deben ser utilizados en dosificaciones adecuadas modificando la relación agua / cemento, tiempo y tipo de vibrado para llegar a obtener las resistencias deseadas.
- La aplicación de la norma INEN 3040, permite realizar un control de calidad más exigente en comparación con la norma derogada INEN 1485, puesto que ahora es necesario ensayar los adoquines en base a su durabilidad (desgaste superficial), que es uno de los principales fenómenos que afectan su resistencia, puesto que al existir una variación en su forma de trabajar en conjunto (interlock), con el constante uso generará fallas hasta que este ya no sea apto para uso.
- La norma INEN 3040 tiene un principio enfocado en la eficiencia del comportamiento del adoquín considerado como un pavimento (en conjunto),

que se puede conseguir con la optimización de recursos, más no enfocado en las cualidades del adoquín; diferente a la norma derogada INEN 1485 que estudiaba solo un tipo de falla.

- Las bajas resistencias en tracción indirecta en los resultados de los adoquines fabricados con los agregados de las minas en estudio, se presentan debido a que los materiales según su granulometría se comportan como una arena gruesa, y no como una chispa que garantizaría el alcanzar mejores resultados tanto en tracción indirecta como en desgaste superficial.
- Los resultados de desgaste superficial en adoquines, muestran valores por debajo de los límites de control de calidad de la norma INEN 3040, la única forma de cumplir con este tipo de desgaste es trabajar con adoquines bicapa en la cual se coloque un material endurecedor (cuarzo) en la parte superior.
- Los agregados de un tamaño nominal de 3/8" conocidos como chispas provenientes de San Francisco y San Roque presentan características aceptables para la fabricación de adoquines de hormigón. Una vez realizados los ensayos, estos cumplieron todos los requerimientos de la norma INEN 872 para la elaboración de hormigón , que fue tomada como referencia al no existir una norma que establezca requerimientos para la elaboración de hormigón seco, encontrándose dentro de los límites de los ensayos de granulometría, abrasión y terrones de arcilla.
- La absorción es una de las propiedades más influyentes en la consistencia del hormigón; para los agregados provenientes de la Mina San Francisco, se tienen absorciones de 2,5% para el agregado grueso y 2,5% para el agregado fino tipo 1, con partículas homogéneas con una superficie limitada a ser cubierta por pasta, que permite una mínima fluidez puesto que la mezcla a ser utilizada para

la fabricación de adoquines será seca y con un asentamiento nulo; lo mismo ocurre con los agregados de la mina San Roque que presentan porcentajes más bajos de absorción con un 1,9% y un 4,4% para los agregados gruesos y finos respectivamente; que permiten obtener un hormigón para adoquines con el debido control de absorción al diseñar la mezcla.

- Los agregados gruesos de las minas San Francisco y San Roque presentan una adecuada distribución granulométrica, en cambio los agregados finos tipo 1, requieren de una gradación para complementar la falta de gruesos en la misma, el agregado fino tipo 2 por su lado tiene mucha presencia de finos, razón por la cual es utilizada en pequeñas proporciones para crear una pasta y obtener un mejor terminado en los adoquines; la gradación es la base fundamental para la elaboración de este tipo de hormigón.
- El contenido de materia orgánica de los agregados en análisis, tanto de la mina San Francisco como de la mina de San de Roque, presentan características aptas para la fabricación de hormigón para adoquines, puesto que de acuerdo con la escala de colores de Gardner se ubican en el No. 3, lo que indica que los agregados no presentan un alto porcentaje de impurezas que perjudiquen la resistencia del hormigón en adoquines.
- De acuerdo con los ensayos de abrasión realizado al agregado grueso constituido por partículas de 3/8’’, de las minas de San Francisco ubicada en el cantón Cayambe y San Roque del cantón Antonio Ante, se determinó un desgaste de 32% y 29% respectivamente, propiedades favorables para la fabricación de hormigones de alta resistencia a la compresión y tracción indirecta.

- En el caso de la arena fina o agregado fino 2 se determina que son arenas que no deben ser tomadas en cuenta en la estructura de adoquines de hormigón. Puesto que los resultados obtenidos en los ensayos de granulometría, tamiz 200 y terrones de arcilla arrojan porcentajes altos para los que limita la normativa INEN 872.
- En base a los resultados de la investigación la resistencia a la compresión tiene una mínima relación con el cumplimiento del ensayo de tracción indirecta, ya que este ensayo se ve influenciado por la forma de las partículas, dureza de las mismas, cemento y dosificación utilizada para la fabricación del hormigón. Y realizar una comparación entre el ensayo de compresión y tracción indirecta necesita de investigaciones más profundas controlando todas las variables que se presentan en la fabricación del hormigón para adoquines.
- De acuerdo con los valores de resistencias obtenidas en los ensayos se puede determinar que para que los adoquines fabricados con agregados de la mina San Francisco alcance la resistencia característica a tracción indirecta se requiere contar con una resistencia a la compresión de por lo menos 648 kg/cm2. Resistencias excesivamente altas, lo cual indica que sería necesario modificar la dosificación (relación agua/cemento).

EDAD [Dias]	MINA SAN FRANCISCO						% Tracción / Compresión	Resistencia Recomendada a la compresión para cumplir Tracción Indirecta [Kg/cm2]
28	Resistenca Promedio en compresión [Mpa]	fcm=	45	Resistencia Promedio a la tracción [Mpa]	fm=	3	0,07	540
28	Resistenca Característica en compresión [Mpa]	fck=	45	Resistencia Característica a la tracción [Mpa]	fk=	2,5	0,06	648

De igual manera que para que los adoquines fabricados con agregados de la mina San Roque alcancen la resistencia característica a tracción indirecta se

requiere contar con una resistencia a la compresión de por lo menos 436 kg/cm2.

EDAD [Días]	MINA SAN ROQUE						% Tracción / Compresión	Resistencia Recomendada a la compresión para cumplir Tracción Indirecta [Kg/cm2]
28	Resistenca Promedio en compresión [Mpa]	fcm=	33	Resistencia Promedio a la tracción [Mpa]	fm=	2,6	0,08	457
28	Resistenca Característica en compresión [Mpa]	fck=	23	Resistencia Característica a la tracción [Mpa]	fk=	1,9	0,08	436

La resistencia del adoquín a la tracción indirecta con respecto a la compresión es mucho menor que la que se estima para hormigones normales, ya que en hormigones normales se habla del 12 al 14%, mientras que en hormigones secos se habla de un 6 a 8%.

- En base a los resultados obtenidos en los ensayos de adoquines fabricados con los agregados de San Francisco, se puede notar que estos cumplen con la resistencia de compresión detallada en la norma INEN 1485(derogada), pero no se cumple con los parámetros de calidad establecidos en la norma INEN 3040, pues esta contempla el análisis de otros fenómenos a los que está sometido el adoquín, lo cual exige contar con un proceso productivo más eficiente que garantice el cumplimiento de la norma. En el caso de los adoquines fabricados con agregados de San Roque, los especímenes no alcanzan la resistencia a la compresión de 400kg/cm2 y tampoco cumple con los parámetros de calidad presentes en la norma INEN 3040.
- El ensayo de desgaste por abrasión mediante la rueda ancha para los adoquines determinó que ninguno de los especímenes llegaron a cumplir con el desgaste (cuerda de 23mm). Pero el que tuvo una mejor resistencia a la abrasión fue el de San Francisco, teniendo valores en un rango de 25 mm a 28mm en una edad

de 28 días, menor a los registrados en San Roque que están en un rango de 32mm a 33mm, con una misma edad.

- El ensayo de deslizamiento en adoquines en la norma INEN 3040 no presenta un valor límite que regule el comportamiento en este tipo de fenómeno físico, pero basado en normativas internacionales recomienda que para superficies en exteriores se tenga un valor de USRV mayor a 45. Por lo tanto, los adoquines de las dos minas cumplen con los requerimientos de deslizamiento, garantizando que futuros usuarios una vida útil casi ilimitada resistente al deslizamiento en su mayoría de vehículos.
- Los ensayos de absorción de adoquines que mejor se adaptaron a los requerimientos de la normativa fueron los de San Francisco, pero cabe recalcar que los porcentajes de absorción se fueron reduciendo conforme los adoquines a partir de los 14 días donde comenzaron a presentar valores aceptables.
- La resistencia a la tracción indirecta para los adoquines elaborados con material de las dos minas no cumple con los requerimientos de la normativa INEN 3040. En el caso de San Francisco fue el que presentó una resistencia característica de 2,5 MPa a los 28 días, la más cercana al valor solicitado por la norma. En San Roque presentó una resistencia característica de 1,9 MPa a los 28 días, siendo notorio que con el tiempo los especímenes aumentaron su resistencia, pero no la que pide la normativa. Esto está ligado directamente con la forma plana y alargada que tiene el agregado grueso, por tal motivo fue necesario realizar el ensayo en donde San Francisco presenta un 7% de partículas alargadas, 7% de partículas planas y un 86% de partículas que no son planas ni alargadas. Para San Roque el ensayo muestra 7% de partículas alargadas, 18% de partículas planas y un 75% de partículas que no son planas ni alargadas. Se

concluye que, para tener un mejor comportamiento del agregado grueso en la mezcla, este no debe presentar altos porcentajes de partículas planas y alargadas para adaptarse de mejor forma en el proceso de compactación, reduciendo la presencia de vacíos, principalmente con un control adecuado de la relación agua/cemento utilizado en la elaboración de la mezcla.

- Existe una relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción indirecta en adoquines. Puesto que adoquines con resistencia a compresión que alcanzan valores de 45 MPa (460 kg/cm2) presentan resistencias características de tracción indirecta de 2,9 Mpa. Implementando la normativa INEN 3040 se da un mejor control al comportamiento de adoquines al estar sometido a cargas de forma constante.
- Al realizar el ensayo de tracción indirecta se presentó un resultado importante a tomar en cuenta, que adoquines que llegan a una resistencia individual de 2,9 Mpa o mayor cumplen con la normativa INEN 3040 al ser tratados de forma individual, pero al ser analizados en lote no se cumple con el indicador de control que establece que no deben ser menores a 3,6 MPa. Siendo contradictorio que un adoquín de forma individual si cumpla, pero por características de otro este no sea aceptado. A su vez es una forma de dar un mayor control al momento de fabricar lotes con altas cantidades de especímenes.
- Los especímenes que presentan una mayor cantidad de chispa en su mezcla tienen una mejor resistencia a la compresión, la misma que tiene una relación empírica con la resistencia a la tracción indirecta.
- La aplicación de la normativa INEN 3040 en el país brinda a los fabricantes y a las entidades públicas y privadas un marco de control de calidad aplicable a

fabricación de adoquines de hormigón, para garantizar su durabilidad con el paso del tiempo.

6.2 Recomendaciones

- En base a los ensayos que se solicitan en la normativa INEN 3040 sería recomendable que los fabricantes trabajen con adoquines bicapa, así estos tendrán una mayor resistencia al desgaste superficial, de esta forma puedan cumplir con los parámetros de control establecidos.
- Sería necesario profundizar la investigación con ensayos que estudien el comportamiento de los adoquines de hormigón al trabajar en conjunto (interlock) y buscar posibles mejoras que garanticen una mejor durabilidad.
- Al realizar los ensayos de compresión en los adoquines de hormigón es importante corregir en el factor de corrección de la resistencia debido a la forma, ancho y alto del adoquín, puesto que el valor que refleja la maquina no es exacto; sería necesario realizar un corte en el adoquín en donde se controle el área y la forma, debido a la distribución de esfuerzos en la cara del adoquín.
- Sería necesario modificar la dosificación de la presente investigación con la finalidad de tener una mayor resistencia a la compresión y que posiblemente influenciará de manera positiva en el ensayo de tracción indirecta, obteniendo los valores que se detallan en la norma INEN 3040.
- En caso de profundizar en la investigación será necesario realizar varios ensayos en los adoquines donde se modifique la relación agua/cemento utilizando los mismos agregados, controlando todas las posibles variables como vibración, curado, transporte, etc; donde estos sean tratados de igual forma desde su extracción y conformación de los adoquines, siendo la única

forma de poder juzgar si un agregado es mejor que el otro o si es apto para fabricar hormigón.

- Es importante tener en cuenta la absorción de cada uno de los agregados involucrados en la mezcla ya que de ello depende la relación agua/cemento que será utilizada en la elaboración del hormigón.
- Sin lugar a duda que la cantidad de cemento junto con los agregados permiten obtener una resistencia que garantice cumplir con los límites de calidad establecidos en la normativa NTE INEN 3040, sin embargo es relevante considerar la forma de las partículas de los agregados, debido que al momento del proceso de mezclado el cemento se adhiere a las caras de las mismas, produciendo una elevada utilización de este elemento en la fabricación del hormigón, evitando la optimización de costos que es lo que busca el productor de prefabricados de hormigón.
- Para dar cumplimiento con los límites establecidos en la normativa NTE INEN 3040, es importante contar con agregados con un bajo nivel de abrasión, bajo porcentaje de porosidad y contenidos de vacíos, de formas angulares logrado con un adecuado proceso de vibro compactación, que reduzca la segregación de los agregados y la pérdida del agua de amasado.
- En el momento que se realice el muestreo del material pétreo, este debe ser homogenizado, para obtener una muestra representativa y uniforme de cada tipo de agregado para ser transportado, evitando que éste se altere por acción del agua u otro factor externo, hasta llegar al laboratorio siendo almacenado en un lugar seco y sin polvo.
- Es importante que el porcentaje de humedad de los agregados se tome antes de realizar la mezcla pues este valor al ser variable afecta directamente en la

cantidad de agua de amasado en la mezcla. Al tener porcentajes altos de humedad se reduce el agua de amasado por lo tanto un error podría afectar su resistencia, consistencia seca y asentamiento cero.

- Para futuras modificaciones de la norma INEN 3040 será importante que en el ensayo de tracción indirecta se detalle una resistencia para diferentes tipos de vías, puesto que tráfico al que va a estar sometido será distinto; por lo tanto, para vías peatonales, vías con un volumen de tráfico menor se requerirá otro tipo de valor para los límites de control de calidad.
- Al fabricar los adoquines se debe tener un control estricto de los procesos hasta obtener el adoquín, puesto que una ligera modificación afectaría a las características físicas de un grupo perteneciente al lote, obteniendo una desviación estándar alta que reduzca considerablemente la resistencia característica de los adoquines en ensayos como tracción indirecta y compresión simple.
- Es importante que los fabricantes contemplen un cronograma de mantenimiento mensual de los moldes, mesa vibratoria, planchas vibratorias y otros elementos que forman parte de la máquina vibro compactadora y que permitirán contar con productos, procesos productivos eficientes y de calidad.
- Realizar una investigación que plantee diferentes tipos de dosificación y diferentes métodos de diseño de mezcla utilizando el agregado de San Francisco y San Roque analizando como este puede variar para el cumplimiento de la norma INEN 3040.

Bibliografía

Amador, Á. (28 de 12 de 2020). *Más que ingeneniería*. Obtenido de Más que ingeneniería: https://masqueingenieria.com/blog/ensayos-a-traccion-indirecta-del-hormigon/#:~:text=En%20los%20ensayos%20a%20tracci%C3%B3n,acaban%20por%20fisurar%20la%20probeta.

Armas, R. (04 de Enero de 2016). *Academia*. Obtenido de Academia : https://www.academia.edu/29482323/DISE%C3%91O_DE_MEZCLAS_DE_HORMIG%C3%93N_PROCESO_DE_DISE%C3%91O_DE_UNA_MEZCLA_DE_HORMIG%C3%93N_CONCRETO

ASTM C 136. (2014). *ASTM C 136 Método de prueba estándar para análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.* USA: American Society of Testing Materials.

ASTM C 142. (2010). *Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates.* USA: ASTM.

ASTM C 702. (2018). *Práctica estándar para reducir muestras de agregado a tamaño para pruebas.* USA: ASTM.

ASTM C 88. (2013). *Método de prueba estándar para Solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o Sulfato de magnesio.* USA: ASTM.

ASTM D 2419. (2009). *StandardTest Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate.* USA: ASTM.

Cabezas, M. (2014). *Elaboración de manual de procesos construtivos de adoquinado* . Quito : UPN.

Cabezas, M. (2014). *Elaboración de un manual de procesos constructivos del adoquinado.* Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Chaluiza, Á. (2012). *Relaciones de compresión y tensión en adoquines fabricados con materiales procedentes de la cantera de pesillo, ubicada en el cantón Cayambe, provincia de Pichincha* . Quito: UCE .

Chura, C. (2018). *Cemento Portland.* Cusco : Universidad andina del Cusco.

Guevara, G. (2011). *Efecto de la variación agua/cemento en el concreto.* Costa Rica: Escuela de Ingeniería de los Materiales, Tecnológico de Costa Rica.

Hidalgo, D. (2013). *OBTENCIÓN DE ADOQUINES FABRICADOS CON VIDRIO RECICLADO COMO AGREGADO.* Quito : Escuela politécnica nacional .

Holcim. (2016). *Evolución de la normas Para la fabricación de cemento.* Quito: Semana del cemento y el concreto Holcim.

Hormipisos. (20 de 08 de 2017). *Hormipisos*. Obtenido de Hormipisos: http://www.hormipisos.com/producto/florencia-8cm/

INEN 1485. (1986). *Adoquines. Determinación de la resistencia a la compresión.* Quito: NTE INEN.

INEN. (2011). *Áridos para hormigón. Requisitos- INEN 872.* Quito: Norma Técnica Ecuatoriana.

INEN 3040. (2016). *ADOQUINES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO.* Quito: Norma técnica ecuatoriana.

INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso.* Quito : Instituto ecuatoriano de normalización -NTE.

INEN 698. (2010). *Áridos para hormigón. Determinación del contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables.* Quito : Norma Técnica Ecuatoriana.

INEN 855. (2010). *Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.* Quito: Norma Técnica Ecuatoriana.

INEN 856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.* Quito: NTE INEN.

INEN 857. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de árido grueso.* Quito: NTE INEN.

INEN 858. (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentajes de vacios.* Quito: Norma Técnica Ecuatoriana.

INEN 860. (2011). *Áridos. Determinaciñon del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5mm. Mediante el uso de la máquina de los ángeles.* Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

INEN 862. (2011). *• La trabajabilidad y resistencia del hormigón tienen una relación directa con el comportamiento de los agregados, como es su granulometría. En el caso de las minas de estudio para los agregados gruesos de 3/8" son aptos y están dentro de los límites para.* Quito: NTE INEN.

INEN 872. (2011). *Áridos para hormigóm.* Quito: Norma Técninca Ecuatoriana .

INEN-1488. (1986). *Adoquines requsitos.* Quito: Norma técnica ecuatoriana.

INEN-151. (2010). *EL AMIANTO: MINERALOGÍA DEL RIESGO.* Quito : Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Jara, P. (21 de 01 de 2019). *HISTORIA DE LOS ADOQUINES.* Obtenido de Prefabricados de la Jara : https://www.prefabricadosjara.com/historia-de-los-adoquines-la-evolucion-del-pavimento/

Jeria, R. (2010). *Curso Laboratorista Vial Clase C.* Madrid : Ministerio de obras públicas .

Kanemetsu, Noguchi, & Tomosawa. (2004). *Optimization of Mix Proportion of Concrete under Various Severe Conditions by Applying the Genetic Algorithm. The 3rd.* Vancuver: CONSEC 01.

Kosmatka, S., & Panarese, W. (2007). *Diseño y control de mezclas de concreto.* México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

Martínez, L. (2013). *Límites de conformidad de finos pasados por el tamíz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.* Matanzas : Universidad de Matanzas .

Miguel Royo-Ochoa, R. C. (Enero de 2010). *Research Gate*. Obtenido de El intemperismo y las rocas en la construcción: https://www.researchgate.net/publication/267453496_El_intemperismo_y_las_rocas_en_la_construccion

MOP. (2002). *ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCION PARA LA CONSTRUCION DE CAMINOS Y PUENTES.* Quito: MOP-001-F 002.

Morales, E. (2012). *PROPUESTA DE NORMA GUATEMALTECA PARA PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE LABORATORIO Y CLASIFICACIÓN DE ADOQUINES DE HORMIGÓN.* Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.

Osorio, D. (2019). *HIDRATACIÓN DEL CONCRETO: AGUA DE CURADO Y AGUA DE MEZCLADO.* Bogotá: 360 en concreto.

Pilicita, I., & Segovia, F. (2014). *Desgaste de adoquines de hormigón sometidos a sulfatos de sodio en diferetenes concentraciones* . Quito: PUCE.

Proaño, W. (2018). *Correlación entre las propiedades físicas y mecánicas de adoquines fabricados a base de lodo papelero y adoquines convencionales*

según la Norma INEN 3040. Quito : UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

Quiceno, B. (1990). *Manual para la fabricación de bloques y adoquines.* Bogotá: Fondo Nacional de Formación Profesional para la industria de la construcción.

Realpe, G. (2019). Desgaste superficial de adoquines: implementación y ajustes en la normativa ecuatoriana. *métodos & materiales* , 2.

Reaple, G., & Ortega, L. (1993). *Uso del cemento Portland IE en la fabricación de adoquines.* Quito: PUCE.

Regueiro, M. (2008). *EL AMIANTO: MINERALOGÍA DEL RIESGO.* España : Demolición y reciclaje.

Rodríguez, A. P. (2004). *Materiales Básicos.* Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.

Rodriguez, F. d. (1995). *El agua y el Hormigón* . México: Revista de Edificación .

Romero, A. (2014). *DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN POR EL MÉTODO A.C.I. Y EFECTOS DE LA ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN*. Obtenido de DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN POR EL MÉTODO A.C.I. Y EFECTOS DE LA ADICIÓN DE CENIZAS VOLANTES DE TERMOTASAJERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno%20de%20me%20zclas%20de%20hormigon%20por%20el%20metodo%20a.c.i..pdf?sequence=1&%20isAllowed=y

Saraguro, B., & Carrión, J. (2020). *RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y EL DESGASTE EN ADOQUINES DE HORMIGÓN".* Quito: Universidad politécnica salesiana.

Seminario, R. (2017). *DISEÑO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE ADOQUINES CON AGREGADOS DE CONCHA DE ABANICO.* Piura: Universidad de Piura.

Silva, O. (2020). *TIPOS DE AGREGADOS Y SU INFLUENCIA EN EL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO.* Bogotá: 360 en concreto.

UNE-EN 933-8. (2000). *Equivalente de Arena.* Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

Vásquez, J. C. (2009). *Resistencia a los sulfatos.* Quito : UTPL.

Vilca, S. (2018). *"UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA ESTABLECER ZONAS DE AFECTACIÓN POR AMENAZAS DE DESLIZAMIENTO EN EL CANTÓN ANTONIO ANTE".* Ibarra: PUCE .

Waddell J, & Dobrowolsky J. (2001). *Manual de la Construcción con Concreto, Tomo I.* México : McGraw-Hill.

Waddell, J. (1997). *Manual de la construcción con concreto I.* USA: Mc Graw Hill.

ANEXOS:

Obtención del material pétreo



Fuente: Autores (2021)

Elaboración de ensayos de agregados



Fuente: Autores (2021)

Elaboración de ensayos de agregados



Fuente: Autores (2021)

Adoquines para ensayos



Fuente: Autores (2021)

Preparación de probetas para ensayos



Fuente: Autores (2021)

Preparación de probetas para ensayos



Fuente: Autores (2021)

Ensayo de tracción indirecta en adoquines



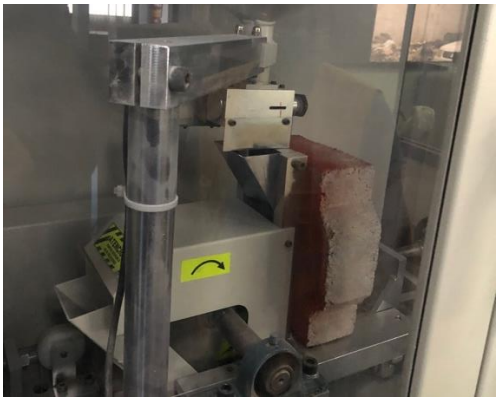
Fuente: Autores (2021)

Ensayo de absorción en adoquines



Fuente: Autores (2021)

Ensayos de resistencia por abrasión



Fuente: Autores (2021)

Ensayo de compresión simple



Fuente: Autores (2021)