

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
TESIS

**“UTILIZACIÓN DEL RELAVE MINERO PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES
DE CONCRETO TIPO ENSAMBLABLE”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES

DISCIPLINA:

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR LAS BACHILLERES:

ROJAS HUAMANÍ, Lissett Evelyn

VENTURA HUAMAN, Liz Edith

HUANCABELICA - PERÚ

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 14 días del mes de noviembre del año 2017, a horas 5:00 p.m, se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **Ing. Iván Arturo AYALA BIZARRO (PRESIDENTE)**, **Ing. Carlos GASPAS PACO (SECRETARIO)**, **Ing. Hugo Rubén LUJAN JERI (VOCAL)**, designados con Resolución de Consejo de Facultad N° 127-2017-FCI-UNH, de fecha 11 de abril del 2017 y ratificados con Resolución de Decano N° 147-2017-FCI-UNH de fecha 09 de noviembre del 2017, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "UTILIZACIÓN DEL RELAVE MINERO PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO TIPO ENSAMBLABLE", presentada por las Bachilleres **Liz Edith VENTURA HUAMÁN y Lissett Evelyn ROJAS HUAMANI**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**; en presencia del **Ing. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES**, Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas 6:00 pm; se invitó al público presente y los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

Liz Edith VENTURA HUAMÁN

APROBADO POR UNANIMIDAD

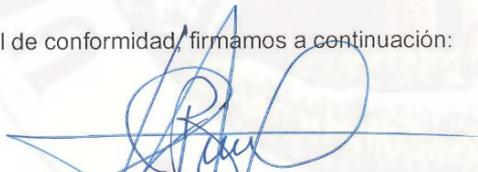
DESAPROBADO

Lissett Evelyn ROJAS HUAMANI

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

En señal de conformidad, firmamos a continuación:



Presidente



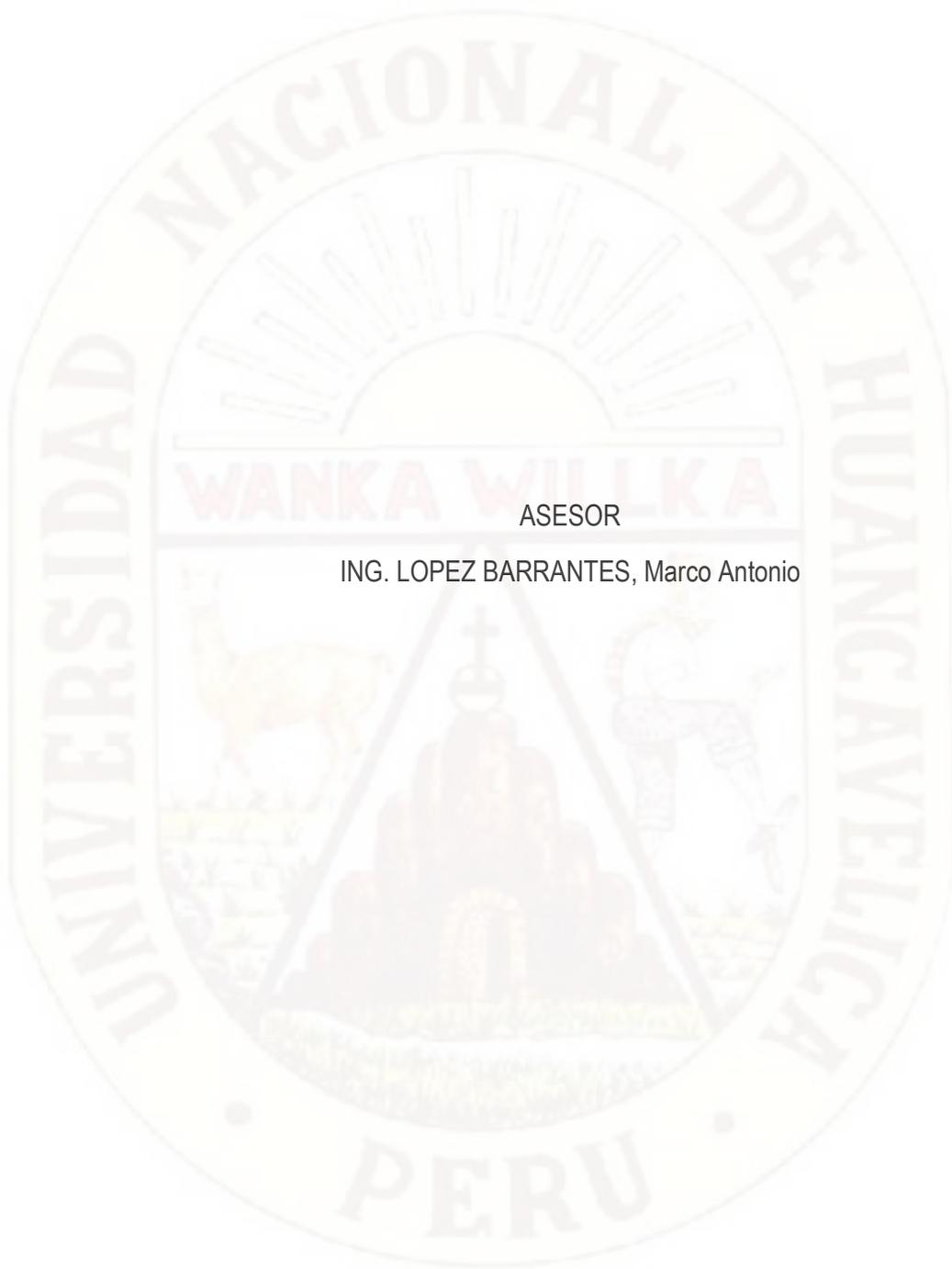
Secretario



Vocal



Vº Bº Decano



ASESOR

ING. LOPEZ BARRANTES, Marco Antonio

Dedicatoria

A Dios por guiar mi camino y brindarme una vida llena de aprendizajes. A mis padres Antonio y Cesaria por ser ejemplo de perseverancia, quienes son motor de mi vida y por brindarme su apoyo incondicional en todo momento. A mis hermanos quienes son mi fortaleza para seguir adelante. A todos mis maestros por las enseñanzas que me conllevan a crecer profesionalmente.

Lissett Evelyn, Rojas Huamaní

A Dios por iluminar mi camino y mostrarme un propósito por el cual vivir. A mis padres Roberto y Sonia que son el motor de mi vida y quienes sabiamente supieron guiarme en todas mis decisiones, y con su ejemplo me enseñan el significado del amor verdadero. A mis queridos hermanos Romel, Dennis y Rocío quienes son mi ejemplo constante, y el motor del deseo de superación. A todos mis profesores que me han formado el profesional que soy ahora.

Liz Edith, Ventura Huamán

Agradecimiento

Expresamos nuestro agradecimiento a nuestros padres, hermanos y amigos, por el gran apoyo, consejos y su gran paciencia durante la ejecución de nuestra tesis.

A si mismo agradecer a la Universidad Nacional de Huancavelica en especial al director de la Escuela de Ingeniería Civil Huancavelica, por facilitarnos las instalaciones del laboratorio para poder realizar todos los ensayos necesarios.

A nuestro asesor el Ing. Marco Antonio López Barrantes, por su orientación, consejos y guía en la ejecución de la presente investigación.

Finalmente agradecemos al personal encargado de la Relavera N° 09 Acchilla – Ccochaccasa, en especial al Ing. José Luis Moran Montoya Gerente General del C.I.A. de minas Buenaventura S.A.C. – Unidad Julcani, por su gran voluntad de permitimos adquirir el relave minero, material que fue primordial para la realización de la tesis.

Índice

Dedicatoria	IV
Agradecimiento.....	V
Resumen	XVII
Abstract	XVIII
Introducción	XIX
Capítulo I: Problema	20
1.1. Planteamiento de Problema	20
1.2. Formulación del Problema	21
1.2.1. Problema General	21
1.2.2. Problemas Específicos	21
1.3. Objetivo	21
1.3.1. Objetivo General	21
1.3.2. Objetivos Específicos	21
1.4. Justificación.....	22
Capítulo II: Marco Teórico	23
2.1. Antecedentes	23
2.2. Bases Teóricas	26
2.2.1. La actividad minera en el Perú	26
2.2.2. Relave minero	31
2.2.3. Usos alternativos de relave minero	40
2.2.4. Métodos para el Tratamiento del relave minero	41
2.2.5. Unidades de albañilería.....	44
2.2.6. Bloque de concreto	46
2.3. Hipótesis	52
2.3.1. Hipótesis General.....	52
2.3.2. Hipótesis específicas.....	53
2.4. Variables de estudios	53
2.4.1. Variable Independiente	53
2.4.2. Variable Dependiente.....	53
Capítulo III: Metodología de la Investigación	54
3.1. Ámbito de estudio	54
3.2. Tipo de Investigación	54
3.3. Nivel de Investigación	54

3.4.	Método de Investigación	54
3.5.	Diseño de Investigación	55
3.6.	Población, Muestra, Muestreo.....	55
3.6.1.	Población	55
3.6.2.	Muestra	55
3.6.3.	Muestreo	56
3.7.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	56
3.7.1.	Técnicas.....	56
3.7.2.	Instrumentos	57
3.8.	Procedimiento de recolección de datos.....	57
3.9.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	58
Capítulo IV: Resultados	.....	59
4.1.	Presentación de Resultados	59
4.1.1.	Caracterización de Materiales.....	60
4.1.2.	Elaboración de probetas cilíndricas de Concreto con proporciones de Relave minero:.....	111
4.1.3.	Determinación de Resistencia a Compresión de Probetas	134
4.1.4.	Elaboración de Bloques de Concreto tipo ensamblable (BCE):	149
4.1.5.	Determinación de Resistencia a Compresión de bloques de concreto tipo ensamblable:.....	167
4.1.6.	Determinación del porcentaje de absorción de bloques de concreto tipo ensamblable:.....	181
4.1.7.	Determinación de la densidad del Bloque de Concreto tipo ensamblable.....	190
4.2.	Discusión.....	191
4.2.1.	Análisis estadístico.....	191
4.2.2.	Análisis Descriptivo	193
4.2.3.	Propuesta tipológica.....	198
Conclusiones	.....	204
Recomendaciones	.....	206
Referencia Bibliográfica	.....	207
Artículo Científico	.....	211
Anexos.....	.....	214

Índice de Tablas

Tabla 1. Producción minera a nivel Mundial.....	27
Tabla 2. Producción Minera por principales productos en el Perú	27
Tabla 3. Producción Minera en los departamentos del Perú	28
Tabla 4. Producción minera en el Distrito de Ccochaccasa de la Provincia de Angaraes - Unidad Julcani	29
Tabla 5. Caracterización Geoquímica del Relave In Situ	34
Tabla 6. Caracterización mineralógica del relave polimetálico de flotación por difracción de rayos X.	35
Tabla 7. Granulometría del Relave Minero.....	36
Tabla 8. Impactos Ambientales	40
Tabla 9. Características de unidad de albañilería para fines estructurales	45
Tabla 10. Requisitos para Absorción.....	49
Tabla 11. Requisitos de Resistencia a Compresión	50
Tabla 12. Análisis Químico de Cemento Portland Tipo I	61
Tabla 13. Propiedades Químicas del Cemento portland Tipo I	61
Tabla 14. Propiedades físicas del Cemento Portland Tipo I.....	62
Tabla 15. Resultados del Contenido de Humedad del agregado fino.	67
Tabla 16. Resultados del Contenido de Humedad del agregado grueso.	68
Tabla 17. Resultado del Análisis granulométrico de Agregado Fino.	73
Tabla 18. Límites granulométricos de Agregado Fino.	74
Tabla 19. Análisis granulométrico de Agregado Grueso (piedra 3/8").....	76
Tabla 20. Límites granulométricos para un Agregado Grueso de 3/8" a N°8.....	77
Tabla 21. Resultados del Peso Unitario Suelto del Agregado Fino.	84
Tabla 22. Resultados del Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.....	84
Tabla 23. Resultados del Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.	85
Tabla 24. Resultados del Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso.	85
Tabla 25. Resultado del Peso Específico y Absorción de la muestra de Agregado Fino. .	95
Tabla 26. Resultado del Peso Específico y Absorción de la muestra de Agregado Grueso.	96
Tabla 27. Resultados de Contenido de Humedad del relave minero.	100
Tabla 28. Análisis granulométrico del relave minero	103
Tabla 29. Límites granulométricos de Agregado Fino.	104
Tabla 30. Resultado del Peso Unitario Suelto del Relave Minero.	107
Tabla 31. Resultado del Peso Unitario Compactado del Relave Minero.	107
Tabla 32. Resultado del Peso Específico y Absorción del Relave Minero.	110
Tabla 33. Clase de mezclas según su asentamiento.	112
Tabla 34. Resistencia Media de Dosificación.....	113
Tabla 35. Requerimientos de agua de mezclado y contenido de aire.	113
Tabla 36. Relación Agua - Cemento.	114
Tabla 37. Volumen de agregado grueso.	114
Tabla 38. Datos de agregado fino y agregado grueso.	115

Tabla 39. Datos del cemento.	115
Tabla 40. Datos del concreto a Diseñar.	116
Tabla 41. Proporciones de mezcla en peso por volumen de concreto.	116
Tabla 42. Dosificación de mezcla en peso por kilogramo de cemento.	116
Tabla 43. T1: Dosificación de mezcla con incorporación de 25% de RM.	117
Tabla 44. T2: Dosificación de mezcla con incorporación de 50% de RM.	117
Tabla 45. T3: Dosificación de mezcla con incorporación de 75% de RM.	117
Tabla 46. T4: Dosificación de mezcla con incorporación de 100% de RM.	118
Tabla 47. Número de Probetas para Ensayo a Resistencia a Compresión.	118
Tabla 48. Cantidad de mezcla por tanda con porcentaje de desperdicio de 25%.	119
Tabla 49. Dosificación de mezcla para slump de 3" en tratamiento T1: 25% RM.	126
Tabla 50. Dosificación de mezcla para slump de 3" en tratamiento T2: 50% RM.	127
Tabla 51. Dosificación de mezcla para slump de 3" en tratamiento T3: 75% RM.	127
Tabla 52. Dosificación de mezcla para slump de 3" en tratamiento T4: 100% RM.	127
Tabla 53. Control semanal de temperatura en curado de probetas.	132
Tabla 54. Cuadro de Número de probetas para ensayo a compresión.	135
Tabla 55. Cuadro de resistencia a compresión de probetas del T1: 25%RM.	144
Tabla 56. Cuadro de esfuerzo de compresión de probetas del T2: 50%RM.	145
Tabla 57. Cuadro de esfuerzo de compresión de probetas del T3: 75%RM.	145
Tabla 58. Cuadro de esfuerzo de compresión de probetas del T4: 100%RM.	146
Tabla 59. Resumen de ensayo de resistencia a la compresión de probetas (F'c).	146
Tabla 60. Resistencia a la compresión alcanzada C/T según al F'c mínimo de diseño en probetas S/T.	148
Tabla 61. Dimensiones mínimas para bloques de concreto.	152
Tabla 62. Dimensiones del Bloque de Concreto Tipo Ensamblable.	153
Tabla 63. Resultados de esfuerzos de compresión de cada tratamiento.	154
Tabla 64. T2: Dosificación de mezcla con incorporación de 50% de RM.	154
Tabla 65. T2: Mezcla con incorporación de 50% de RM incluido desperdicio de 10%.	155
Tabla 66. T0: Dosificación de mezcla patrón sin RM.	155
Tabla 67. Mezcla con 0% de RM incluido desperdicio de 10% para un molde.	155
Tabla 68. Número de bloques de concreto tipo ensamblable para cada ensayo correspondiente.	156
Tabla 69. Dosificación de mezcla para slump de 3" en tratamiento T0: 0% RM.	161
Tabla 70. Dosificación de mezcla para slump de 3" en tratamiento T2: 50% RM.	161
Tabla 71. Control semanal de temperatura en curado de bloques de concreto ensamblable del T0 0 % RM.	166
Tabla 72. Control semanal de temperatura curado de bloques de concreto ensamblable del T2 50 % RM.	167
Tabla 73. Cuadro de Número de Bloques para ensayo a compresión.	169
Tabla 74. Cuadro de esfuerzo de compresión de BCE (patrón) del T0: 0%RM.	178
Tabla 75. Cuadro de esfuerzo de compresión de BCE del T2: 50%RM.	178
Tabla 76. Resumen de ensayo a Resistencia a compresión de BCE.	179
Tabla 77. Resistencia final de los BCE.	179

Tabla 78. Cuadro de número de BCE para ensayo de % de absorción.	182
Tabla 79. Cuadro de peso seco (Wd) de cada BCE.	188
Tabla 80. Cuadro de peso saturado (Ws) de cada BCE.	189
Tabla 81. Cuadro de resultado de Absorción (%) de cada BCE.	189
Tabla 82. Promedio de porcentaje de Absorción de BCE patrón y BCE de T2.	190
Tabla 83. Resultado de Densidad de BCE de T0: 0%RM.	190
Tabla 84. Resultado de Densidad de BCE de T2: 50%RM.	191
Tabla 85. Cuadro de datos de resistencia a compresión en probetas.	191
Tabla 86. Resumen de varianza de un factor (compresión).	192
Tabla 87. Análisis de varianza (ANOVA - Compresión)	192
Tabla 88. Comparación de media. Según Test de Tukey (Compresión).	192
Tabla 89. Cuadro de datos de resistencia a compresión de BCE.	193
Tabla 90. Máxima, mínima y promedio de resistencia y a la compresión de BCE.	194
Tabla 91. Condición de Resistencia a la compresión promedio de BCE (f'b).	194
Tabla 92. Condición de porcentaje de Absorción de BCE patrón y BCE de T2.	196
Tabla 93. Clasificación de bloques de concreto según sus agregados.	197
Tabla 94. Clasificación según a su Densidad de BCE T0:0%RM y BCE de T2:50%RM.	197
Tabla 95. Comparación de resistencias a compresión en distintas unidades.	199
Tabla 96. Costo de la unidad de Bloque de Concreto Tipo Ensamblable.	200
Tabla 97. Características generales de las diferentes unidades de albañilería.	200
Tabla 98. Análisis de Costos Unitarios de 1 m ² de Muro de Ladrillo de Arcilla Tipo IV 18 Huecos de Soga C:A 1:4 X 1.5 cm.	201
Tabla 99. Análisis de Costos Unitarios de Tarrajeo en Interiores Acabado de Cemento - Arena.	202
Tabla 100. Análisis de Costos Unitarios de 1 m ² de Muro de Bloque de Concreto Convencional C:A 1:4 X 1.5cm.	202
Tabla 101. Análisis de Costos Unitarios de 1 m ² de Muro de Bloque de Concreto Tipo Ensamblable.	203

Índice de Fotografías

Fotografía 1. Presentación del Cemento Andino Tipo I	60
Fotografía 2. Seleccionando la piedra de 3/8"	63
Fotografía 3. Cuarteo del agregado fino (arena gruesa).	64
Fotografía 4. Cuarteo de la piedra de 3/8"	64
Fotografía 5. Peso de recipiente.....	65
Fotografía 6. Peso del recipiente más muestra de agregado fino parcialmente seca.	65
Fotografía 7. Agregado fino y grueso introducidas en el horno.	66
Fotografía 8. Peso seco de la piedra de 3/8"	67
Fotografía 9. Resultados del Contenido de Humedad del agregado grueso.	69
Fotografía 10. Peso de la piedra de 3/8" húmedo.	69
Fotografía 11. Muestras introducidas al horno.	70
Fotografía 12. Peso seco del agregado fino.	70
Fotografía 13. Peso seco del agregado grueso.....	71
Fotografía 14. Armado de las mallas para agregado fino.....	71
Fotografía 15. Vibrado en la tamizadora del agregado grueso.....	72
Fotografía 16. Peso retenido del agregado fino en cada malla.	72
Fotografía 17. Peso retenido del agregado grueso.	72
Fotografía 18. Pesado del molde vacío.	79
Fotografía 19. Introduciendo al recipiente la arena gruesa en forma helicoidal.....	80
Fotografía 20. Enrasando el agregado fino en la superficie del recipiente.	80
Fotografía 21. Compactando el agregado fino.	81
Fotografía 22. Peso compactado del agregado fino.	81
Fotografía 23. Introduciendo el agregado grueso para el peso suelto.....	82
Fotografía 24. Enrasando el agregado grueso en la superficie del recipiente.	82
Fotografía 25. Introduciendo el agregado grueso en forma helicoidal al recipiente.....	83
Fotografía 26. Peso compactado del agregado grueso.	83
Fotografía 27. Agregado fino sumergido en agua.	87
Fotografía 28. Desecando la superficie de la muestra.	87
Fotografía 29. Prueba de cono para la muestra.	88
Fotografía 30. Desmoronamiento de la muestra.	88
Fotografía 31. Introduciendo la muestra y agua al picnómetro.....	89
Fotografía 32. Eliminación del aire en el picnómetro.....	89
Fotografía 33. Peso de la muestra + picnómetro y agua.....	90
Fotografía 34. Extracción de muestra del picnómetro para introducir al horno.....	90
Fotografía 35. Peso del picnómetro más el agua.	91
Fotografía 36. Pesado del recipiente.....	91
Fotografía 37. Peso de la muestra húmeda sin incluir el peso del recipiente.....	92
Fotografía 38. Agregado grueso sumergido en agua.	92
Fotografía 39. Secando la superficie de los agregados.....	93
Fotografía 40. Pesando la canastilla.	93
Fotografía 41. Agregado sumergido en la canastilla y agua.....	94

Fotografía 42. Introduciendo la muestra al horno.....	94
Fotografía 43. Peso del agregado grueso seco.....	95
Fotografía 44. Pesado del recipiente.....	98
Fotografía 45. Pesado del recipiente más muestra húmeda.....	99
Fotografía 46. Muestras introducidas al horno.....	99
Fotografía 47. Muestras extraídas del horno.....	100
Fotografía 48. Pesado de la muestra seca para la granulometría.....	101
Fotografía 49. Muestra introducida en las mallas.....	102
Fotografía 50. Muestras retenidas en cada malla.....	102
Fotografía 51. Prueba de cono para relave minero.....	109
Fotografía 52. Reposo del relave minero luego de eliminado el aire.....	109
Fotografía 53. Peso de picnómetro + agua.....	110
Fotografía 54. Peso del Cemento Portland Andino Tipo I.....	119
Fotografía 55. Peso del Agregado Grueso (piedra de 3/8").....	120
Fotografía 56. Peso del Agregado Fino del tratamiento T1:25RM%.....	120
Fotografía 57. Peso del Relave Minero del tratamiento T1:25RM%.....	121
Fotografía 58. Peso del Agregado Fino del tratamiento T2: 50RM%.....	121
Fotografía 59. Peso del Relave Minero del tratamiento T2: 50%RM.....	122
Fotografía 60. Peso del Agregado Fino del tratamiento T3:75%RM.....	122
Fotografía 61. Peso del Relave Minero del tratamiento T3:75%RM.....	123
Fotografía 62. Peso del Agua potable.....	123
Fotografía 63. Pre mezcla de Cemento, Relave Minero y agregados.....	124
Fotografía 64. Mezcla del concreto.....	124
Fotografía 65. Apisonamiento en el cono con la varilla de 5/8".....	125
Fotografía 66. Ensayo con el Cono de Abrams según Norma.....	125
Fotografía 67. Asentamiento adecuado para un slump de 3".....	126
Fotografía 68. Habilitación de moldes para las probetas.....	128
Fotografía 69. Llenado y compactado del molde en tres capas.....	128
Fotografía 70. Culminación de la elaboración de las probetas.....	129
Fotografía 71. Colocado de Probetas en una superficie plana.....	129
Fotografía 72. Rotulado de probetas de T1: 25%RM.....	130
Fotografía 73. Rotulado de probetas de T2: 50%RM.....	130
Fotografía 74. Peso Inicial de probetas antes de ser sumergidas.....	131
Fotografía 75. Curado de probetas cilíndricas en la tina de curado.....	131
Fotografía 76. Curado de probetas cilíndricas en la tina de curado.....	132
Fotografía 77. Control de temperatura inicial del agua de curado.....	133
Fotografía 78. Control de temperatura final del agua de curado.....	133
Fotografía 79. Nomenclatura de las probetas.....	134
Fotografía 80. Maquina compresora.....	135
Fotografía 81. Almohadillas y anillos de retención para ensayo.....	136
Fotografía 82. Extracción de probetas, 24 horas antes del ensayo.....	137
Fotografía 83. Probetas para ensayo de compresión.....	137
Fotografía 84. Medida de probetas para ensayo de compresión.....	138

Fotografía 85. Peso final de probetas para ensayo de compresión.....	138
Fotografía 86. Colocado de muestra para ensayo de resistencia a compresión.	139
Fotografía 87. Ensayo de resistencia a compresión.....	139
Fotografía 88. Falla de probetas sometidas a Ensayo de compresión.	140
Fotografía 89. Falla cónico y cortante de probetas.....	141
Fotografía 90. Falla cortante de probetas.....	141
Fotografía 91. Falla cónico y cortante de probetas.....	142
Fotografía 92. Probetas sometidas al ensayo de resistencia a compresión.....	142
Fotografía 93. Lectura registrada de Resistencia del concreto del T1.....	143
Fotografía 94. Lectura registrada de Resistencia del concreto del T2.....	143
Fotografía 95. Lectura registrada de Resistencia del concreto del T3.....	143
Fotografía 96. Lectura registrada de Resistencia del concreto del T4.....	144
Fotografía 97. Proceso de fabricación de molde.	150
Fotografía 98. Proceso final del molde.	151
Fotografía 99. Pesos de arena gruesa, piedra de 3/8", cemento y agua para el T0 0% RM.	157
Fotografía 100. Pesos de arena gruesa, relave minero, piedra de 3/8", cemento y agua para el T2 50% RM.....	158
Fotografía 101. Disposición de arena gruesa y piedra de 3/8" en la bandeja.....	158
Fotografía 102. Mezcla del concreto para el T0 0% RM.....	159
Fotografía 103. Disposición de arena gruesa, piedra de 3/8" y relave minero en la bandeja.....	159
Fotografía 104. Mezcla del concreto para el T2 50% RM.....	160
Fotografía 105. Ensayo de cono de Abrams para el T0 0% RM.....	160
Fotografía 106. Ensayo de cono de Abrams para el T2 50% RM.....	161
Fotografía 107. Cubriendo el molde de petróleo para su armado, para su respectivo armado.	162
Fotografía 108. Moldeado del bloque en la 3 capa, con su respectivo chuseado.	162
Fotografía 109. Vibrado manual del bloque.....	163
Fotografía 110. Culminación de la elaboración de los bloques.	163
Fotografía 111. Rotulado de bloques de concreto ensamblable del T0 0% RM para el ensayo de resistencia a compresión.....	164
Fotografía 112. Rotulado de bloques de concreto ensamblable del T2 50% RM para el ensayo de absorción.....	164
Fotografía 113. Pesado inicial del bloque de concreto ensamblable.....	165
Fotografía 114. Curado de bloques de concreto en la tina de curado.	166
Fotografía 115. Control de temperatura del curado de bloques de concreto ensamblable.	167
Fotografía 116. Nomenclatura de los bloques de concreto patrón T0: 0%RM.	168
Fotografía 117. Nomenclatura de los bloques de concreto patrón T0: 50%RM.	169
Fotografía 118. Maquina compresora.....	170
Fotografía 119. Placas de acero de 3/4".....	171
Fotografía 120. Extracción de la tina de curado del BCE, 24 horas antes del ensayo. ..	171

Fotografía 121. BCE para ensayo de compresión.....	172
Fotografía 122. Medida del BCE para ensayo de compresión.	172
Fotografía 123. Peso final de probetas para ensayo de compresión.....	173
Fotografía 124. Colocado y ensayo de muestra para ensayo de resistencia a compresión.	173
Fotografía 125. Ensayo de resistencia a compresión de BCE.....	174
Fotografía 126. Falla de probetas sometidas a Ensayo de compresión.	174
Fotografía 127. Falla columnar de BCE.	175
Fotografía 128. Falla por cono y separación de BCE.	175
Fotografía 129. BCE sometidas al ensayo de resistencia a compresión.	176
Fotografía 130. BCE sometida al ensayo de resistencia a compresión.....	176
Fotografía 131. Lectura registrada de Resistencia del Bloque del T0: 0%RM.....	177
Fotografía 132. Lectura registrada de Resistencia del Bloque del T2: 50%RM.....	177
Fotografía 133. Nomenclatura de los BCE patrón y con tratamiento.....	181
Fotografía 134. Horno a temperatura de 100°C a 115°C.....	182
Fotografía 135. Balanza calibrada.....	183
Fotografía 136. Tina con agua a temperatura registrada.	183
Fotografía 137. Extracción de BCE de la tina de curado.....	184
Fotografía 138. Secado de BCE en el horno por 24 horas.....	184
Fotografía 139. Extracción del BCE pasado las 24 horas.	185
Fotografía 140. Peso seco (Wd) del BCE patrón.....	185
Fotografía 141. Peso seco (Wd) del BCE con T2: 50%RM.	186
Fotografía 142. Introducción al agua del BCE por 24 horas.....	186
Fotografía 143. Absorción del agua superficial del BCE con un paño.....	187
Fotografía 144. Peso húmedo (Ws) del BCE patrón.	187
Fotografía 145. Peso húmedo (Ws) del BCE con T2: 50%RM.....	188

Índice de Figuras

Figura 1. Etapas del proceso de ejecución de la presente investigación	59
Figura 2. Análisis granulométrico del agregado fino. Elaboración propia	75
Figura 3. Análisis granulométrico del agregado grueso. Elaboración propia	78
Figura 4. Ubicación de Relavera N° 09 Acchila. Elaboración propia.	97
Figura 5. Ubicación de zona para la extracción de muestra. Elaboración propia.....	97
Figura 6. Análisis granulométrico del Relave minero. Elaboración propia.	105
Figura 7. Tipos de fallas según NTP 339.034	140
Figura 8. Gráfico del comportamiento de resistencia a compresión promedio en relación al % de incorporación de RM.	147
Figura 9. Gráfico comparativo de resistencia a compresión promedio de probeta C/T en relación a resistencia de diseño S/T.	148
Figura 10. Dimensiones en planta del molde. Elaboración propia.	149
Figura 11. Dimensiones en elevación del molde. Elaboración propia.	150
Figura 12. Vista en planta del bloque de concreto ensamblable. Elaboración propia.	152
Figura 13. Vista en elevación del bloque de concreto ensamblable. Elaboración propia.	152
Figura 14. Bloque de concreto Ensamblable. Elaboración propia.....	153
Figura 15. Comportamiento de resistencia a compresión del T0: 0%RM y T2: 50%RM del BCE.	180
Figura 16. Comparación de resistencia a compresión promedio del BCE T0: 0%RM y BCE T2: 50%RM.....	180
Figura 17. Comparación del comportamiento de resistencia a compresión del BCE T0: 0%RM y BCE T2: 50%RM.....	195
Figura 18. Comparación del comportamiento de la absorción del BCE T0: 0%RM y BCE T2: 50%RM.....	196

Fotografías del Anexo

Fotografía A 1. Visita y adquisición del relave minero de la relavera N°09 Acchilla de la Unidad Julcani – Ccochaccasa - C.I.A. Buenaventura.	215
Fotografía A 2. Reconocimiento de condición de viviendas de la comunidad de Mimosa – Ccochaccasa – Julcani.	215
Fotografía A 3. Vista general y reconocimiento de condición de viviendas de la comunidad de Mimosa – Ccochaccasa - Julcani.	216
Fotografía A 4. Animales alrededor de la relavera N°09 Acchilla de la Unidad Julcani – Ccochaccasa - C.I.A. Buenaventura.	216
Fotografía A 5. Obtención del agregado fino y agregado grueso del Rio Ichu, cantera Callqui Chico – Ascensión - Huancavelica.	216
Fotografía A 6. Tamizado del agregado grueso (piedra de 3/8) en el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica.	217
Fotografía A 7. Ensayo físico de los agregados y del relave minero en el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica.	217
Fotografía A 8. Proceso de mezclado, curado y rotura de las probetas de concreto con los diferentes tratamientos con incorporación del relave minero.	218
Fotografía A 9. Proceso de mezclado, curado y rotura de los bloques de concreto tipo ensamblable.	218

Resumen

La presente investigación titulada “Utilización del relave minero para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblable”, se realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica, de la Universidad Nacional de Huancavelica, con el objetivo de determinar la incidencia del uso del relave minero (**RM**) en bloques de concreto tipo ensamblable (**BCE**), como sustituto al agregado fino en diferentes proporciones; de la cual se determinó la dosificación óptima con relave minero para dicho bloque, en la que se evaluó los efectos en sus propiedades (resistencia a la compresión, absorción y densidad).

Para la ejecución de la tesis se obtuvo el relave minero procedente de la relavera N°09 Acchilla de la Unidad Julcani – Ccochaccasa - C.I.A. Buenaventura, y agregados de la cantera río Ichu – Huancavelica, a la cual se realizaron sus respectivos ensayos físicos.

Como primera etapa de la investigación, la metodología que se usó, es realizar tratamientos (**T**) incorporando el **RM** como sustituto al agregado fino en porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100% en la dosificación de mezcla de concreto para un $f'c=150$ kg/cm², analizándolos en 7 probetas cilíndricas por cada tratamiento, a las cuales se realizaron el ensayo de resistencia a la compresión (**f'c**) a los 28 días de curado; una vez obtenidos los datos de los ensayos en laboratorio, estos fueron procesados, de la cual se obtuvo como mayor resistencia a la compresión un $f'c=144.26$ kg/cm² la cual corresponde al **T2: 50%RM**; posteriormente esta dosificación se usó en la elaboración del **BCE**.

Como segunda etapa se procedió elaborar 10 **BCE** con la dosificación elegida del **T2: 50%RM** y 10 **BCE** con la dosificación estándar **T0: 0%RM** (patrón), de las cuales 7 **BCE** se destinaron para el ensayo de resistencia a la compresión (**f'b**) a los 28 días de curado y 3 **BCE** para el ensayo de absorción (%) y densidad.

El resultado de resistencia a la compresión (**f'b**) del **BCE** con **T2: 50%RM** es de 79.43 kg/cm² estando dentro de los datos mínimos requeridos que establece la NTP 399.602; así mismo el porcentaje de absorción del **BCE** con **T2: 50%RM** es de 11.537% la cual cumple con el **RNE E.070**; y finalmente la densidad del **BCE** con **T2** es de 2091.51 kg/m³.

Palabras Claves: Relave Minero, Bloque de Concreto Tipo Ensamblable, Resistencia a Compresión, Absorción y Densidad.

Abstract

The present investigation entitled "Utilization of the mining tailings for the production of assemblable concrete blocks", was carried out in the Material and Concrete Testing Laboratory of the Professional School of Civil Engineering - Huancavelica, of the National University of Huancavelica, with the objective of determining the incidence of the use of the mining tailings (**RM**) in assemblable concrete blocks (**BCE**), as a substitute for the fine aggregate in different proportions; of which the optimum dosage was determined with mine tailings for said block, in which the effects on its properties were evaluated (resistance to compression, absorption and density).

For the execution of the thesis, the mine tailings from the tailings deposit N° 09 Acchilla of the Julcani - Ccochaccasa - C.I.A. Buenaventura, and aggregates of the Rio Ichu - Huancavelica quarry, to which their respective physical tests were carried out

As a first stage of the investigation, the methodology used is to perform treatments (**T**) incorporating the **RM** as a substitute to the fine aggregate in percentages of 25%, 50%, 75% and 100% in the mixture dosage of concrete for a resistance of $f'c = 150 \text{ kg / cm}^2$, analyzing them in 7 cylindrical specimens for each treatment, to which the compression resistance test ($f'c$) was carried out after 28 days; once obtained the data of the laboratory tests, these were processed from which was obtained as greater resistance to compression a $f'c = 144.26 \text{ kg / cm}^2$ which corresponds to T2: 50% RM; later this dosage was used in the production of BCE.

The second step was to elaborate 10 BCE with the chosen dosage of T2: 50% RM and 10 BCE with the standard dosage T0: 0% RM (standard), of which 7 blocks were destined for the compression resistance test ($f'b$) at 28 days and 3 for the absorption test (%) and density. The result of compressive strength ($f'b$) of BCE with T2: 50% RM is 79.43 kg / cm^2 being within the minimum required data established by NTP 399.602; likewise, the percentage of absorption of the BCE with T2: 50% RM is 11.537% which complies with the national regulation of buildings E.070 and finally the BCE density with T2 is 2091.51 kg / m^3 .

Keywords: Mining tailings, concrete block assemblable type, Compression Resistance, Absorption and Density.

Introducción

En estos últimos años los costos de construcción de vivienda con materiales convencionales (agregados, cemento, ladrillos y acero), son altos con tendencia a incrementarse, lo que origina que la mayoría de la población rural no puedan acceder a ella, por lo que esta opta por construir viviendas a base de tierra (adobe y tapia) la cual no brinda seguridad y confort.

Sin embargo, en la actualidad existe la tendencia de la utilización de nuevos materiales que están en desuso, con la finalidad de incrementar diversos materiales para la construcción de viviendas. De ahí nace la idea de implementar al relave minero, materia en desuso y/o residuos de la operación minera, que se encuentra generalmente en grandes cantidades de depósitos, ocasionando problemas ambientales a nivel de los acuíferos subterráneos y superficiales, provocando enfermedades y problemas en la salud de los seres vivos. Es así que se pretende dar un valor agregado al relave minero utilizándolo como agregado en la mezcla de concreto

La investigación tiene como objetivo principal determinar la incidencia del relave minero en el bloque de concreto tipo ensamblable, para lo cual el estudio ha comprendido en reemplazar el agregado fino por relave minero en distintos porcentajes en la mezcla de concreto, para una dosificación de $f'c=150$ kg/cm², y así elaborar una nueva unidad de albañilería a la cual se le desarrollaron ensayos físicos y mecánicos.

Con este estudio se busca beneficiar a la construcción de viviendas de las poblaciones aledañas a los centros mineros, brindándoles una unidad de albañilería de fácil manejo el cual permitirá reducir el uso de morteros para su asentado, además de no requerir mano de obra calificada y así reducir el costo de la construcción; por ende la finalidad de este proyecto es aprovechar el relave que se encuentra en desuso para contribuir con la mitigación de estos desechos, disminuir la contaminación ambiental que produce este material en su área de influencia y así mismo reducir la explotación de los ríos.

Capítulo I: Problema

1.1. Planteamiento de Problema

En Huancavelica, uno de los mayores problemas es la amenaza del derrame de relaves causadas por industrias mineras, las cuales producen un gran impacto negativo ambiental; la muestra más representativa del daño minero en Huancavelica, es el derrame de la Mina Caudalosa Chica S.A. en junio del año 2010, el cual contaminó el 80% de los ríos Opamayo, Totorá, Huachocolpa, Lircay, Urubamaba, Cachi, Escalera y finalmente el río Mantaro afectando a más de 10 comunidades de la región. Según Ministerio de la Salud.

Los ríos afectados por el derrame de relaves tóxicos fueron utilizados por la población como fuentes de agua ya que el 40% de las localidades de esa zona carecen de sistema de agua potable; generando así problemas en su salud. Así mismo este hecho ha dañado a la agricultura y ganadería la cual es soporte económico de estas localidades. Según Pinto, (2010)

El desconocimiento de la utilización del relave minero, ocasiona la saturación de estos en los depósitos de relaves y como consecuencia se genera lo mencionado líneas arriba.

Si bien es cierto, en Huancavelica las viviendas aledañas a los Centros Mineros y campamentos de estos, son construidas con materiales de su entorno, por lo que la mayoría es de material rústico, lo cual no brinda una mejor comodidad, reduce el espacio de confort, así como también son vulnerables a la erosión por el agua y al sismo por su naturaleza mecánica del material. Mientras tanto, si se opta por viviendas de material noble utilizando materiales convencionales se generan altos costos por el precio de los materiales de construcción y mano de obra calificada para su ejecución.

Por otro lado, en el mundo de la construcción, a lo largo del tiempo el ser humano ha modificado su entorno adaptándolo a las necesidades de sus construcciones, utilizando diferentes tipos de materias primas para elaborar nuevos materiales que benefician a su construcción, lo que debido a su proceso de elaboración generan contaminación (por la quema de arcilla para la obtención del ladrillo artesanal, etc.).

De igual manera la explotación insostenible de los ríos para obtener agregados modifica el cauce lo que aumenta la frecuencia e intensidad de las inundaciones y reducen los niveles freáticos; sumada a la abundante disposición de residuos mineros crea la necesidad de proponer nuevas alternativas de construcción que difieran de lo convencional.

Es así que, la incorporación de nuevas unidades de albañilería a base de materiales que beneficien el ambiente, es una de las inquietudes para el sector de la construcción, lo que genera la búsqueda de insumos que se encuentren a modo de desecho para posteriormente utilizarlo en la elaboración de estas unidades.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera el uso del relave minero incidirá en bloques de concreto tipo ensamblable?

1.2.2. Problemas Específicos

- ✓ ¿Qué proporción de relave minero es óptima en la dosificación de mezcla para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblable?
- ✓ ¿Cómo incidirá el relave minero en las propiedades de bloques de concreto tipo ensamblable?

1.3. Objetivo

1.3.1. Objetivo General

Determinar la incidencia del uso del relave minero en bloques de concreto tipo ensamblable.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ✓ Determinar la proporción de relave minero óptima en la dosificación de mezcla para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblable.
- ✓ Determinar la incidencia del relave minero en las propiedades de bloques de concreto tipo ensamblable.

1.4. Justificación

En la actualidad la industria de la construcción busca innovar los materiales convencionales con la reutilización de diversos desechos, para así evitar más contaminación al medio ambiente y darle un valor agregado que beneficie tanto a la población como a los que generan estos desechos. Uno de los desechos que genera mayor contaminación es el relave minero debido a la gran disposición y mal manejo de estos, la cual conlleva a reutilizarlos como un material de construcción lo que beneficiará a las industrias mineras en el control de estos desechos y al sector constructivo implementando nuevos materiales.

La búsqueda de nuevos materiales que beneficien al medio ambiente y la diversificación de materiales para el sector de la construcción, hace la razón de reutilizar desechos mineros para generar materiales de construcción que puedan ser útiles en la edificación de viviendas económicas aledañas a los centros mineros, así como también para la utilización en los campamentos mineros.

Por lo tanto, se pretende elaborar un bloque de concreto tipo ensamblable con la sustitución del agregado fino por relave minero, con la finalidad de incorporar una unidad de albañilería de fácil manejo en la construcción, reduciendo el uso de morteros para su asentado entre bloques, además de no requerir mano de obra calificada. Este material es ideal para la construcción de viviendas de bajo coste, debido a que no necesitan de soportes estructurales, la cual beneficiara a los pobladores cercanos de los centros mineros de Huancavelica reduciendo los costos de construcción de sus viviendas.

Además de proporcionar bondades en la construcción, este material permitirá la reutilización de desechos mineros, el cual reducirá la contaminación ambiental, ya que estos se encuentran en la intemperie del ecosistema, generando malestares en la salud de los seres vivos; permitiendo así reducir el agotamiento de los recursos naturales (agregados).

Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes

A Nivel Internacional:

Luna Y Pinedo (2011), realizaron la investigación *“Estudio de la factibilidad técnica del diseño de bloques de concreto sustituyendo el agregado fino por aliven”*. Donde tuvieron como finalidad encontrar un material efectivo y de bajo impacto al medio ambiente lo cual es el aliven como sustituto de agregado fino para la elaboración de bloques de concreto. En el que concluyen con lo siguiente:

- ✓ los bloques elaborados con 100% de aliven cumplían con los principales parámetros que establece la norma como es la resistencia a la compresión y absorción máxima.
- ✓ El método utilizado para la fabricación de los bloques fue el Vibro – Compactado, debido a que es un proceso que garantiza la alta resistencia en los bloques. (Pag.60).

También Umara, Warid, Ahmad y Mirza (2016), realizaron el siguiente artículo científico *“Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete”*, donde su objetivo principal de este estudio fue evaluar el IOT (relave minero de hierro) como sustituto de la arena fina en el concreto en 25%, 50%, 75% y 100% con 0.5 de relación Agua–Cemento, así mismo se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, fisuración, ensayo de módulo de elasticidad y durabilidad sobre el concreto que contiene IOT (Pag.72); llegando así a las siguientes conclusiones:

- ✓ El concreto que contenía el 25% de IOT mostro consistentemente una resistencia a la compresión mayor al concreto de referencia, esto en todas las edades de 7, 14 y 28 días.
- ✓ La IOT se puede utilizar en el concreto como sustituto de la arena, lo que reduciría al mínimo los problemas ambientales, costo y el agotamiento de los recursos naturales. (Pag.79).

Cabe agregar García y Martínez (2013), realizaron el siguiente artículo científico *“Estudio De Factibilidad Bloques De Hormigón Con Agregado De Residuo Plástico”*

ABS". En lo cual tienen como objetivo medir la resistencia, peso y absorción, sustituyendo un porcentaje de 10,25 y 40% en volumen de agregado por plástico ABS triturado para la fabricación de bloques de concreto de 6 pulgadas. Obteniendo así las siguientes conclusiones:

- ✓ Sustituyendo en un 40% de agregado por plástico ABS, el peso del bloque reduce en 2 lb, pero la resistencia a la compresión disminuye un 0.39MPa.
- ✓ Sustituyendo en un 10% y 25%, supera al bloque convencional en resistencia a la compresión a los 7, 15 y 28 días, siendo ideales como mampostería estructural.

También Milicévic, Bjegovic y Siddique (2015), realizaron el siguiente artículo científico "*Experimental research of concrete floor blocks with crushed bricks and tiles aggregate*". En lo cual, el objetivo principal de este trabajo fue demostrar la posibilidad de fabricar bloques de concreto prefabricado con más del 50% de sustitución de agregados naturales con áridos reciclados de ladrillos de arcilla triturada y tejas. En la primera fase de la investigación se evaluaron las propiedades físico-mecánicas del concreto con agregado reciclado y en la segunda fase exploró las propiedades de bloques de concreto prefabricado las cuales determinaron sus propiedades geométricas, mecánicas, térmicas y acústicas. El documento muestra que es posible utilizar un 50% de agregado fino y un 75% de sustitución gruesa del agregado natural con ladrillo triturado y teja, la cual se obtuvo las siguientes propiedades:

- ✓ Con un 50% de fino y 75% de sustitución gruesa de agregado natural con ladrillo triturado y agregado de baldosas da como resultado una reducción de la resistencia a la compresión del hormigón en un 26%.
- ✓ La resistencia a la compresión de una mezcla con un 50% de finos y un 45% de agregado natural grueso sustituido por ladrillo triturado y agregado de baldosas fue 18% menos que la resistencia a la compresión del concreto normal sin agregado natural.

A Nivel Nacional:

Anicama (2010), realizó la investigación "*Estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicios*", el presente estudio incorporó al relave minero en mezclas de concreto

como objetivo de reciclar el relave minero y encontrarle usos sostenibles en las poblaciones cercanas a las operaciones mineras, en la metodología para el uso del relave minero como adición de puzolánico consistió en preparar mezclas de concreto con diferentes porcentajes de reemplazo de cemento por relave (10%, 15% y para algunos casos se reemplazó con 20% y 25% por relave), donde se evaluó la resistencia a la compresión a los 3, 7, 28 días, así como para los ensayos de tracción por compresión diametral y abrasión se realizaron a los 28 días; en efecto a sus experimentos se dice que las adiciones de relave en proporciones menores al 5% no afectara las características físicas principales de los concretos convencionales.

Por otro lado, Romero y Flores (2010), realizaron el artículo científico *“Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas”*, el presente estudio se basó en la obtención del agregado de construcción a partir de relaves mineros para posteriormente fabricar ladrillos y baldosas. Así mismo fijo una metodología para obtener un agregado para la construcción encapsulando los metales pesados con la mezcla de cemento ya que esta cuenta con silicio.

Cabe agregar que Suárez y Mujica (2016), realizaron la siguiente tesis *“Bloques de Concreto con Material Reciclable de Caucho para Obras de Edificación”*, esta investigación tuvo la finalidad de minimizar el impacto ambiental que generan los neumáticos luego de transcurrida su vida útil, surge como objetivo fundamental del presente trabajo de investigación, analizar la influencia de la adición del caucho granulado, proveniente de los neumáticos en desuso, como parte del agregado fino en la fabricación de bloques huecos de concreto, a través de ensayos destructivos y no destructivos. Los estudios de resistencia a la compresión realizados a los bloques, con un reemplazo progresivo (5%, 10%, 15%, 20% y 25%) del agregado fino por caucho granulado en volumen, ensayados a la edad de 7, 14 y 28 días, indican que la adición de caucho hasta en un 20% no presentan variaciones significativas al compararlos con el concreto tradicional.

A Nivel Local:

Finalmente, a nivel local Curo y Rashuamán (2015), realizó la siguiente investigación *“Diseño de mezcla de concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ adicionado relave minero de la*

relavera N°09-Acchilla-ccochaccasa, para tránsito ligero (método ACI), en el distrito de Lircay provincia de Angaraes-Huancavelica”, la tesis llegó a las siguientes conclusiones: (Pag.65)

- ✓ El resultado de la resistencia a compresión del diseño de mezcla patrón obtenido, utiliza en 1.00 M3 de concreto 7.306 bolsas de cemento, adquiriendo una resistencia a compresión a los 28 días, de 179.69 kg/cm² que equivale al 102.68%. Mientras adicionando relave minero en el diseño de mezcla obtenida, utiliza en 1.00 m³ de concreto 6.131 bolsa de cemento, adquiriendo una resistencia a compresión a los 28 días de 173.95 kg/cm² que equivale al 99.40%.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. La actividad minera en el Perú

La minería es una actividad extractiva que consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales obtenidos de la corteza terrestre, la cual, en muchos casos, implica la extracción física de grandes cantidades de materiales de la misma, para recuperar sólo pequeños volúmenes del producto deseado y así mismo generando grandes cantidades de desecho.

La minería es uno de los sectores más importantes de la economía peruana y representa normalmente más del 50% de las exportaciones.

Según Marchesi, Gaveglio y Salicetti (2013, pp. 3-4), la minería peruana tiene como principal ventaja competitiva la diversificación de sus minerales. La actividad minera ha sido uno de los principales detonantes del desarrollo de la economía peruana en la última década, gracias a la inversión producida en torno a ella, así como su aporte económico y social. Entre el 2003 y 2012, la inversión en minería ha crecido en más de 2,700%, al pasar de 305 millones de dólares a 8568 millones de dólares, según el banco central de reserva del Perú (BCRP).

A la vez, la actividad minera contribuye con el 14.7% del producto bruto interno (PBI), es responsable de entre el 10% y 16% de la recaudación, lidera las exportaciones y genera más de 210 mil empleos directos al año, con la

particularidad de que por cada puesto de trabajo que brinda, genera otros 9 en los diversos sectores de la economía.

A. Producción minera

Tabla 1. Producción minera a nivel Mundial

10 Productores Mineros del 2012 (en millones de dólares)		
Productor	Valor de Producción	Parte en %
China	168,958.00	25.8%
Australia	76,795.00	11.7%
chile	47,963.00	7.3%
Brasil	38,138.00	5.8%
Rusia	34,929.00	5.3%
Estados unidos	31,304.00	4.8%
Perú	27,063.00	4.1%
Sudáfrica	23,122.00	3.5%
India	22,778.00	3.5%
Canadá	19,741.00	3.0%
Suma total de otros productores	163,537.00	25.0%
Total	654,328.00	100.0%

Fuente: Industria Minera, Guía De Negocios en el Perú

✓ Producción minera, por principales productos:

El Ministerio de Energía y Minas explica que en el Perú se produce cobre, oro, plata, plomo, zinc, estaño, molibdeno, hierro, cadmio, mercurio, selenio, indio y otros metales, la cual el país se ubica como primer productor de zinc, estaño, plomo, y ocupa el segundo lugar en la producción de cobre, plata, molibdeno, mercurio, selenio, cadmio y roca fosfórica.

A continuación, se muestra la producción de los principales minerales en el Perú en la Tabla 2.

Tabla 2. Producción Minera por principales productos en el Perú

PRODUCCIÓN MINERA, POR PRINCIPALES PRODUCTOS				
METALES	Unidad de Medida	ENERO - JUNIO		
		2016	2017	Var. % 2017/2016
COBRE	(TMF)	1,122,137.64	1,175,092.65	4.72%
ORO	(Grs.f.)	77,138,433.28	72,512,509.76	-6.00%
ZINC	(TMF)	628,700.34	708,010.96	12.62%

PLATA	(Kg.f.)	2,170,733.00	2,156,480.67	-0.66%
PLOMO	(TMF)	154,870.68	151,699.84	-2.05%
HIERRO	(TMF)	4,183,677.86	4,582,549.06	9.53%
MOLIBDENO	(TMF)	12,288.33	12,742.54	3.70%
ESTAÑO	(TMF)	8,847.00	8,810.97	-0.41%
ARSENICO	(TMF)	10,698.45	10,234.13	-4.34%
MANGANESO	(TMF)	576.06	579.50	0.60%
BISMUTO	(TMF)	116.05	214.14	84.53%
TUNGSTENO	(TMF)	0.019	0.016	-19.58%

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

✓ **Producción por regiones en el Perú:**

Ministerio de Energía y Minas da a conocer que todas las regiones del Perú producen la mayoría de minerales con excepción del estaño y el hierro. El estaño es producido en Ica y Puno, mientras que el hierro, en Ica por la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A.

La producción minero metálica por regiones, en el mes de junio del año 2017, se puede observar en la siguiente Tabla 3:

Tabla 3. Producción Minera en los departamentos del Perú

PRODUCTO PRODUCIDO TOTAL EN EL MES DE JUNIO DEL 2017					
REGIONES	Toneladas (TMF)				
	Cobre	Oro	Plata	Plomo	Zinc
Ancash	43063.08	263805.56	75281.02	4062.10	45433.77
Apurímac	37309.42	243831.45	121.11		
Arequipa	40714.21	1745112.31	20262.25	1601.13	2204.31
Ayacucho	50.63	1071264.78	41760.62	464.56	4553.09
Cajamarca	2579.22	2589170.92	3687.97		
Cusco	26923.48	315505.19	3550.41	1.92	2.00
Huancavelica	1162.41	453.65	10902.54	1030.44	921.13
Huánuco	171.05		6647.86	1915.30	4556.60
Ica	3740.67	17976.05	12509.90	1514.90	12695.81
Junín	21583.24	61651.80	83900.45	4283.55	26061.72
La Libertad	103.99	3560485.12	4607.08	61.52	197.89
Lima	3048.24	27662.01	72638.65	4485.16	38581.17
Madre de Dios		1106074.47			
Moquegua	60004.11	74531.27	19045.15		
Pasco	4952.30	144903.00	64340.52	8150.24	18850.61

Puno	221.42	298807.19	22.00	169.77	
Tacna	11900.71	240486.16	4816.09		
Total	257528.19	11761720.91	424093.63	27740.59	154058.12

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Tabla 4. Producción minera en el Distrito de Ccochaccasa de la Provincia de Angaraes - Unidad Julcani

MINERA:	COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	
UNIDAD:	JULCANI	
REGIÓN:	HUANCAVELICA	
ETAPA:	CONCENTRACIÓN	
PROCESO:	FLOTACIÓN	
MINERAL	TOTAL - JUNIO 2017 (TN)	TOTAL ACUMULADO ENERO - JUNIO (TN)
PLOMO	183.228	1050.101
PLATA	6382.693	42673.873
ORO	453.566	3137.163
COBRE	16.555	120.102

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

B. Residuos generados por la actividad minera:

Según el Ministerio de Minería de Chile (2002, pp. 11- 12), los residuos que se generan a través de la actividad minera son:

✓ Residuos de extracción

En función de las características de los yacimientos, se hace necesario para su explotación remover grandes cantidades de material, el cual debe posteriormente ser reubicado en el entorno del yacimiento o planta de procesamiento.

✓ Residuos de lixiviación

En el proceso de lixiviación del mineral oxidado y sulfuros secundarios, se generan los residuos sólidos llamados rípios: En este proceso el mineral chancado, con un tamaño aproximado de un cuarto de pulgada, se dispone formando una pila a la cual se le hace pasar un fluido lixivante durante un período de tiempo definido, (ácido sulfúrico en el caso de minerales de cobre y cianuro en el caso del oro), el cual solubiliza el metal de interés contenido en la pila. Una vez extraído el metal valioso, el mineral "agotado" que queda recibe el nombre de rípio

de lixiviación o de cianuración. Estos residuos masivos mineros provenientes de las operaciones de extracción son considerados no peligrosos.

✓ **Residuos de flotación**

En el proceso de flotación en la etapa de concentración de los minerales, se producen los residuos llamados relaves, son residuos que están compuestos por una suspensión fina de sólidos (mezcla de 50% en peso de sólidos y 50% de agua). Los relaves son conducidos en forma de pulpa hacia los depósitos llamados tranque de relaves, los que están diseñados para permitir la decantación de los sólidos en suspensión y dependiendo de la faena, se puede recircular la fase líquida (aguas sobre nadantes) al proceso o descartarla, ya sea a través de evaporación, evapotranspiración, descarte a cursos de agua o infiltración.

✓ **Residuos de fundición**

Durante esta etapa de fundición y conversión de los concentrados de cobre los residuos producidos son las escorias, estos principalmente fijan el hierro y otros metales presentes en el concentrado, mediante la generación de compuestos estables con la sílice que se utiliza como fundente. Las escorias son retiradas desde los hornos y son dispuestas en vertederos.

C. Pasivos y activos mineros

✓ **Pasivos mineros:**

Son aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, abandonadas o inactivas a la fecha de vigencia de la Ley, que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.

Los pasivos ambientales mineros comprenden construcciones como socavones y/o labores mineras, botaderos y los respectivos relaves, construcciones que son abandonadas por centros mineros que dejaron

de operar desechos que van generando contaminación a nivel del medio ambiente como: Contaminación de aguas subterráneas y superficiales por la presencia de metales pesados en el medio físico, contaminación del suelo, además de generar daños al ecosistema de influencia, según Romero y Flores, (2010).

✓ **Activos mineros:**

Según Romero y Flores, (2010), los activos mineros vienen a ser los relaves de centros mineros en operación, sólo una de las minas en el Perú produce 25,000 toneladas diarias, lo que hace al mes 750 mil toneladas y al año 9 millones de toneladas que pasan a formar parte del relave minero de minas en operación. Este residuo sólido minero proviene únicamente de una sola mina, como existen más de 150 minas en operación, Actualmente, esta cifra se eleva a 900 millones de toneladas de residuos mineros en forma anual y creciente.

2.2.2. Relave minero

A. Definición

Los relaves son roca finamente molida desde la cual los valores minerales deseados han sido extraídos mediante el uso de reactivos químicos. Este residuo toma la forma de una solución acuosa compuesta al menos en un 50% de agua y puede ser transportada a través de cañerías.

Según Tchernitchin y Herrera, (2006, p.23), el relave son residuos que se producen a través del proceso para la obtención de los minerales la cual es de naturaleza polimetálico con una cantidad mínima de metales pesados. La composición mineral de estos sólidos sedimentados es muy variada y depende de las características del mineral y de los procesos a que ha sido sometido.

A decir de Romero y Flores, (2010, p.76). Los relaves minerales son “Residuos No Valiosos provenientes de la minería y el procesamiento de mineral. Como el material es mayormente fino y húmedo, debe ser almacenado en botaderos de residuos industriales”.

B. Origen del Relave

Según Ministerio de Energía y Minas del Perú, (1995, p.8), el proceso para la obtención de minerales y desechos mineros comienza con el chancado del mineral proveniente de la mina hasta tamaños de partículas generalmente en el rango de centímetros o milímetros. Luego es transportado al proceso de la molienda reduciendo al mineral a tamaños menores a un milímetro, en grandes tambores rotatorios clasificados como molinos de bolas, molinos de varillas y molinos semi-autógenos. Se agrega agua al mineral molido y el material permanece en forma de lodo (pulpa) a través del resto del proceso de extracción. El siguiente paso es llamado comúnmente flotación la cual opera sobre el principio de que partículas individuales que contienen el mineral que se desea extraer son hechas selectivamente, a pequeñas burbujas de aire que se adhieren a estas partículas y las elevan a la superficie de un tanque agitado, las espumas que contienen estas partículas valiosas son retiradas de la superficie, procesadas, y secadas para transformarse en concentrado, este producto final de la concentradora, es embarcado a la fundición para su refinación. Específicamente en el proceso de concentración y flotación se producen los residuos llamados relaves, estas partículas de desecho quedan después de recuperar algo del agua del proceso en tanques apropiados, conocidos como espesadores, luego los relaves son bombeados al lugar destinado para su almacenamiento.

C. Tipos de Depósitos de Relave Minero

Según el Ministerio de Minería de Chile, (2007, p.165), existen diferentes tipos de depósitos de relave minero las cuales se detallan:

- ✓ **Depósitos de relaves en pasta:** depósito de relaves que presentan una situación intermedia entre el relave espesado y el relave filtrado, corresponde a una mezcla de relaves sólidos y agua, entre 10 y 25% de agua, que contiene partículas finas menores de 20 μ en una concentración en peso superior al 15%, muy similar a una pulpa de alta densidad. Su deposición se efectúa en forma similar al relave

filtrado, sin necesidad de compactación, poseyendo consistencia coloidal.

- ✓ **Depósitos de relaves espesados:** es el depósito de relave donde, antes de ser depositados son sometidos a un proceso de sedimentación, mediante espesadores, eliminándole una parte importante del agua contenida. El depósito de relaves espesados deberá ser construido de tal forma que se impida que el relave fluya a otras áreas distintas a las del emplazamiento determinado y contar con un sistema de piscinas de recuperación del agua remanente.
- ✓ **Relaves filtrados:** depósito de relaves donde, antes de ser depositados, son sometidos a un proceso de filtración, mediante equipos especiales de filtros, donde se asegure que la humedad sea menor a un 20%. Deberá asegurarse que el relave así depositado no fluya a otras áreas distintas a las del emplazamiento determinado.

D. Características Químicas del Relave Minero

De acuerdo al Ministerio de Energía y Minas del Perú, (1995 pp. 13-18). Las características químicas del relave pueden variar ampliamente de un yacimiento a otro, ya que a lo largo de la vida de una mina puede explotar varios depósitos cada uno con propiedades geoquímicas diferentes, ocasionando muchas variaciones en las características químicas de los relaves producidos; se considera como características generales a lo siguiente:

✓ **Efluentes Líquidos de Flotación**

Los residuos de reactivos utilizados en flotación acompañan tanto a los relaves sólidos como a los líquidos descargados. Los reactivos de flotación pueden ser cal, ditiofosfatos, xantatos, cromatos, sulfitos, sulfato de cobre, sulfato de zinc, ácidos grasos, alcoholes, aceites, cianuro y cloruro, entre otros, dependiendo del requerimiento metalúrgico específico de cada operación.

✓ Efluentes Cianurados

Como uno de los pocos componentes conocidos que disuelven al oro y la plata, el cianuro de sodio es usado como lixiviante en la mayoría de las operaciones para beneficiar oro y plata, muchas veces como un reactivo en los procesos de flotación.

La mayoría de las minas de flotación en el Perú reportan niveles de cianuro en los efluentes descargados por debajo de los límites de detección.

✓ Drenaje Acido de Relaves

El drenaje ácido de relaves se refiere a procesos por los cuales el pH del agua en contacto con los relaves puede disminuir severamente, dando como resultado la disolución y transporte de metales tóxicos disueltos tales como arsénico, plomo, cadmio, y un conjunto de otros, además un drástico incremento del contenido de los sulfatos.

De acuerdo a diferentes investigaciones realizadas a nivel nacional, se tiene diferentes características químicas de relaves mineros, procesadas en distintos centros mineros:

Según Romero y Flores, (2010, p.79), en su investigación, las características geoquímicas del Relave de la Relavera de Ticapampa que pertenece a la Cía. Minera Alianza, se muestran en la Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 5. Caracterización Geoquímica del Relave In Situ

Muestra	Metal	Unidad	Cantidad
P-190	Plata (Ag)	ppm	26.9
	Aluminio(Al)	%	5.99
	Arsénico (As)	ppm	>10000
	Bario (Ba)	ppm	200
	Berilio (Be)	ppm	0.5
	Bismuto (Bi)	ppm	11
	Calcio (Ca)	%	0.76
	Cadmio (Cd)	ppm	0.5
	Cobalto (Co)	ppm	3
	Cromo (Cr)	ppm	13
	Cobre (Cu)	ppm	112
	Hierro (Fe)	%	6.53
	Galio (Ga)	ppm	10

Potasio (K)	%	2
Lantano (La)	ppm	10
Magnesio (Mg)	%	0.51
Manganeso (Mn)	ppm	564
Molibdeno (Mo)	ppm	1
Sodio (Na)	%	0.15
Níquel (Ni)	ppm	1
Fósforo (P)	ppm	680
Plomo (Pb)	ppm	4970
Azufre (S)	%	1.67
Antimonio (Sb)	ppm	221
Escandio (Sc)	ppm	7
Estroncio (Sr)	ppm	69
Torio (Th)	ppm	< 20
Titanio (Ti)	%	0.24
Talio (Tl)	ppm	< 10
Uranio (U)	ppm	< 10
Vanadio (V)	ppm	77
Wolframio (W)	ppm	10
Zinc (Zn)	ppm	225
Oro (Au)	ppm	0.514

Fuente: Revista científica de Romero y Flores

Tabla 6. Caracterización mineralógica del relave polimetálico de flotación por difracción de rayos X.

Mineral	Fórmula	%
Cuarzo	SiO ₂	80.82
Muscovita	KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	5.15
Jarosita	KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	4.11
Yeso	CaSO ₄ 2H ₂ O	3.45
Diáspora	AlOOH	2.79
Paligorskita	(Mg, Al) ₅ (Si, Al) ₈ O ₂₀ (OH) ₂ 8H ₂ O	1.75
Clorita	(Mg, Al) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	1.21
Anhidrita	CaSO ₄	0.71

Fuente: Revista científica de Romero y Flores

E. Propiedades Físicas del relave minero:

De acuerdo a Romero E. (2006), el comportamiento de los relaves va a venir determinado por sus propiedades y también por la naturaleza del depósito. La deposición de los lodos puede dar lugar a dos clases fundamentales de material: arenas depositadas mediante mecanismos

hidráulicos y limos depositados mediante procesos de sedimentación. Las propiedades de los lodos arenosos suelen ser similares a la de los suelos naturales tamaño arena, mientras que la de los lodos limosos presentan un comportamiento más complejo, a continuación, se mencionan las características físicas del relave minero:

- ✓ **Granulometría:** Los residuos mineros tienen como característica principal el tamaño de las partículas sólidas porque va a determinar sus posibilidades de aprovechamiento y recuperación. La granulometría va a depender de los procesos mineralógicos empleados para concentrar o extraer los minerales.

Por tanto, podemos decir que la granulometría de las partículas sólidas va a determinar el posible aprovechamiento o la calidad de los relaves, donde se muestra en los datos de la siguiente Tabla 7:

Tabla 7. *Granulometría del Relave Minero*

Granulometría	% de paso	Calidad
Gruesos	0-15% menor de 74 μ m	Buenos
Medios	15-50% menor de 74 μ m	Generalmente Buenos
Finos	50-80% menor de 74 μ m	Cuestionables
Limos	100% menor de 74 μ m y 25% menor de 200 μ m	Almacenado por presas convencionales

Fuente: Emiliano Romero-Residuos mineros.

- ✓ **Peso específico:** Generalmente los lodos están saturados, es decir, todo el volumen de vacíos entre partículas sólidas está ocupados por el medio acuoso, por lo que, de esta forma, podemos hablar de la proporción de sólidos respecto a la mezcla total y que se denomina concentración.

El peso específico de los relaves es muy variable en función de las concentraciones de mineral, de la granulometría, de la presencia de elementos secundarios, etc. En el caso de relaves secos, su peso

específico depende de las condiciones de consolidación de los mismos en la balsa y de la evolución del índice de poros de la deposición inicial hasta el estado final bajo vertidos sucesivos.

- ✓ **Permeabilidad:** Un material se considera permeable cuando está situado entre otros menos permeables que él, por lo que podemos decir que todos los materiales son más o menos permeables. En este sentido podemos afirmar que el agua filtra a través de todos los materiales, con la única diferencia de la magnitud o intensidad. Aquí lo que podemos hablar es del grado de permeabilidad de cada material, que va a depender de la amplitud de los huecos o vacíos continuos que existan entre sus partículas.

Por lo tanto, la variación de la permeabilidad es función de la granulometría de los lodos, de su plasticidad, del modo de deposición y de su profundidad en el depósito.

- ✓ **Plasticidad:** Es la propiedad que permite al material sufrir deformaciones sin recuperación elástica perceptible y sin resquebrajarse ni desmenuzarse. También la podemos definir como la capacidad que tienen ciertos materiales para cambiar de forma, bajo una carga constante, sin cambio apreciable de volumen.

La plasticidad de los relaves procedentes de las plantas de tratamiento de mineral viene dada en función del tipo de relaves y del porcentaje de finos que presenten. Esta plasticidad se determina por los llamados límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico), que nos sirve para determinar la humedad para la cual un suelo pasa del estado líquido al plástico y de éste al sólido.

- ✓ **Forma y dureza:**

Los relaves como son de naturaleza polimetálico presentan diferentes minerales las cuales tienen distintas formas, tamaños y dureza.

Según Rodríguez, (2016), Los minerales que conforman el relave se presentan con formas angulosas, sub angulosas y sub redondeadas por lo que predominan las sub redondeadas; así mismo la dureza que

presentan los relaves varían de 3.5 a 6.5 en la escala de dureza de Mohs.

F. Ensayos físico mecánico de relave minero

- ✓ Análisis granulométrico de acuerdo a la ASTM C136 / NTP 400.012.
- ✓ Contenido de humedad Según ASTM C566 / NTP 339.185.
- ✓ Densidad del relave minero Según ASTM C 29/C 29M – 97.
- ✓ Peso específico y absorción Según ASTM C127 - C128 / NTP 400.022.

G. Impacto de Relaves Mineros

De acuerdo a Cruzado y Bravo, (2010, p.11), el riesgo del mal manejo de los relaves minero proviene tanto de la manera en que se lo gestiona (confinamiento, recolección, transporte y tratamiento) en cuanto a la alta toxicidad de sus componentes, lo que agrava su peligrosidad y su potencial como generador de impactos contaminantes. En forma general, se podría agrupar los impactos atribuibles a mal manejo de los relaves mineros del siguiente modo:

✓ Impacto económico

Según Cruzado y Bravo, (2010, p.13). Se refiere a las consecuencias negativas de los relaves y pasivos ambientales en las actividades económicas y productivas de las comunidades cercanas a las zonas críticas. Los impactos económicos derivados de los tratamientos deficientes de los relaves se han hecho más patentes a partir del caso de accidentes que han generado perjuicios importantes en actividades productivas, tales como la agricultura o la piscicultura. Sea por zonas de almacenamiento poco apropiadas o por riesgos derivados de la sísmica del territorio peruano, lo que ocasiona que las presas de relaves pueden colapsar y afectar carreteras, caminos, puentes, viviendas, así como infraestructura productiva (tierras de cultivo, canales acuíferos, etc.).

✓ Impacto social

Según Cruzado y Bravo, (2010, p.12). Los impactos sociales se refieren a los efectos que los relaves originan en los modos de vida de las

poblaciones humanas, así como en sus condiciones sociales. El caso más palpable tiene que ver con los impactos registrados en la salud de las personas. La composición tóxica de los relaves, su ubicación en espacios adyacentes a poblaciones, agravan el riesgo de que las condiciones de salud de las personas sufran alteraciones altamente nocivas. Otro efecto reconocible, que se articula con los impactos ambientales y económicos, tiene que ver con el hecho de que las fuentes de agua que abastecen a las poblaciones adyacentes a los pasivos ambientales, al verse degradadas, provocan perturbación en el estilo de vida de las personas, resquebrajan las relaciones sociales interfiriendo en las instituciones tradicionales tejidas alrededor del acceso al agua.

✓ **Impacto ambiental**

De acuerdo a Cruzado y Bravo (2010, p.11). este impacto se provocan en los entornos donde se depositan y confinan el relave minero, lo cual, al hacerse sin las precauciones técnicas recomendadas, puede provocar daños en cuerpos acuíferos (ríos, lagunas, napa freática), suelos y atmósfera (Ver Tabla 8). Tal vez lo más evidente de estos impactos tiene que ver con la degradación del paisaje que origina el relave, el cual, tras su acumulación, desaparece las coberturas vegetales, deseca lagunas y crea montículos, que al crecer, conforman colinas que modifican el relieve de un territorio. Sin embargo, los impactos no se limitan a los aspectos físicos del entorno ambiental: sus efectos se extienden hacia las dimensiones químicas de los ecosistemas, con lo cual los recursos naturales se degradan para luego desaparecer, lo más posible de veces.

Tabla 8. Impactos Ambientales

Impactos ambientales derivados de los relaves y residuos mineros	
Atmósfera	- Partículas de materia derivadas de la explotación superficial y el transporte.
Cuerpos de agua	- Desagüe de desechos de minas. - Filtración a napa freática por lixiviación. - Residuos de procesamiento descargados directamente en cuerpos de agua.
Suelos	- Descarga de desechos de minas y residuos de procesamiento. - Trastorno de la agricultura, la silvicultura y la recreación por minas a cielo abierto. - Inestabilidad física de los depósitos, agravada por riesgo sísmico. - Deforestación.

Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Usos alternativos de relave minero

Una de las metas de un buen sistema de gestión de desechos peligrosos generados por actividades mineras, debe ser disponer en el suelo la menor cantidad posible de estos, optándose preferiblemente por la minimización, y la reutilización.

A decir Cruzado y Bravo, (2010, p.14), de acuerdo a las investigaciones realizadas sugieren reusar el relave minero en la fabricación de baldosas y ladrillos, tarrajeo de paredes, fabricación de adoquines; reemplazando a la arena por el relave, siempre en cuando se deba realizar un tratamiento.

Según Benavides, (2017, pp.1-2), en lo que se refiere al tratamiento, existe múltiples tecnologías de tratamiento del relave minero, y se van desarrollando nuevas, lo que posibilita más opciones para las industrias mineras.

2.2.4. Métodos para el Tratamiento del relave minero

La selección de un sistema de tratamiento depende de una serie de factores tales como: costo, efectividad, y la situación específica del residuo. Para ello se ha considerado necesario resaltar algunos métodos de tratamiento que pueden ser viables en términos de costo y que en ciertos casos son indispensables para prevenir la disposición de estos desechos mineros con un alto potencial de contaminación.

✓ Desecado:

Tal como su nombre lo indica, el desecado tiene como propósito reducir el contenido de agua en el lodo. Los procesos de desecado requieren que se lleve a cabo un acondicionamiento previo de los lodos. El acondicionamiento implica generalmente la adición de sustancias químicas tales como cal (utilizada en lodos primarios), o polielectrolitos orgánicos.

Existen métodos estáticos y mecánicos para el desecado de lodos. Los procesos estáticos incluyen los lechos de secado y las lagunas, En el caso de los lechos de secado, los lodos se colocan sobre lechos de arena para que drenen y sequen. Por otro lado, en el caso de las lagunas de secado, los lodos se depositan dentro de la laguna para que sequen naturalmente.

Entre los sistemas mecánicos de desecado se encuentran la filtración al vacío, la centrifugación y los filtros prensa de correas o placas. Todos éstos requieren que se lleve a cabo la floculación de los lodos previa a su aplicación. Estos sistemas son más eficientes que los lechos y lagunas de secado, sin embargo, son más costosos ya que implican inversión de capital y también costos mayores de operación (principalmente por consumo de energía) y mantenimiento.

✓ Fijación química y solidificación:

La fijación química es un proceso a través del cual se detoxifica, inmoviliza, insolubiliza o se reduce la peligrosidad de un residuo, según Conner (1986), citado por Benavides, (2017, p.2). Se logra este efecto

generalmente a través de una reacción química entre uno o más componentes del residuo y una matriz sólida. Se utiliza este proceso para tratar residuos peligrosos que se encuentran en forma líquida o en lodos para producir un sólido apto para su disposición en el suelo.

Los sistemas más comunes involucran el uso de cemento, cemento con cenizas volátiles, cal con cenizas volátiles, y cemento con silicato de sodio. El mecanismo químico de fijación no es conocido del todo, sin embargo, existen indicaciones que, en el pH relativamente alcalino del cemento, los metales pesados se precipitan como hidróxidos insolubles, los que son inmovilizados dentro de la matriz sólida, según Roy et. al., (1992), citado por Benavides, (2017, p.2).

✓ **Encapsulamiento:**

El encapsulamiento es un proceso por medio del cual el residuo es incorporado dentro de un material que lo aísla del medio ambiente, sin que los componentes del residuo se fijen químicamente al material utilizado. Entre los materiales de encapsulamiento están el vidrio, el metal, el concreto y el plástico. El vidrio es inerte a la agresión de muchas sustancias químicas, pero es bastante frágil y el proceso de encapsulamiento requiere altas temperaturas. El metal, principalmente en forma de cilindros, es más práctico; sin embargo, se corroe fácilmente. El concreto ha sido utilizado para el encapsulamiento de residuos con sustancias altamente tóxicas en casos donde no ha sido posible incinerarlos.

✓ **Micro encapsulación del relave:**

Según el Ministerio de Minería de Chile, (2015, p.82-83), la micro encapsulación o pasivación consiste en crear un revestimiento (capa) inertes.

En este método se definen diferentes tipos para la encapsulación del relave minero, lo que a continuación se muestra:

- **Micro encapsulación con Silice (SiO₂):** este método fue patentado por Evangelou en 1996 y consiste en la reacción de

una solución de sílice soluble, un buffer y un oxidante como el H_2O_2 en bajas concentraciones, con los oxi-hidroxidos de hierro produciendo, en primer lugar, una capa de hidróxido de hierro ($Fe(OH)_3$), seguido de una capa de sílice que se absorbe a la capa de hidróxidos, y polimeriza formando la capa externa de este revestimiento. Sin duda este método es ventajoso, ya que tiene alta durabilidad y no requiere de un monitoreo permanente.

- **Micro encapsulamiento con cemento:**

Es un método a través del cual se inmoviliza e insolubiliza a los metales pesados, este efecto se logra a través de una reacción química entre los componentes de los metales pesados en la matriz del relave, los sistemas más comunes de solidificación involucran a los aglomerantes o cemento. Esto según Romero y Flores, (2010)

Existen reportes de autores que han probado la utilización de este método con cemento portland como una aplicación exitosa para el tratamiento de residuos tóxicos con metales, Romero y Flores, (2010, p.77), explicó que “Mediante la metodología de fijación y micro-encapsulación de los metales pesados en los relaves mineros, se ha logrado estabilizar a los metales peligrosos y contaminantes que se encuentran en los relaves, anulando el proceso natural de migración de estos metales en el medio ambiente”.

• **Proceso de cristalización de los metales pesados:**

Según Romero y Flores, (2010, p.77), para establecer las condiciones de estabilización de los metales pesados a través de la cristalización con el cemento andino que se caracteriza por poseer el silicato di y tri cálcico, este componente del cemento logra cristalizar a los metales pesados presentes en el relave. Cuando se mezcla el cemento con H_2O los silicatos

y aluminatos se hidratan, dando lugar una masa rígida y clara conocida con el nombre de cemento endurecido.

La cristalización es un proceso de tratamiento para metales pesados y contaminantes orgánicos, que trata en forma efectiva a los metales pesados en residuos sólidos contaminados. Convierte los metales pesados a una forma inerte segura mediante el recubrimiento con sílice y es particularmente efectivo para arsénico, cadmio, mercurio, cobre, plomo, zinc y cromo.

2.2.5. Unidades de albañilería

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2006, Norma E.070), las unidades de albañilería a las que se refiere esta norma son ladrillos y bloques en cuya elaboración se utiliza arcilla, sílice-cal o concreto, como materia prima. Estas unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares y podrán ser fabricadas de manera artesanal o industrial. Las unidades de albañilería de concreto serán utilizadas después de lograr su resistencia especificada y su estabilidad volumétrica.

A. Clasificación de la Unidad de Albañilería

✓ Clasificación por sus dimensiones

De acuerdo a sus dimensiones o por su tamaño, las unidades se clasifican en ladrillos y bloques, de acuerdo a San Bartolomé, (2011), citado por Idrogo, (2015, p.19).

Ladrillo: Se denomina ladrillo aquella unidad cuya dimensión y peso permiten que sea manipulado con una sola mano.

Bloque: Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere las dos manos para su manipulación.

✓ Clasificación por su materia prima y fabricación

Según Idrogo, (2015, p.19), la clasificación de las unidades de albañilería es de la siguiente manera:

Por su materia prima: las unidades de albañilería son básicamente hechas de arcilla (unidades cerámicas), de sílice-cal (unidades sílico-calcáreas) y de concreto.

Por su fabricación: las unidades pueden ser artesanales o industriales. Las unidades de arcilla y de concreto admiten ambas modalidades, mientras que las unidades sílico-calcáreas son únicamente de fabricación industrial.

✓ **Clasificación para fines estructurales**

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones, (2006, Norma E.070), para los efectos del diseño estructural las unidades de albañilería tendrán las siguientes características indicadas en la Tabla 9.

Tabla 9. Características de unidad de albañilería para fines estructurales

Clase	Variación de la Dimensión			Alabeo (máx. en mm)	Resistencia a Compresión f'b mínimo en Mpa (Kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más 100 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4.9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6.9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9.3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12.7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17.6 (180)
Bloque P	± 4	± 3	± 2	4	4.9 (50)
Bloque NP	± 7	± 6	± 4	8	2.0 (20)

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.070

B. Tipos de unidad de albañilería

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, (2006, Norma E.070), los tipos de unidades de albañilería son los siguientes.

- ✓ **Unidad de Albañilería Alveolar:** Es aquella unidad de albañilería sólida o hueca con alvéolos o celdas de tamaño suficiente como para alojar el refuerzo vertical. Estas unidades son empleadas en la construcción de los muros armados.

- ✓ **Unidad de Albañilería Apilable:** Es la unidad de Albañilería alveolar que se asienta sin mortero.

Dentro de este tipo de unidad de albañilería se pueden considerar también al siguiente bloque:

- **Bloques de concreto ensamblable:** Es la nueva innovación tecnológica en el sector constructivo, Según la Empresa Mexicana (Omega), permite ensamblarse unos con otros sin necesidad de utilizar mezcla de cemento-arena o aglutinante alguno para su colocación, generando un muro de junta seca. Ahorrando tiempo de construcción (hasta un 50%) y costo directo (hasta un 25%) aproximadamente, con la variante que cada región pueda tener en particular.
- ✓ **Unidad de Albañilería Hueca:** Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente menor que el 70% del área bruta en el mismo plano.
- ✓ **Unidad de Albañilería Sólida o Maciza:** Unidad de Albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano.
- ✓ **Unidad de Albañilería Tubular o Pandereta:** Esta unidad de albañilería tiene huecos paralelos a la superficie de asiento.

2.2.6. Bloque de concreto

Los bloques de concreto son materiales prefabricados donde se utilizan como una alternativa de sustitución a los ladrillos de arcilla.

Según NTP 399.602, (2002, p.3), el bloque de concreto se define como la pieza prefabricada a base de cemento, agua y áridos finos y/o gruesos, naturales y/o artificiales con o sin aditivos, incluidos pigmentos de forma sensiblemente prismática con dimensiones modulares y ninguna mayor a 60 cm.

Aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipulación durante la operación de asentado.

De acuerdo con las NTP 399.602, (2002, p.6), las dimensiones mínimas de los bloques de concreto son:

Largo: 290mm

Ancho: 190 mm

Alto: 190mm

Según Luna y Pinedo (2011), son elementos modulares, pre moldeado y diseñado las cuales pueden ser utilizadas en sistemas de albañilería confinada o armada. Son elaborados a través de la mezcla de cemento, agregados y agua; siendo su posible elaboración en obra evitando las actividades de transporte de estas unidades, por lo tanto, significa aspectos favorables para la ejecución de edificaciones sobre todo para aquellas realizadas por autoconstrucción.

El bloque de concreto es el producto de la mezcla de cemento, agregados (arena fina y gruesa), agua y opcionalmente se pueden usar aditivos químicos para mejorar sus propiedades. Así mismo se considera que el aditivo puede ser mineral como puzolanas, cenizas y escorias de alto horno finamente molidos las cuales pueden reducir el calor de hidratación, aumentar la resistencia final o mejorar el comportamiento del concreto frente al ataque de sulfatos, según Rivva, (1992, p. 9).

La Norma E.070 indica que las unidades de concreto serán utilizadas después de lograr su estabilidad volumétrica. Para el caso de unidades curadas con agua, la edad mínima para usarlas es de 28 días, de otro modo, al secar se contraerán y fisurarán los muros.

A. Componentes del bloque de concreto

✓ Cemento portland:

“El cemento portland es un Clinker finamente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas de mezclas que contienen cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones determinadas”, Avanto, (2009, p. 15).

✓ **Agregados:**

El agregado llamado también árido las cuales son materiales inertes donde se pueden obtener de la naturaleza o de manera artificial (trituración de las rocas). Los agregados son muy importantes para el concreto puesto que este le proporciona resistencia.

A decir Avanto, (2009), indica que los agregados se dividen en dos grupos:

- **Agregado fino:** Es la arena o piedra natural finamente triturada que pasan el tamiz 9.5mm (3/8”).
- **Agregado grueso:** Se define así al material retenido en el tamiz 4.75 mm (N°4), las cuales son provenientes de la desintegración natural o mecánica de las rocas donde puede ser grava, piedra chancada, etc.

✓ **Agua para el concreto:**

El agua empleada en la mezcla debe ser limpia, libre de aceites, ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas. En general el agua potable es adecuada para el concreto. Su función principal es hidratar el cemento, pero también se le usa para mejorar la trabajabilidad de la mezcla. Según Harmsen, (2002, p.13).

✓ **Aditivo:**

“Los aditivos son sustancias que, añadidas al concreto, alteran sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido. Por su naturaleza, se clasifican en aditivos químicos y aditivos minerales”. Harmsen, (2002, p.13).

B. Propiedades del bloque de concreto:

✓ **Propiedades físicas:**

- **Variación dimensional.** - En términos generales ninguna unidad de albañilería conforma perfectamente con sus dimensiones especificadas. Existen diferencias de largo, de ancho y alto, así como deformaciones de la superficie asimilables a concavidades

o convexidades. El efecto de estas imperfecciones geométricas en la construcción de albañilería se manifiesta en la necesidad de hacer juntas de mortero mayores que las convenientes. A mayores imperfecciones mayores espesores de juntas. Según NTP 331.017, (1978).

- **Alabeo.** - El mayor alabeo (concauidad o convexidad) de las unidades conduce a un mayor espesor de la junta; asimismo, puede disminuir la adherencia con el mortero al formarse vacíos en las zonas más alabeadas; o incluso, puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad. Según San Bartolomé, (1994) citado por Idrogo, (2015, p.27).
- **Absorción.** - Se entiende por absorción al contenido de humedad total interna de la unidad de concreto que está en la condición de saturado superficialmente seco.

La capacidad de absorción del bloque se determina por el incremento de peso de una muestra secada al horno, luego de 24 horas de inmersión en agua y secada superficialmente. Según NTP 399.604, (2002).

La absorción se puede hallar de la siguiente forma, según la NTP 399.604, (2002, p.11):

$$Absorción (\%) = \left(\frac{Ws - Wd}{Wd} \right) \times 100$$

Donde :

Ws= Peso humedo del espécimen (Kg).

Wd= Peso seco del espécimen (kg)

Así mismo los requisitos que deben cumplir los bloques de concreto es lo siguiente: según NTP 399.602, (2002, p.7)

Tabla 10. Requisitos para Absorción

Absorción máxima en % (promedio de 3 unid)
12

Fuente: NTP 399.602

- **Densidad.** - Nos permite determinar si un bloque es pesado o liviano, además indica el índice de esfuerzo de la mano de obra o de equipo requerido para su manipulación desde su fabricación hasta su asentado. Según Idrogo, (2015, p.27)

La densidad se puede hallar de la siguiente forma, según la NTP 399.604, (2002, p.12):

$$Densidad (kg/m^3) = \left(\frac{Wd}{W_s - W_i} \right) \times 100$$

Donde :

Ws= Peso humedo del espécimen (Kg).

Wd= Peso seco del espécimen (kg)

Wi= Peso sumergido del espécimen (kg)

✓ **Propiedades Mecánicas:**

- **Resistencia a la compresión.** - según Idrogo, (2015, p.28), la propiedad mecánica de resistencia a la compresión de los bloques de concreto, es el índice de calidad más empleado para albañilería. La resistencia a la compresión axial se determina mediante la aplicación de una fuerza de compresión sobre la unidad en la misma dirección en que trabaja en el muro, según NTP 399.604, (2002). Durante el ensayo, debe tomarse como precaución el enrasado de la cara en contacto con la cabeza de la compresora para garantizar una distribución uniforme de la fuerza. A continuación, se muestra los requisitos mínimos, de acuerdo a la NTP 399.602, (2002, p.7).

Tabla 11. Requisitos de Resistencia a Compresión

Resistencia a la compresión, mínimo, en kg/cm ² respecto al área bruta promedio	
Promedio de 3 unid	Unidad individual
70	60

Fuente: NTP 399.602

C. Tipos de bloques de concreto:

✓ **Según su densidad**

De acuerdo a la NTP 399.602, (2002, p.3), se muestra los siguientes tipos:

- Bloque de concreto normal. - Es la unidad que en condiciones de secado tiene una densidad de 2000 kg/m³.
- Bloque de concreto ligero. - Cuya densidad es inferior a 1300kg/m³.
- Bloque de concreto semiligero. - Su densidad está comprendida entre 1300 a 2000 kg/m³.

✓ **Según su acabado**

De acuerdo a la NTP 399.602, (2002, p.3), el bloque se clasifica según su acabado de la siguiente manera:

- Bloque caravista. - Su uso es sin revestimiento y de acuerdo con la textura cabe destacar es rugoso y liso.
- Bloque a revestir. - Tiene una rugosidad suficiente para proporcionar una buena adherencia al revestimiento.

✓ **Según los tipos de unidades**

De acuerdo a Idrogo, (2015) los bloques de concreto se clasifican de la siguiente manera:

- Unidades sólidas. - Son ladrillos macizos tradicionales o con alveolos perpendiculares a la cara de asiento, que no alcanzan más del 30% del área de la sección bruta.
- Unidades huecas. - En estas unidades el área alveolar excede al 30% del área bruta y los alveolos tienen dimensiones, tales pueden llenarse con concreto líquido.
- Unidades perforadas. - Tienen más del 30% del área bruta ocupada por los alveolos, pero estos son tan reducidos que no pueden llenarse con concreto líquido.

✓ **Según su función**

De acuerdo a Idrogo, (2015) los bloques de concreto se clasifican de la siguiente manera:

- **Estructural.** - La función estructural está ligada a la capacidad del muro para soportar o no cargas, diferentes a la de su peso propio. Donde se tiene diferentes tipos: según el Reglamento Nacional de Edificaciones, (2006, Norma E.070).
 - **Bloque clase NP (No portante).** - Son bloques que no soportan carga o sirven para paredes divisorias, cuya función principal es conformar muros que sirvan para dividir espacios, sin tener una función expresa o tácita de soportar techo o niveles superiores este tipo de mampostería.
 - **Bloque clase P (Portante).** - Son bloques para paredes que soportan cargas
- **Arquitectónica.** - Las unidades de función estructural puede estar o no ligada a su función arquitectónica de acuerdo a la forma física que le ha dado; entre los cuales se tiene con acabados y sencilla.

D. Ensayos de bloque de concreto

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones, (2006, Norma E.070) y a la NTP 399.604, (2002, pp.4-12), las pruebas que se deben realizar a un bloque de concreto son las siguientes:

- ✓ Resistencia a compresión.
- ✓ Ensayo de Absorción.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

El uso del relave minero incide favorablemente en bloques de concreto tipo ensamblable.

2.3.2. Hipótesis específicas

- ✓ Una de las proporciones con relave minero es óptima para la dosificación de mezcla de bloques de concreto tipo ensamblable.
- ✓ El relave minero incide favorablemente en las propiedades de bloques de concreto tipo ensamblable.

2.4. Variables de estudios

2.4.1. Variable Independiente

- ✓ La variable independiente es: “**Relave minero**”

2.4.2. Variable Dependiente

- ✓ La variable dependiente es: “**Bloque de concreto**”

Capítulo III: Metodología de la Investigación

3.1. **Ámbito de estudio**

El ámbito de estudio de la presente investigación se realizará en dos lugares:

- ✓ El relave minero se obtuvo de la Relavera N°09 Acchilla de la Unidad Julcani – Ccochaccasa - C.I.A. Buenaventura, en el distrito de Ccochaccasa de la provincia de Angaraes.
- ✓ Los ensayos del relave minero, agregados, probetas y bloques de concreto se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica, de la Universidad Nacional de Huancavelica.

3.2. **Tipo de Investigación**

El tipo de investigación es aplicada: según Sánchez y Reyes, (1996, p. 13), este tipo de investigación “Llamada también constructiva, se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y las consecuencias prácticas que de ella se deriven”.

3.3. **Nivel de Investigación**

El nivel de investigación es explicativo: Según Gonzales, Oseda, Ramirez, y Gave (2011, p.142), se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas, como de los efectos, mediante la prueba de hipótesis.

3.4. **Método de Investigación**

Como método de investigación se tiene como método general al método científico y método específico al método experimental la cual se detalla a continuación:

✓ **Método general**

En la presente investigación como método general se usará al método científico. Según Sánchez y Reyes (1996), el método científico es la manera sistematizada en que se efectúa el pensamiento reflexivo que nos permite llevar a cabo un proceso de investigación científica (p.25).

✓ **Método específico**

El método de investigación es experimental porque de acuerdo a un plan previo se organizará para proceder con la investigación de las posibles causas-efecto, según Sánchez y Reyes, (1996).

3.5. Diseño de Investigación

Como diseño de investigación general se tiene al “Diseño de investigación Experimental”; y como diseño específico corresponde al “Diseño Cuasi-Experimental” del tipo “Parchado” o “Arreglado”, donde se manipulará la variable independiente, esta estrategia tiene como bibliografía especializada la graficación que presenta Sánchez y Reyes (1996, p.98), que se muestra a continuación:

GA: -	X	01

GB: 02	X	03

GA: Primer grupo experimental

GB: Segundo grupo experimental

O1 y O3: Post test

O2: Pre test

X: manejo de variable independiente.

- : No aplicación de pre test.

3.6. Población, Muestra, Muestreo

3.6.1. Población

La población a la cual se estudiará en la presente investigación está conformada por:

- ✓ 20 bloques de concreto tipo ensamblable.

3.6.2. Muestra

La muestra que se toma de la población es no probabilística de carácter intencional, que a continuación se menciona:

- ✓ 20 bloques de concreto tipo ensamblable.

3.6.3. Muestreo

Para seleccionar la muestra se usó el tipo de muestreo no probabilístico de carácter intencional.

3.7. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.7.1. Técnicas

Las principales técnicas que se utilizara en esta investigación serán:

- ✓ La observación directa e indirecta: Se registrará los esfuerzos de compresión de las probetas y bloques de concreto de acuerdo a un esquema establecido; así como también se registrará la absorción de los bloques de concreto.
- ✓ El análisis documental: Se realizará de forma analítica e interpretativa la información que está a nuestro alcance para extraer lo necesario.
- ✓ Se seguirá las técnicas indicadas en el ASTM American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y materiales), NTP (Normas Técnicas Peruanas) y el método ACI (American Concrete Institute).
 - Análisis granulométrico para Agregado fino, grueso y global: ASTM C136 / NTP 400.012
 - Contenido de humedad para Agregados: ASTM C566 / NTP 339.185
 - Peso específico y absorción de Agregados: ASTM C127 - C128 / NTP 400.022
 - Peso unitario del agregado (suelto y compactado): ASTM C 29/ C 29M/ NTP 400.017
 - Diseño de mezcla de concreto con el método ACI del comité 211.
 - Resistencia a compresión del concreto en muestras cilíndricas: ASTM C39/ NTP 339.034
 - Métodos de Muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto: ASTM C 140/ NTP 399.604

3.7.2. Instrumentos

Los instrumentos y equipos que se usará en la investigación para la recolección de datos son:

- ✓ Equipo para esfuerzo de compresión de testigos y unidades de albañilería.
- ✓ Balanza calibrada.
- ✓ Cuaderno de datos.
- ✓ Fichas técnicas de observación y control de laboratorio.
- ✓ Fichas de ensayos.
- ✓ Fichas de resúmenes textuales, comentarios bibliográficos, etc.

3.8. Procedimiento de recolección de datos

Para la recolección de datos se realizará a través de los siguientes trabajos:

- ✓ Elaboración de un plan de trabajo de laboratorio.
- ✓ Disposición de herramientas y recolección del relave minero.
- ✓ Disposición de herramientas de protección para la caracterización del relave minero.
- ✓ Ensayos físicos al relave minero.
- ✓ Disposición de equipos, herramientas y materiales para la caracterización de los componentes del concreto (agregados fino y grueso, cemento y agua).
- ✓ Ensayos de caracterización de algunos componentes del concreto (agregados fino y grueso).
- ✓ Elaboración del diseño de mezcla de concreto para un $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$, en la cual se sustituirá al agregado fino en un 25,50, 75 y 100% de relave minero.
- ✓ Disposición de equipos y herramientas para la elaboración de probetas cilíndricas.
- ✓ Elaboración de 28 probetas cilíndricas con un reemplazo de agregado fino por relave minero en un 25, 50, 75 y 100%.
- ✓ Ensayos de resistencia a compresión de las probetas cilíndricas por cada tratamiento a un tiempo de 28 días.
- ✓ Procesamiento de los datos obtenidos a través del ensayo de resistencia a compresión, para elegir el tratamiento que alcanzo la mayor resistencia, la que

posteriormente se usara en la elaboración de los bloques de concreto tipo ensamblable.

- ✓ Disposición de molde para el bloque, equipos y herramientas para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblable.
- ✓ Elaboración de 10 bloques de concreto con el tratamiento de relave minero que dio mayor resistencia y otros 10 sin relave minero.
- ✓ Ensayos de resistencia a compresión de los bloques de concreto tipo ensamblable a un tiempo de 28 días.
- ✓ Ensayos de absorción y densidad de los bloques de concreto tipo ensamblable.

3.9. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

3.9.1. Estadísticos Descriptivos o Cuantitativos

Para el procesamiento de datos se hará mediante el uso de la estadística descriptiva empleando: porcentajes, medias aritméticas, mediana, coeficiente de variación y desviación estándar.

3.9.2. Estadísticos Inferenciales

Para la contrastación de datos se trabajó con el DCA (Diseño Completamente Aleatorio), en donde se realizó el ANOVA (Análisis de varianza) con la prueba "F" de Fisher para medir la homogeneidad de los grupos con las fases que implica su proceso, y la prueba estadística de Tukey para los intervalos de confianza de las medias con un 5% de nivel de significancia.

3.9.3. Presentación de Datos

Para la presentación de datos se hará a través de:

- ✓ Estadísticas descriptivas para cada una de las variables.
- ✓ Frecuencias y porcentajes.
- ✓ Se utilizará tablas, histogramas de frecuencias, gráficos de líneas, interpretados estadísticamente que permitan visualizar los resultados del proyecto.
- ✓ Cuadros comparativos para visualizar la incidencia de la variable independiente sobre la dependiente de acuerdo a normas establecidas.

Capítulo IV: Resultados

4.1. Presentación de Resultados

La presente investigación consiste en un estudio experimental la cual se compone de 5 etapas como se aprecie en la siguiente Figura 1.

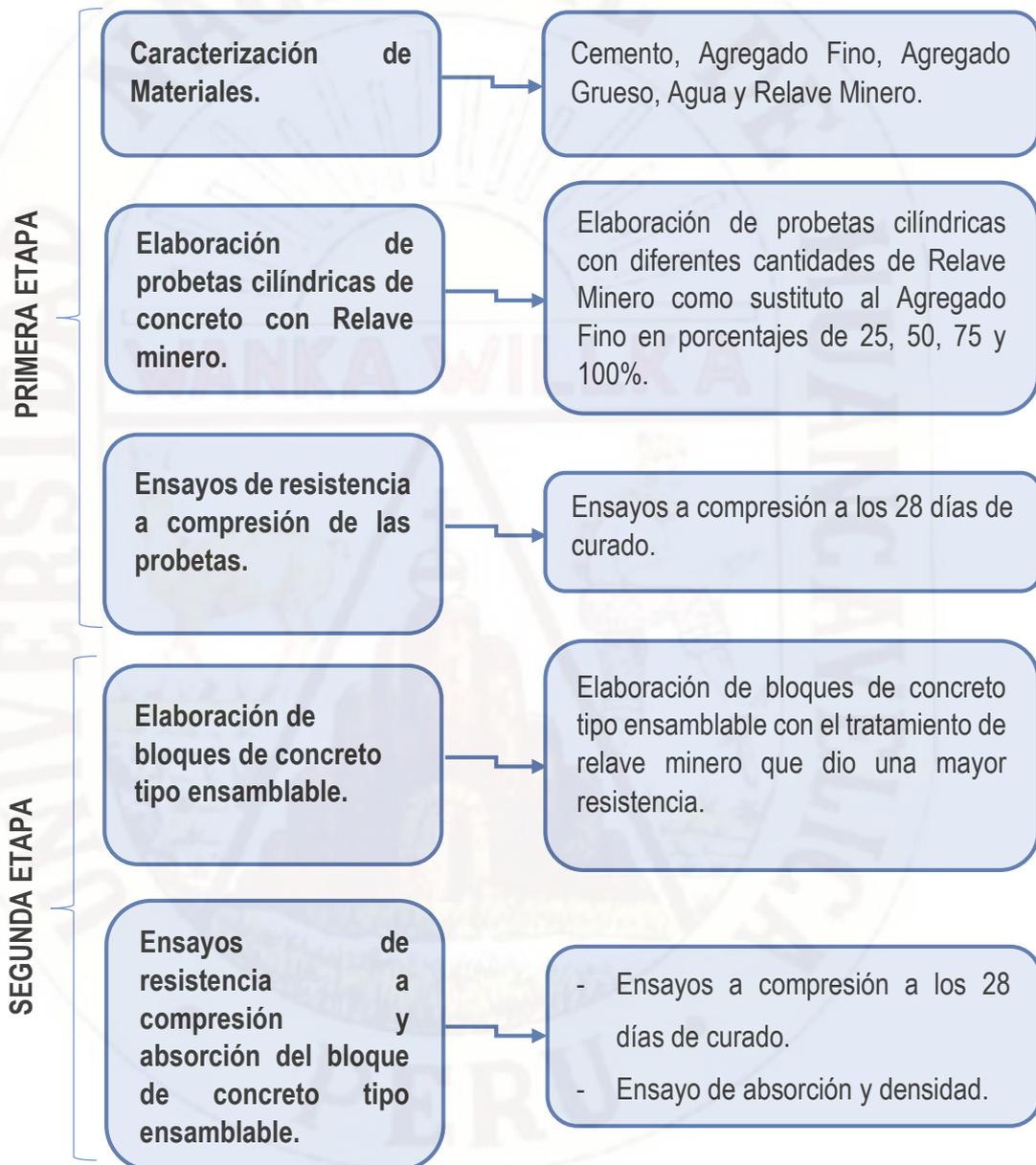


Figura 1. Etapas del proceso de ejecución de la presente investigación

4.1.1. Caracterización de Materiales

Para la elaboración del bloque de concreto tipo ensamblable de la presente investigación se utilizaron materiales que componen el concreto, así como también se empleó el relave minero.

4.1.1.1. Cemento Portland Tipo I (Andino)

En la investigación se utilizó el cemento portland Tipo I de la empresa Andino, la cual se adquirió de una ferretería ubicada en el centro de Huancavelica.

El cemento portland tipo I es destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifique la utilización de otro tipo; la cual se fabrica mediante la molienda conjunta de Clinker Tipo I y yeso que le brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado. Este cemento viene presentado en bolsas de 42.5 kg (3 pliegos) y a granel.



Fotografía 1. Presentación del Cemento Andino Tipo I

a) **Análisis Químicos**

El resultado del análisis químico del cemento portland tipo I se muestra en la siguiente Tabla 12.

Tabla 12. Análisis Químico de Cemento Portland Tipo I

Análisis	Tipo I	
	Andino	ASTM
Óxido de Mg (MgO), %	2.1	Máx. 6.0
Azufre, como S03, %	2.4	Máx. 3.0
Pérdida por ignición, %	1.3	Máx. 3.0
Residuo Insoluble, %	0.6	0.75

Fuente: Elaboración propia. Cemento Andino

A continuación, se muestra las propiedades químicas del cemento.

Tabla 13. Propiedades Químicas del Cemento portland Tipo I

Propiedades Químicas	Cantidad en %.
CaO	63% (Cal)
SiO ₂	20% (Sílice)
Al ₂ O ₃	6% (Alúmina)
Fe ₂ O ₃	3% (Oxido de Fierro)
MgO	1.5% (Oxido de Magnesio)
K ₂ O + Na ₂ O	1% (Álcalis)
Perdida por calcinación	2%
Residuo insoluble	--
SO ₂	2% (Anhídrido Sulfúrico)
CaO	1% (Cal Libre)
Total	100%

Fuente: Elaboración propia. Cemento Andino

b) Características Físicas

Las características físicas del cemento portland tipo I – Andino es lo siguiente.

Tabla 14. *Propiedades físicas del Cemento Portland Tipo I*

Propiedades	Tipo I	
	Andino	ASTM
Blaine, cm ² /g	3300	2800
Fraguado V. Inicial, hr:min	2.20	0.45
Final, hr:min	4.45	6.15
Expansión autoclave, %	-0.01	0.80
Resistencias:		Min.
3 Días, psi	2600	1740
7 Días, psi	3500	2760
28 días, psi	4850	4060
Densidad, g/cm ³	3.15	n.a.
Calor de Hidratación		
7 Días, cal/g	69	n.a.
28 Días, cal/g	74	n.a.

Fuente: Elaboración propia. Cemento Andino

4.1.1.2. Agregado Fino y Grueso

En este caso se utilizó agregado fino y grueso de río en estado natural, de la cantera Callqui Chico, las cuales fueron estudiadas en el Laboratorio de Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica, para determinar las siguientes propiedades:

a) Contenido de Humedad de los Agregados

Para realizar este ensayo se tomó en cuenta las normas: **NTP 339.185, (2013)** y **ASTM C566**, la cual se siguió las indicaciones correspondientes.

Si bien es cierto los agregados son materiales que se encuentran en la intemperie, las cuales pueden tener presencia de agua es decir con cierto grado de humedad, donde es importante determinar ya que con este dato podríamos saber si esta nos aporta o reduce el agua en la mezcla.

En la investigación se utilizó agregados que se encuentran al aire libre para determinar en ello el contenido de humedad. El método consistió en obtener una muestra de agregado fino y grueso las cuales fueron sometidos a un proceso de secado para posteriormente pesarlos y obtener el contenido de humedad, y así usarlo en el diseño de mezcla.

Materiales y Equipos:

- ✓ Agregado Grueso (Piedra de 3/8”).
- ✓ Agregado Fino (Arena Gruesa).
- ✓ Balanza electrónica.
- ✓ Horno.
- ✓ Cucharas o espátulas.

Proceso del Ensayo:

- ✓ Se empezó este ensayo seleccionando el material la cual se procede a cuartear la muestra (coger partes opuestas).



Fotografía 2. Seleccionando la piedra de 3/8”.



Fotografía 3. Cuarteo del agregado fino (arena gruesa).



Fotografía 4. Cuarteo de la piedra de 3/8".

- ✓ Pesamos el recipiente donde ubicaremos la muestra.



Fotografía 5. Peso de recipiente.

- ✓ Luego pesamos nuestro material incluyendo el peso del recipiente.



Fotografía 6. Peso del recipiente más muestra de agregado fino parcialmente seca.



Fotografía xx. Pesado del recipiente más muestra de agregado grueso parcialmente seca.

- ✓ Introducir la muestra al horno con una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24hr.



Fotografía 7. Agregado fino y grueso introducidas en el horno.

- ✓ Después de 24 horas sacar la muestra del horno para pesar y obtener el % de contenido de humedad.



Fotografía 8. Peso seco de la piedra de 3/8”.

Resultados del Ensayo:

Se obtuvieron los siguientes resultados que a continuación se muestran:

✓ **Agregado Fino**

Tabla 15. Resultados del Contenido de Humedad del agregado fino.

N°	Nombre	Cantidad de Ensayos		
		1	2	3
1	Peso del Recipiente (gr)	90.90	128.90	46.30
2	Peso del Recipiente + Muestra Húmeda (gr)	528.20	580.10	572.40
3	Peso de Muestra Húmeda (gr)	437.30	451.20	526.10
4	Peso del Recipiente + Muestra Seca (gr)	490.30	541.20	526.40
5	Peso de la Muestra Seca (gr)	399.40	412.30	480.10
6	Contenido de Humedad (%)	9.49%	9.43%	9.58%
7	Contenido de Humedad Promedio (%)	9.50%		

Fuente: Elaboración propia

✓ **Agregado Grueso**

Tabla 16. Resultados del Contenido de Humedad del agregado grueso.

N°	Nombre	Cantidad de Ensayos		
		1	2	3
1	Peso del Recipiente (gr)	91.30	46.80	154.00
2	Peso del Recipiente + Muestra Húmeda (gr)	798.80	631.60	887.80
3	Peso de Muestra Húmeda (gr)	707.50	584.80	733.80
4	Peso del Recipiente + Material Seca (gr)	767.70	605.90	854.00
5	Peso de la Muestra Seca (gr)	676.40	559.10	700.00
6	Contenido de Humedad (%)	4.60%	4.60%	4.83%
7	Contenido de Humedad Promedio (%)	4.67%		

Fuente: Elaboración propia

b) Análisis Granulométrico por Tamizado

Como se sabe las partículas de los agregados tienen diversas formas geométricas y tamaños; es así que la granulometría y el tamaño máximo de las partículas son importantes en cualquier agregado debido a su efecto en la dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto.

Para la gradación de los agregados se utilizan una serie de tamices que están especificados en la Norma Técnica Peruana **NTP 400.012, (2001)**, las cuales a través de estos se seleccionaran los tamaños y por medio de unos procedimientos hallaremos el módulo de finura para el agregado fino, el tamaño máximo y tamaño máximo nominal para el agregado grueso.

Los agregados que se usaron en la presente investigación son de la cantera Callqui Chico (Agregado fino y grueso).

Materiales y Equipos:

- ✓ Arena Gruesa.
- ✓ Piedra de 3/8".

- ✓ Juego de Tamices.
- ✓ Balanza.
- ✓ Horno.
- ✓ Recipientes.
- ✓ Palas.
- ✓ Cucharas.

Proceso del Ensayo:

Agregado fino:

- ✓ Se lavó las muestras de agregado fino y grueso para eliminar arcillas o limos y se pesó las muestras húmedas incluyendo los pesos del recipiente.



Fotografía 9. Resultados del Contenido de Humedad del agregado grueso.



Fotografía 10. Peso de la piedra de 3/8" húmedo.

- ✓ Secamos las muestras de agregado fino y grueso a una temperatura constante de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$, por un periodo de 24 horas.



Fotografía 11. Muestras introducidas al horno.

- ✓ Se retira del horno las muestra y se pesa tomando 3270.60 gr de agregado fino y 3252.70 gr de agregado grueso para el ensayo.



Fotografía 12. Peso seco del agregado fino.



Fotografía 13. Peso seco del agregado grueso.

- ✓ Se arma las mallas según la NTP 400.012, para luego introducir nuestras muestras y agitar con un vibrador de tamices por aproximadamente 5 min para el agregado fino y 10 min para el grueso.



Fotografía 14. Armado de las mallas para agregado fino.



Fotografía 15. Vibrado en la tamizadora del agregado grueso.

- ✓ Se pesa el agregado retenido en cada tamiz.



Fotografía 16. Peso retenido del agregado fino en cada malla.



Fotografía 17. Peso retenido del agregado grueso.

Resultados del Ensayo:

✓ Agregado fino

Tabla 17. Resultado del Análisis granulométrico de Agregado Fino.

GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO MASA INICIAL DE 3270.60 gr.						
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO + PESO DE RECIPIENTE (gr)	PESO RETENIDO (gr)	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULADO	
					% RETENIDO	% PASA
3/8 "	9.52	364.4	0	0	0	100.000
N°4	4.75	482.4	118	3.608	3.608	96.392
N°8	2.38	530.4	166	5.076	8.683	91.317
N°16	1.18	750.7	386.3	11.811	20.495	79.505
N°30	0.59	1485.9	1121.5	34.290	54.785	45.215
N°50	0.31	1392.6	1028.2	31.438	86.223	13.777
N°100	0.15	683.7	319.3	9.763	95.985	4.015
N°200	0.075	440.1	75.7	2.315	98.300	1.700
Fondo		420	55.6	1.700	100.000	0.000
PESO FINAL			3270.60 gr			

TM	3/8"
TMN	N° 4

Fuente: Elaboración propia.

- **Módulo de finura:**

Es el índice aproximado del tamaño medio de los agregados. Según la **NTP 400.037, (2002)** el módulo de fineza no será menor de 2.3 ni mayor de 3.1.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum. en tamices (3/8", N}^\circ 4, N^\circ 8, N^\circ 16, N^\circ 30, N^\circ 50, N^\circ 100)}{100}$$

$$MF = \frac{0 + 3.608 + 8.683 + 20.495 + 54.785 + 86.223 + 95.985}{100}$$

$$MF = 2.69$$

Según la **NTP 400.037** y **ASTM C136** nos muestra el análisis granulométrico para el agregado fino.

Tabla 18. *Limites granulométricos de Agregado Fino.*

Malla		Porcentaje que Pasa (Acumulativo)	
3/8"	9.5 mm	--	100
N°4	4.75 mm	95	100
N°8	2.38 mm	80	100
N°16	1.18 mm	50	85
N°30	600 um	25	60
N°50	300 um	10	30
N°100	150 um	2	10

Fuente: NTP 400.037 y ASTM C 136

Estos límites granulométricos nos indican que la granulometría adecuada de los agregados finos tiene que encontrarse dentro de estos límites.

La granulometría de nuestro agregado fino es de la siguiente manera:

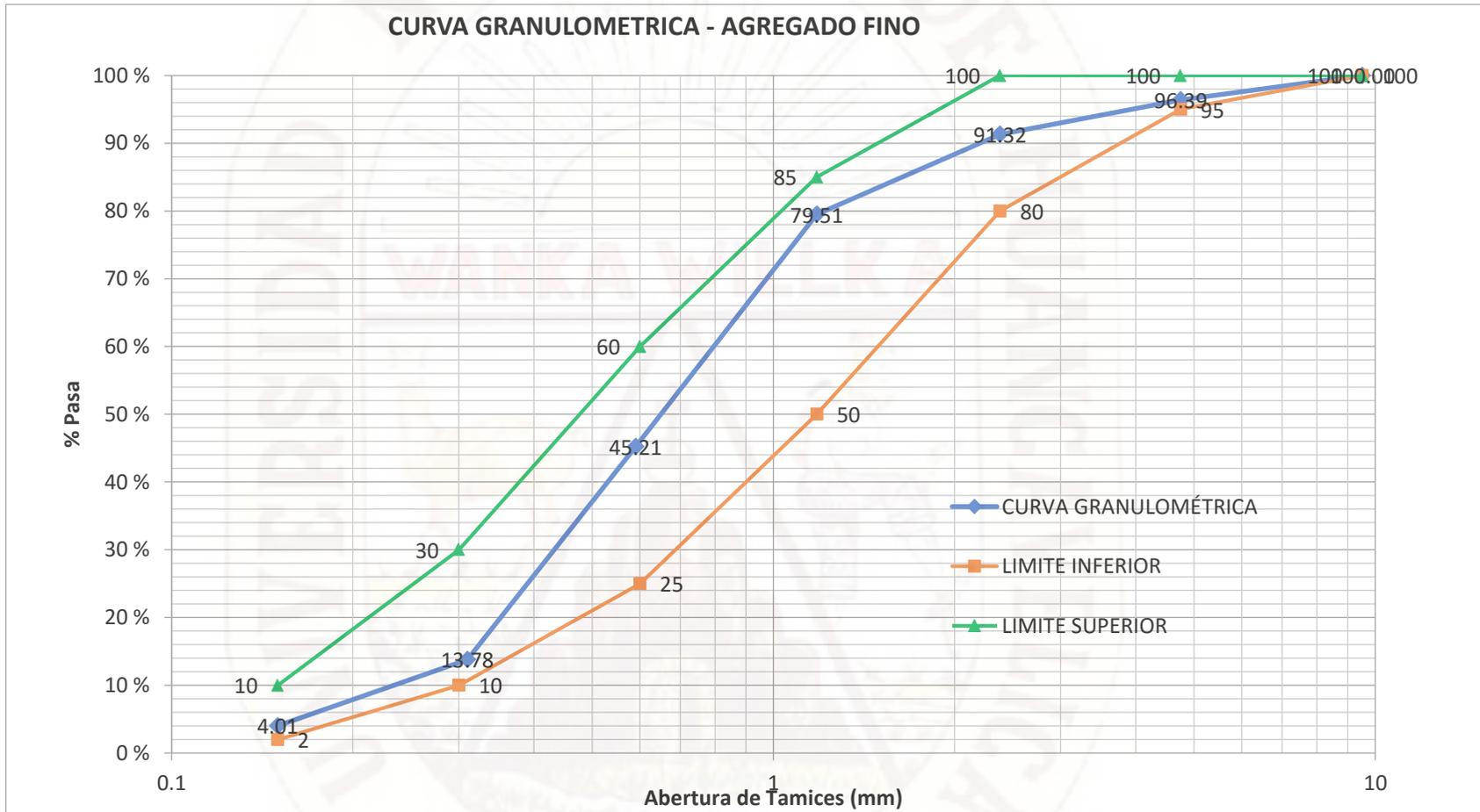


Figura 2. Análisis granulométrico del agregado fino. Elaboración propia

✓ Agregado Grueso

Tabla 19. Análisis granulométrico de Agregado Grueso (piedra 3/8”).

GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO MASA INICIAL DE 3252.70 gr.						
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO + PESO DE RECIPIENTE (gr)	PESO RETENIDO (gr)	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULADO	
					% RETENIDO	% PASA
3/4 "	19.05	0.00	0	0	0	100.000
1/2 "	12.7	0.00	0	0.000	0.000	100.000
3/8 "	9.52	59.70	59.7	1.835	1.835	98.165
N°4	4.75	2856.00	2856.00	87.804	89.639	10.361
N°8	2.38	331.80	331.80	10.201	99.840	0.160
N°16	1.18	0.80	0.8	0.025	99.865	0.135
Fondo		4.40	4.4	0.135	100.000	0.000
PESO FINAL			3252.70 gr			

Fuente: Elaboración propia.

El tamaño máximo de los agregados está dado por la abertura de la malla inmediata superior a la que retiene el 15% o más. De acuerdo a la Tabla 19 la malla que retiene más del 15% es la N° 4, por lo tanto, el T.M. del agregado es la abertura de la malla superior a esta la cual es 3/8"

TM	3/8 "
----	-------

Según el **ASTM C33-07**, nos muestra al análisis granulométrico para un agregado de 3/8" a N° 8.

Tabla 20. *Limites granulométricos para un Agregado Grueso de 3/8" a N°8.*

Malla		Porcentaje que Pasa (Acumulativo)	
1/2"	12.70 mm	--	100
3/8"	9.52 mm	85	100
N°4	4.75 mm	10	30
N°8	2.38 mm	0	10
N°16	1.18 mm	0	5

Fuente: Según ASTM C 33. Elaboración propia

Estos límites granulométricos nos indican que la granulometría adecuada del agregado grueso (3/8"), tiene que encontrarse dentro de estos límites.

La granulometría de nuestro agregado fino es de la siguiente manera:

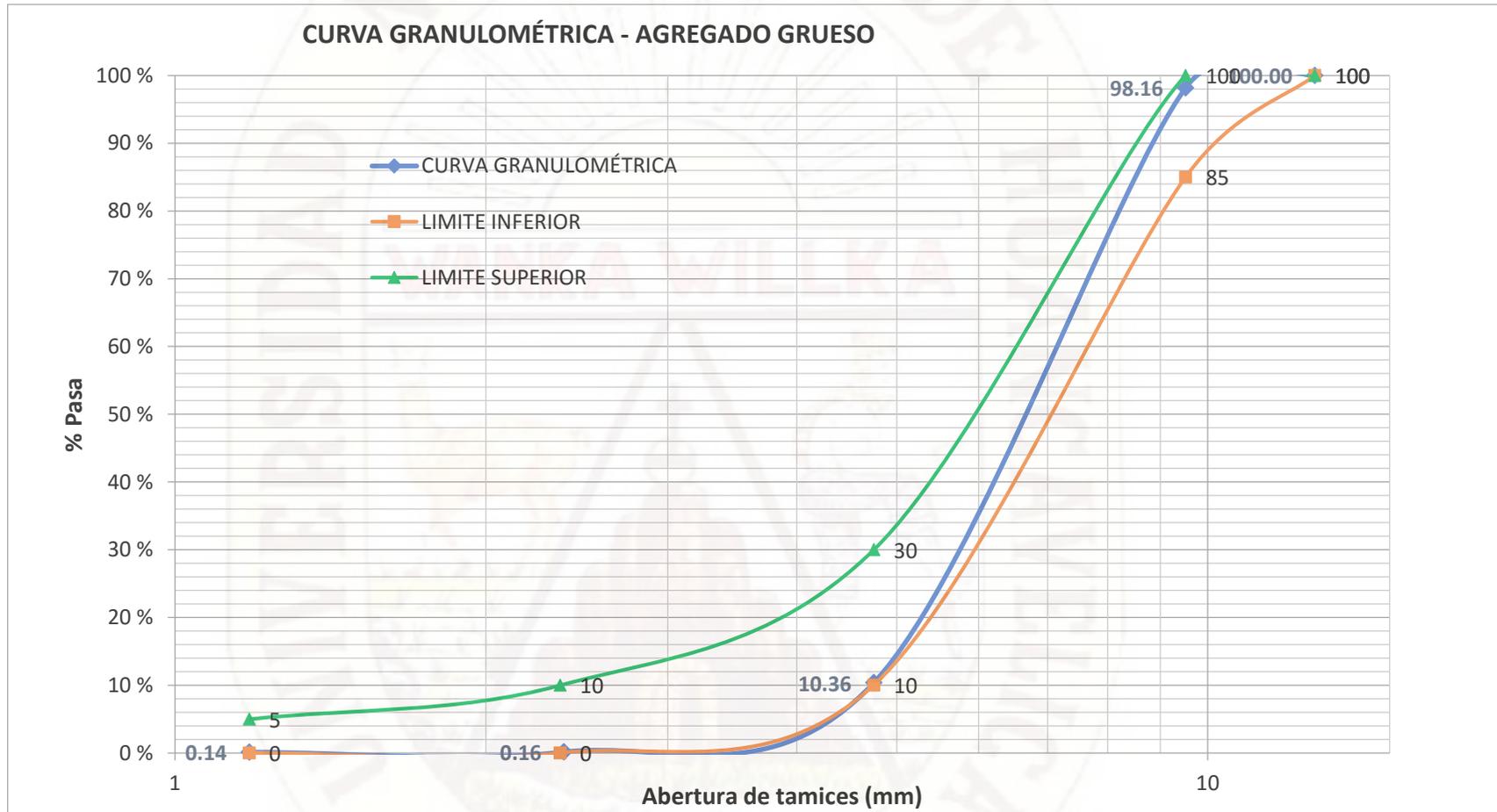


Figura 3. Análisis granulométrico del agregado grueso. Elaboración propia

c) **Peso unitario de los Agregados**

El **ASTM C29** lo define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan están dentro de un recipiente de volumen conocido.

El procedimiento para la determinación del peso unitario se encuentra normalizado en **ASTM C 29** y **NTP 400.017, (1999)**, las cuales se seguirán las indicaciones de esta.

Materiales y Equipos:

- ✓ Piedra de 3/8".
- ✓ Arena gruesa.
- ✓ Balanza electrónica.
- ✓ Cucharas.
- ✓ Recipientes cilíndricos.
- ✓ Agua.
- ✓ Varilla de acero Φ 5/8" x 60 cm.

Proceso de Ensayo

Agregado fino:

- ✓ Se pesa el recipiente cilíndrico vacío en donde se colocará la muestra.



Fotografía 18. Pesado del molde vacío.

- ✓ Para el peso unitario suelto se realizó 3 veces para mayor exactitud, se pone la arena gruesa en el recipiente cilíndrico en forma helicoidal a una altura de 5cm de la superficie del recipiente, hasta que esté totalmente lleno.



Fotografía 19. Introduciendo al recipiente la arena gruesa en forma helicoidal.

- ✓ Se enrasa el recipiente con la varilla y se procede a pesar el recipiente contenido con arena.



Fotografía 20. Enrasando el agregado fino en la superficie del recipiente.

- ✓ Para el peso unitario compactado se realizó 3 veces para mayor exactitud; se introduce la arena al recipiente hasta 1/3 de su capacidad, con una varilla de acero se golpea 25 veces en forma helicoidal, se repite el proceso a 2/3 de su capacidad y hasta llenar el recipiente.



Fotografía 21. Compactando el agregado fino.

- ✓ Se enrasa el recipiente con la varilla y se pesa el recipiente con el contenido de arena.



Fotografía 22. Peso compactado del agregado fino.

Agregado Grueso:

- ✓ Se pesa el recipiente cilíndrico vacío en donde se colocará la muestra.
- ✓ Para el peso unitario suelto se realizó 3 veces para mayor exactitud, se pone la piedra de 3/8" en el recipiente cilíndrico en forma helicoidal a una altura de 5cm de la superficie del recipiente, hasta que esté totalmente lleno.



Fotografía 23. Introduciendo el agregado grueso para el peso suelto.

- ✓ Se enrasa el recipiente con la varilla y se procede a pesar el recipiente contenido con piedra.



Fotografía 24. Enrasando el agregado grueso en la superficie del recipiente.

- ✓ Para el peso unitario compactado se realizó 3 veces para mayor exactitud; se introduce la piedra de 3/8" al recipiente hasta 1/3 de su capacidad, con una varilla de acero se golpea 25 veces en forma helicoidal, se repite el proceso a 2/3 de su capacidad y hasta llenar el recipiente.



Fotografía 25. Introduciendo el agregado grueso en forma helicoidal al recipiente.

- ✓ Se enrasa el recipiente con la varilla y se pesa el recipiente con el contenido de piedra.



Fotografía 26. Peso compactado del agregado grueso.

Resultados de Ensayo

Los resultados obtenidos a partir del ensayo tanto para el agregado fino como para el agregado grueso se muestran a continuación:

Agregado Fino:

Tabla 21. Resultados del Peso Unitario Suelto del Agregado Fino.

PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.) DEL AGREGADO FINO			
Descripción	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Peso de la Muestra + Recipiente (gr)	17500	17650	17700
Peso del Recipiente (gr)	10130	10130	10130
Peso de la Muestra (gr)	7370	7520	7570
Volumen del Recipiente (m ³)	0.00643	0.00643	0.00643
Peso unitario Suelto (kg/m ³)	1145.32	1168.63	1176.40
Promedio de Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1163.45		

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 22. Resultados del Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.

PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.) DEL AGREGADO FINO			
Descripción	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Peso de la Muestra + Recipiente (gr)	18410	18400	18420
Peso del Recipiente (gr)	10130	10130	10130
Peso de la Muestra (gr)	8280	8270	8290
Volumen del Recipiente (m ³)	0.00643	0.00643	0.00643
Peso unitario Compactado (kg/m ³)	1286.74	1285.18	1288.29
Promedio de Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1286.74		

Fuente: Elaboración propia.

Agregado Grueso:

Tabla 23. Resultados del Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.

PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.) DEL AGREGADO GRUESO (PIEDRA DE 3/8")			
Descripción	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Peso de la Muestra + Recipiente (gr)	18340	18320	18320
Peso del Recipiente (gr)	10170	10170	10170
Peso de la Muestra (gr)	8170	8150	8150
Volumen del Recipiente (m ³)	0.00625	0.00625	0.00625
Peso unitario Suelto (kg/m ³)	1306.98	1303.78	1303.78
Promedio de Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1304.85		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Resultados del Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso.

PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.S.) DEL AGREGADO GRUESO (PIEDRA DE 3/8")			
Descripción	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Peso de la Muestra + Recipiente (gr)	18890	18860	18820
Peso del Recipiente (gr)	10170	10170	10170
Peso de la Muestra (gr)	8720	8690	8650
Volumen del Recipiente (m ³)	0.00625	0.00625	0.00625
Peso unitario Compactado (kg/m ³)	1394.97	1390.17	1383.77
Promedio de Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1389.64		

Fuente: Elaboración propia.

d) **Peso específico y Absorción de los Agregados**

El peso específico se refiere a la densidad de las partículas individuales, pudiéndose definir al peso específico como la relación de la densidad de un material a la densidad de agua a una temperatura determinada. La importancia de esta propiedad radica en la obtención de los volúmenes que ocupara un agregado

en el concreto de manera más exacta la cual ayudara para calcular el diseño de mezcla.

La absorción en cambio es la cantidad de agua que puede penetrar en los poros permeables de los agregados en 24 horas, cuando estos se encuentren sumergidos en agua.

Para proceder con el ensayo se siguió las indicaciones de la **NTP 400.022, (2001)**.

Materiales y Equipos

- ✓ Arena gruesa.
- ✓ Piedra de 3/8"
- ✓ Balanza electrónica.
- ✓ Cucharas.
- ✓ Horno.
- ✓ Agua
- ✓ Tamiz N°04
- ✓ Molde cónico.
- ✓ Varilla para apisonado.
- ✓ Secadora
- ✓ Recipientes y bandejas.

Proceso de Ensayo

Agregado Fino:

- ✓ Seleccionar el material para luego tamizarlo por la malla N° 04, todo lo que pasa se selecciona para el ensayo.
- ✓ Se selecciona como mínimo 1 kg de arena tamizada y lo sumergimos en agua por un tiempo de 24 horas para saturarse completamente.



Fotografía 27. Agregado fino sumergido en agua.

- ✓ Transcurrido las 24 horas decantamos con cuidado el agua evitando la pérdida de finos del agregado.
- ✓ Extendemos la muestra sobre una bandeja, comenzando la operación de desecar la superficie de las partículas.



Fotografía 28. Desecando la superficie de la muestra.

- ✓ Para asegurarnos que el proceso esté bien se hace la prueba de cono llenándole parcialmente y dándole 25 golpes.



Fotografía 29. Prueba de cono para la muestra.

- ✓ Se continúa haciendo el mismo proceso hasta ver el desmoronamiento superficial, alcanzando así la condición de superficialmente seca.



Fotografía 30. Desmoronamiento de la muestra.

- ✓ Seleccionamos 500 gr de este material y lo introducimos al picnómetro para luego llenar el agua hasta los 500 cm³.



Fotografía 31. Introduciendo la muestra y agua al picnómetro.

- ✓ Eliminamos el aire atrapado, para lo cual rodamos el picnómetro y lo dejamos reposar durante 3 horas.



Fotografía 32. Eliminación del aire en el picnómetro.

- ✓ Después del reposo se procede a pesar la muestra + agua + picnómetro.



Fotografía 33. Peso de la muestra + picnómetro y agua.

- ✓ Se extrae todo el material y lo introducimos al horno con una temperatura de 105 °C, por 24 horas.



Fotografía 34. Extracción de muestra del picnómetro para introducir al horno.

- ✓ Paralelamente se pesa el picnómetro vacío y con agua hasta los 500 cm³.



Fotografía 35. Peso del picnómetro más el agua.

- ✓ Finalmente se pesa la muestra sacada del horno.

Agregado Grueso:

- ✓ Empezamos el ensayo seleccionando el material y luego zarandear la piedra por el tamiz N° 04, todo lo que queda se selecciona para el ensayo.
- ✓ Pesado el recipiente donde será puesta el material.



Fotografía 36. Pesado del recipiente.

- ✓ Como nuestra piedra es de 3/8" la cantidad mínima es de 3 kg, para lo cual emplearemos 3596.50 gr incluyendo el peso del recipiente que es de 596.50 gr.



Fotografía 37. Peso de la muestra húmeda sin incluir el peso del recipiente.

- ✓ Se lava la muestra hasta eliminar el polvo y después lo introducimos al horno con una temperatura de 105 °C, por 24 horas.
- ✓ Se saca la muestra del horno para dejar secar por 3 horas y luego dejamos la muestra sumergida en agua por 24 horas.



Fotografía 38. Agregado grueso sumergido en agua.

- ✓ Secamos las partículas con una tela hasta eliminar el agua superficial y una vez secada pesamos la muestra para obtener nuestro peso superficialmente seco.



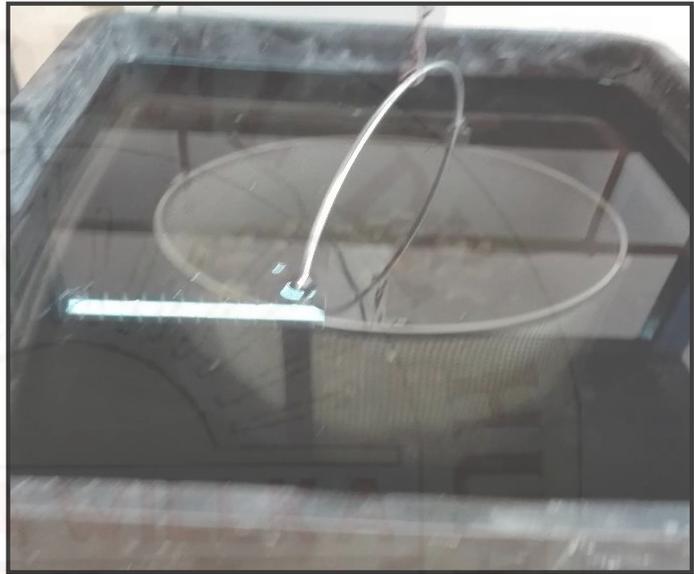
Fotografía 39. Secando la superficie de los agregados.

- ✓ Se tara la canastilla en la balanza electrónica para luego introducir el material.



Fotografía 40. Pesando la canastilla.

- ✓ Colocamos la muestra en el interior de la canastilla para determinar el peso sumergido.



Fotografía 41. Agregado sumergido en la canastilla y agua.

- ✓ Se introduce al horno la muestra con una temperatura de 105 ° C, por 24 horas.



Fotografía 42. Introduciendo la muestra al horno.

- ✓ Finalmente se saca la muestra del horno y se deja enfriar para luego pesarlo obteniendo así el peso de la muestra seca.



Fotografía 43. Peso del agregado grueso seco.

Resultados del Ensayo

Los resultados del ensayo para el agregado fino y grueso se muestran a continuación.

Agregado Fino:

Tabla 25. Resultado del Peso Específico y Absorción de la muestra de Agregado Fino.

Descripción	Peso
Muestra parcialmente seca	500.00 gr
Peso de picnómetro + Muestra parcialmente seca	662.90 gr
Peso de picnómetro + Muestra parcialmente seca + Agua	958.20 gr
Peso de picnómetro	161.30 gr
Peso de picnómetro + Agua	660.10 cm ³
Peso de muestra seca	475.30 gr

PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.354 gr/cm³
PESO ESPECÍFICO SATURADA CON SUPERFICIE SECA (SSS)	2.476 gr/cm³
PESO ESPECÍFICO NOMINAL	2.682 gr/cm³
ABSORCIÓN (%)	5.197 %

Fuente: Elaboración propia

Agregado Grueso:

Tabla 26. Resultado del Peso Específico y Absorción de la muestra de Agregado Grueso.

Descripción	Peso
Peso de la Muestra parcialmente seca	3000.00 gr
Peso de la muestra sumergida en el agua	1846.30 cm ³
Peso de la muestra seca	2896.00 gr

PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.510 gr/cm³
PESO ESPECÍFICO SATURADA CON SUPERFICIE SECA (SSS)	2.600 gr/cm³
PESO ESPECÍFICO NOMINAL	2.759 gr/cm³
ABSORCIÓN (%)	3.591 %

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3. Agua

Para la presente investigación se utilizó agua proveniente de la red urbana Paturpampa – Huancavelica.

4.1.1.4. Relave Minero

El relave minero fue extraído de la Relavera N°09 Acchilla de la Unidad Julcani de la mina C.I.A. Buenaventura, en el distrito de Ccochaccasa de la provincia de Angaraes, ubicado aproximadamente a una distancia de 47 km del centro de la ciudad con un tiempo de recorrido de 1 hora con 40 min en auto.



Figura 4. Ubicación de Relavera N° 09 Acchila. Elaboración propia.



Figura 5. Ubicación de zona para la extracción de muestra. Elaboración propia.

El relave minero fue llevado al Laboratorio de Ensayo de Materiales y Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica, de la Universidad Nacional de Huancavelica para su análisis físico, almacenamiento y conservación.

A continuación, se detalla los ensayos que se le realizaron al relave minero para determinar sus propiedades físicas.

a) Contenido de Humedad del Relave Minero

Como se sabe el relave minero son desechos que se encuentran en la intemperie, las cuales tienen presencia de agua es decir con cierto grado de humedad, donde es importante determinar ya que con este dato podríamos saber si esta nos aporta o reduce el agua en la mezcla.

El relave minero se puede caracterizar como un agregado fino de acuerdo a la textura que tiene, es por eso que para determinar el contenido de humedad nos basamos en normas (**NTP 339.185 y ASTM C566, 2004**), para agregados finos la cual se siguió sus indicaciones.

Materiales y Equipos

- ✓ Relave minero
- ✓ Balanza electrónica.
- ✓ Horno.
- ✓ Cucharas o espátulas.

Proceso de Ensayo

- ✓ Se empezó seleccionando el material y luego pesamos el recipiente donde ubicaremos la muestra.



Fotografía 44. Pesado del recipiente.

- ✓ Pesamos nuestro material incluyendo el peso del recipiente.



Fotografía 45. Pesado del recipiente más muestra húmeda.

- ✓ Introducir la muestra al horno con una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24hr.



Fotografía 46. Muestras introducidas al horno.

- ✓ Después de 24 horas sacar la muestra del horno para pesar y obtener el % de contenido de humedad.



Fotografía 47. Muestras extraídas del horno.

Resultado del Ensayo

El resultado del ensayo correspondiente se muestra a continuación.

Tabla 27. Resultados de Contenido de Humedad del relave minero.

N°	Nombre	Cantidad de Ensayos		
		1	2	3
1	Peso del recipiente (gr)	44.50	86.00	111.80
2	Peso del recipiente + Muestra húmeda (gr)	338.10	416.10	552.80
3	Peso de Muestra Húmeda (gr)	293.60	330.10	441.00
4	Peso del recipiente + Material Seca (gr)	304.60	380.40	502.00
5	Peso de la Muestra Seca (gr)	260.10	294.40	390.20
6	Contenido de Humedad (%)	12.88%	12.13%	13.02%
7	Contenido de Humedad Promedio (%)	12.67%		

Fuente: Elaboración propia.

b) Análisis Granulométrico por Tamizado

Para la gradación del relave minero se hará semejante al de un agregado fino en la cual se utilizan una serie de tamices que están especificados en la Norma Técnica Peruana **NTP 400.012**, a través de estos se seleccionaran los tamaños y por medio de unos procedimientos hallaremos el módulo de finura del material.

Materiales y Equipos para el Ensayo

- ✓ Relave minero.
- ✓ Juego de Tamices.
- ✓ Balanza.
- ✓ Horno.
- ✓ Recipientes.
- ✓ Palas.
- ✓ Cucharas.

Proceso de Ensayo

- ✓ Seleccionamos la muestra y lo secamos en un horno a una temperatura constante de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$, por un periodo de 24 horas.



Fotografía 48. Pesado de la muestra seca para la granulometría.

- ✓ Se retira del horno la muestra y se pesa tomando 1505.40 gr para el ensayo.

- ✓ Se arma las mallas según la NTP 400.012, para luego introducir nuestra muestra y agitar con un vibrador de tamices por aproximadamente 5 min.



Fotografía 49. Muestra introducida en las mallas.

- ✓ Se pesa la muestra retenido en cada tamiz.



Fotografía 50. Muestras retenidas en cada malla.

Resultados de Ensayo

Una vez obtenidos los datos de laboratorio se procede a calcular y se muestra a continuación los resultados.

Tabla 28. Análisis granulométrico del relave minero

GRANULOMETRIA DEL RELAVE MINERO MASA INICIAL DE 1505.40 gr.						
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO + PESO DE RECIPIENTE (gr)	PESO RETENIDO (gr)	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULADO	
					% RETENIDO	% PASA
N°8	2.38	1.5	1.5	0.100	0.100	99.900
N°16	1.23	3.7	3.7	0.246	0.345	99.655
N°30	0.6	5.1	5.1	0.339	0.684	99.316
N°40	0.425	6.8	6.8	0.452	1.136	98.864
N°50	0.31	35.2	35.2	2.338	3.474	96.526
N°100	0.15	749.9	749.9	49.814	53.288	46.712
N°200	0.075	494.3	494.3	32.835	86.123	13.877
Fondo		208.9	208.9	13.877	100.000	0.000
PESO FINAL			1505.40 gr			

Fuente: Elaboración propia.

TM	N° 08
TMN	N° 16

- **Módulo de finura:**

Es el índice aproximado del tamaño medio de los agregados. Según la NTP 400.037 el módulo de fineza no será menor de 2.3 ni mayor de 3.1.

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ Ret. Acum. en los tamices (N}^\circ 8, N^\circ 16, N^\circ 30, N^\circ 50, N^\circ 100)}{100}$$

$$MF = \frac{0.1 + 0.345 + 0.684 + 3.474 + 53.288}{100}$$

$$MF = 0.58$$

De acuerdo a la presente investigación el agregado fino se reemplazará por relave minero y por lo tanto, según la NTP 400.037 y ASTM C 136 nos muestra el análisis granulométrico para el agregado fino.

Tabla 29. *Limites granulométricos de Agregado Fino.*

Malla		Porcentaje que Pasa (Acumulativo)	
3/8"	9.5 mm	--	100
N°4	4.75 mm	95	100
N°8	2.38 mm	80	100
N°16	1.18 mm	50	85
N°30	600 um	25	60
N°50	300 um	10	30
N°100	150 um	2	10

Fuente: NTP 400.037 y ASTM C 136

La granulometría del relave minero es de la siguiente manera:

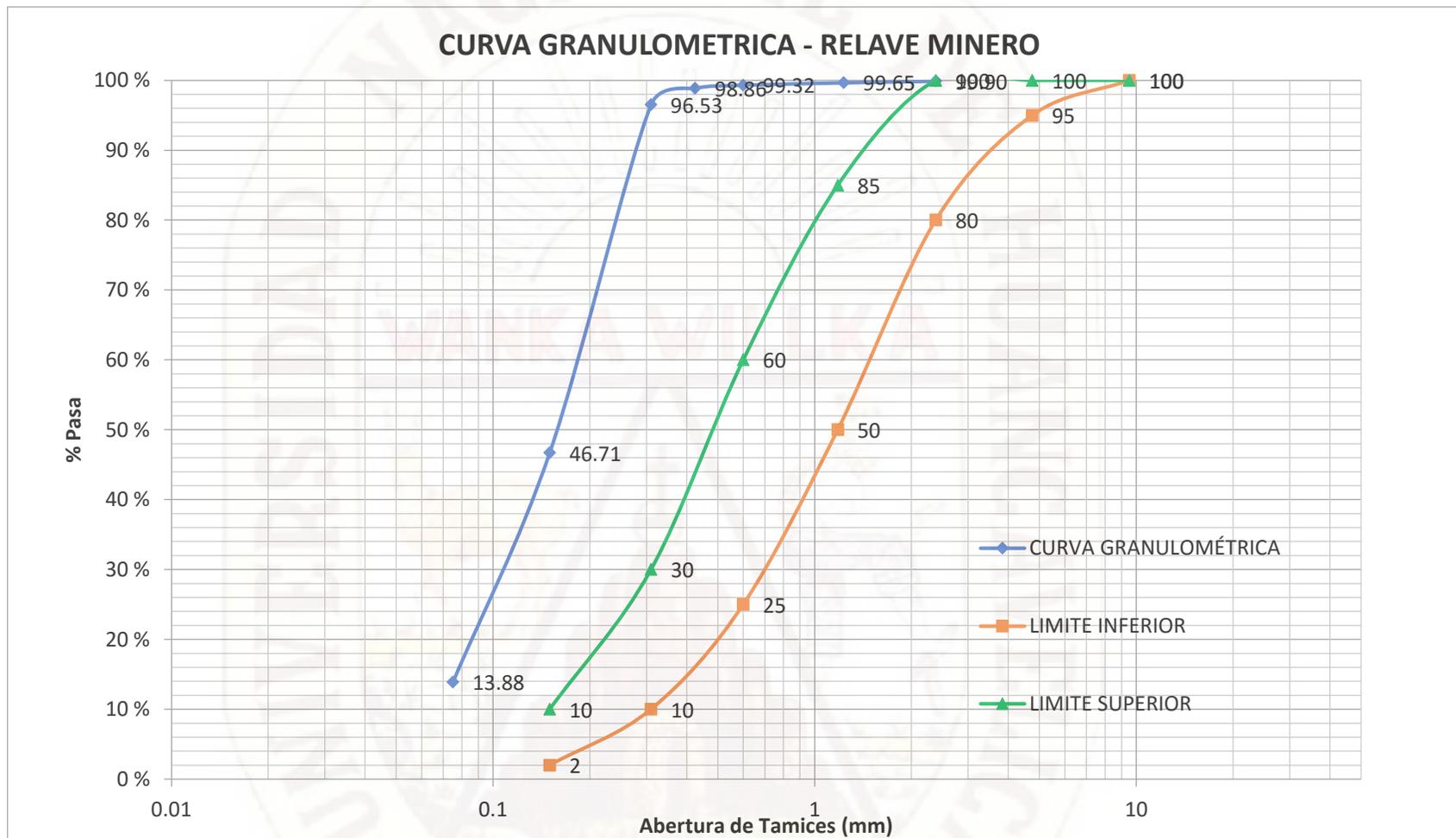


Figura 6. Análisis granulométrico del Relave minero. Elaboración propia.

c) **Peso unitario del Relave Minero**

De acuerdo a la investigación el relave minero se usará como el agregado fino en el concreto, es así que el peso unitario de este material se determinara con las normas que pertenecen a un agregado fino.

El **ASTM C 29** define al peso unitario del agregado como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan dentro de un recipiente de volumen conocido.

El procedimiento para la determinación del peso unitario se encuentra normalizado en **ASTM C 29 y NTP 400.017**, las cuales se seguirán las indicaciones de esta.

Materiales y Equipos

- ✓ Relave Minero.
- ✓ Balanza electrónica.
- ✓ Cucharas.
- ✓ Recipientes cilíndricos.
- ✓ Agua.
- ✓ Varilla de acero Φ 5/8" x 60 cm.

Proceso de Ensayo

- ✓ Se pesa el recipiente cilíndrico vacío en donde se colocará la muestra.
- ✓ Para el peso unitario suelto se realizó 3 veces el ensayo para mayor exactitud, se pone el relave minero en el recipiente cilíndrico en forma helicoidal a una altura de 5cm de la superficie del recipiente, hasta que esté totalmente lleno.
- ✓ Se enrasa el recipiente con la varilla y se procede a pesar el recipiente contenido con relave minero.
- ✓ Para el peso unitario compactado se realizó 3 veces para mayor exactitud; se introduce el relave minero al recipiente hasta 1/3 de su capacidad, con una varilla de acero se

golpea 25 veces en forma helicoidal, se repite el proceso a 2/3 de su capacidad y hasta llenar el recipiente.

- ✓ Se enrasa el recipiente con la varilla y se pesa el recipiente con el contenido de relave.

Resultados de Ensayo

Los resultados obtenidos a partir del ensayo se muestran a continuación:

Tabla 30. Resultado del Peso Unitario Suelto del Relave Minero.

PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.) DEL RELAVE MINERO			
Descripción	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Peso de la Muestra + Recipiente (gr)	17290	17370	17330
Peso del Recipiente (gr)	10250	10250	10250
Peso de la Muestra (gr)	7040	7120	7080
Volumen del Recipiente (m ³)	0.00553	0.00553	0.00553
Peso unitario Suelto (kg/m ³)	1272.03	1286.48	1279.25
Promedio de Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1279.25		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Resultado del Peso Unitario Compactado del Relave Minero.

PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.) DEL RELAVE MINERO			
Descripción	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Peso de la Muestra + Recipiente (gr)	18240	18460	18350
Peso del Recipiente (gr)	10250	10250	10250
Peso de la Muestra (gr)	7990	8210	8100
Volumen del Recipiente (m ³)	0.00553	0.00553	0.00553
Peso unitario Compactado (kg/m ³)	1443.68	1483.43	1463.55
Promedio de Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1463.55		

Fuente: Elaboración propia.

d) Peso específico y Absorción del Relave minero

El peso específico se refiere a la densidad de las partículas individuales, pudiéndose definir al peso específico como la relación de la densidad de un material a la densidad de agua a una temperatura determinada.

La absorción en cambio es la cantidad de agua que puede penetrar en los poros permeables de los agregados en 24 horas, cuando estos se encuentren sumergidos en agua.

Para proceder con el ensayo se siguió las indicaciones de la NTP 400.022, la cual pertenecen para los agregados y puesto que el relave minero se usará como un agregado nos basaremos a esta norma, pero de acuerdo a las indicaciones de para un agregado fino.

Materiales y Equipos

- ✓ Relave minero.
- ✓ Balanza electrónica.
- ✓ Cucharas.
- ✓ Horno.
- ✓ Agua
- ✓ Tamiz N°04
- ✓ Molde cónico.
- ✓ Varilla para apisonado.
- ✓ Secadora
- ✓ Recipientes y bandejas.

Proceso de Ensayo

- ✓ Seleccionar el material para luego tamizarlo por la malla N° 04, todo lo que pasa se selecciona para el ensayo.
- ✓ Se selecciona como mínimo 1 kg de relave minero tamizado y lo sumergimos en agua por un tiempo de 24 horas para saturarse completamente.
- ✓ Transcurrido las 24 horas decantamos con cuidado el agua evitando la pérdida de finos del relave minero.

- ✓ Extendemos la muestra sobre una bandeja, comenzando la operación de desecar la superficie de las partículas.
- ✓ Para asegurarnos que el proceso esté bien se hace la prueba de cono llenándole parcialmente y dándole 25 golpes.



Fotografía 51. Prueba de cono para relave minero.

- ✓ Se continúa haciendo el mismo proceso hasta ver el desmoronamiento superficial, alcanzando así la condición de superficialmente seca.
- ✓ Seleccionamos 500 gr de este material y lo introducimos al picnómetro para luego llenar el agua hasta los 500 cm³.
- ✓ Eliminamos el aire atrapado, para lo cual rodamos el picnómetro y lo dejamos reposar durante 3 horas.



Fotografía 52. Reposo del relave minero luego de eliminado el aire.

- ✓ Después del reposo se procede a pesar la muestra + agua + picnómetro.



Fotografía 53. Peso de picnómetro + agua.

- ✓ Se extrae todo el material y lo introducimos al horno con una temperatura de 105 °C, por 24 horas.
- ✓ Paralelamente se pesa el picnómetro vacío y con agua hasta los 500 cm³.
- ✓ Finalmente se pesa la muestra sacada del horno.

Resultados del Ensayo

Los resultados del ensayo para el relave minero se muestran a continuación.

Tabla 32. Resultado del Peso Específico y Absorción del Relave Minero.

Descripción	Peso
Muestra parcialmente seca	500.00 gr
Peso de picnómetro + Muestra parcialmente seca	658.20 gr
Peso de picnómetro + Muestra parcialmente seca + Agua	945.30 gr
Peso de picnómetro	162.80 gr
Peso de picnómetro + Agua	660.50 cm ³
Peso de muestra seca	463.10 gr

PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.152 gr/cm³
PESO ESPECÍFICO SATURADA CON SUPERFICIE SECA (SSS)	2.323 gr/cm³
PESO ESPECÍFICO NOMINAL	2.597 gr/cm³
ABSORCIÓN (%)	7.968 %

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Elaboración de probetas cilíndricas de Concreto con proporciones de Relave minero:

4.1.2.1. Diseño de mezcla de concreto

Se define al diseño de mezcla de concreto como el proceso de selección de la proporción adecuada de los materiales (cemento, agregados y agua), integrantes de la unidad cubica del concreto, con la finalidad de obtener un producto que en el estado no endurecido tenga la trabajabilidad, consistencia adecuada y que endurecido cumpla con la resistencia a compresión establecida a los 28 días de curado.

Existen diferentes métodos de diseño de mezcla de concreto, cada uno con procesos específicos de diseño, estos métodos pueden ser empíricos, racionales o prácticos. Luego de un análisis de experiencias de proyectos de investigación anteriores, en la presente investigación se ha determinado utilizar el método ACI (American Concrete Institute) del comité 211.1 para concreto normal.

Método ACI comité 211.1

El comité ACI 211.1,(2002) ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple, el cual, basándose en algunas tablas elaboradas mediante ensayos de los agregados, permiten obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica del concreto.

Según **Giraldo (1987) pág. 01**, es un método empírico cuyos resultados han sido confirmados por una amplia información experimental. El procedimiento de diseño se puede realizar ya sea mezclando los materiales por volumen absoluto y luego calculando los

pesos de cada uno de los componentes, o directamente calculando el peso del concreto y deduciendo luego el peso de cada uno de los ingredientes, siempre para obtener un metro cubico de concreto.

Los pasos que se debe seguir con el método **A.C.I.** del comité **211.1** son los siguientes:

- ✓ Selección del "Slump" o revenimiento del concreto en su estado fresco para la buena trabajabilidad y consistencia:

El ensayo de consistencia, llamado también de revenimiento o "Slump test", es utilizado para caracterizar el comportamiento del concreto fresco. Esta prueba, desarrollada por Duft Abrams adoptada por ASTM C 143 y recogida por NTP 339.035, consiste en consolidar una muestra de concreto fresco en un molde troncocónico, midiendo el asiento de la mezcla luego de ser desmoldado.

La clase de mezcla de concreto según su asentamiento se presenta en la siguiente Tabla 33:

Tabla 33. Clase de mezclas según su asentamiento.

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de Compactación
Seca	0" - 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" - 4"	Trabajable	Vibración ligera Chuseado
Fluida	> 5"	Muy trabajable	Chuseado

Fuente: Tecnología del Concreto de Avanto, (2009).

- ✓ Selección de la Resistencia Media de Dosificación (f'_{cr}) a partir de la Resistencia específica a la compresión (f'_c):

Para garantizar que el concreto producido o un porcentaje de éste cumplan los requisitos de resistencia, se debe dosificar para una resistencia mayor a la especificada, a esto se le denomina " **f'_{cr}** " y se debe determinar según la siguiente Tabla 34:

Tabla 34. Resistencia Media de Dosificación.

$f'c$	$f'cr$
$f'c \leq 210 \text{ kg/cm}^2$	$f'cr = fc + 70 \text{ kg/cm}^2$
$210 \text{ kg/cm}^2 < f'c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'cr = fc + 84 \text{ kg/cm}^2$
$f'c > 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'cr = fc + 100 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: Diseño de mezcla, Giraldo (1987)

- ✓ Selección del volumen unitario de agua de diseño y la cantidad aproximada de aire atrapado:

El volumen unitario de diseño se determinará de acuerdo a la siguiente Tabla 35:

Tabla 35. Requerimientos de agua de mezclado y contenido de aire.

Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados								
Asentamiento o Slump	Agua en lt/m^3 de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	205	200	185	180	160	155	145	125
3" a 4"	225	215	200	195	175	170	160	140
6" a 7"	240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado, en porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	180	175	165	160	145	140	135	120
3" a 4"	200	190	180	175	160	155	150	135
6" a 7"	215	205	190	185	170	165	160	---
Promedio recomendado para el contenido total de aire, en porcentaje	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: Tecnología del Concreto de Abanto (2009).

- ✓ Selección de la relación agua cemento:

La relación agua cemento A/C de diseño se determina de acuerdo la Resistencia media de dosificación y a su condición de exposición, expuestos en la siguiente Tabla 36:

Tabla 36. Relación Agua - Cemento.

Relación Agua - Cemento y Resistencia a la Compresión del Concreto		
Resistencia a la Compresión a los 28 días (f'_c) (kg/cm ²)*	Relación Agua - Cemento de Diseño en Peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: Tecnología del Concreto de Abanto (2009).

- ✓ Selección de cantidad de agregado grueso por unidad de volumen de concreto:

Tabla 37. Volumen de agregado grueso.

Tamaño Máximo del Agregado Grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza de agregado fino.			
	Módulo de Fineza del Agregado Fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.51	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Tecnología del Concreto de Abanto (2009).

- ✓ Determinación de cantidad de agregado fino por unidad de volumen de concreto:

- ✓ Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire y agregado grueso.
- ✓ Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado
- ✓ Determinación de peso de diseño
- ✓ Determinación de peso por tanda de una bolsa.

4.1.2.2. Diseño de mezcla para concreto de $f_c=150\text{kg/cm}^2$:

Datos para el Diseño de Mezcla de Concreto:

A continuación, se presentan los resultados del agregado fino y agregado grueso obtenidos en laboratorio, datos del cemento a utilizar y características del concreto; las cuales son información necesaria para el diseño de mezcla del concreto.

Tabla 38. Datos de agregado fino y agregado grueso.

Descripción	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso Unitario Suelto Seco	1,163.45 kg/m ³	1,304.85 kg/m ³
Peso Unitario Compacto Seco	1,286.74 kg/m ³	1,389.64 kg/m ³
Peso Específico de Masa	2.476 gr/cm ³	2.600 gr/cm ³
Contenido de Humedad	9.50%	4.67%
Porcentaje de Absorción	5.197%	3.591%
Módulo de Fineza (MF)	2.749	5.913
Tamaño Máximo de Agregado	---	3/8"

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 39. Datos del cemento.

Descripción	Característica del Cemento
Tipo de Cemento	Cemento Portland Andino Tipo I
Peso Específico del Cemento	3.120 kg/cm ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 40. Datos del concreto a Diseñar.

DATOS DEL CONCRETO	
Descripción	Característica del Concreto
Resistencia específica a la compresión $f'c$	150.00 kg/cm ²
Condiciones de Ambiente	Condiciones Normales
Condición de Exposición	Sin Aire Incorporado
Consistencia	Plástica
Asentamiento o Revenimiento (Slump)	3"

Fuente: Elaboración Propia

Las siguientes tablas son el resultado del Diseño de Mezcla según el método **A.C.I.** del comité **211.1**.

Tabla 41. Proporciones de mezcla en peso por volumen de concreto.

Proporciones en Peso por Metro Cúbico de Concreto	
Cemento =	323.74 Kg/m ³
Agregado Fino =	1,064.77 Kg/m ³
Agregado grueso =	676.50 Kg/m ³
Agua Efectiva =	176.18 Lt/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42. Dosificación de mezcla en peso por kilogramo de cemento.

Dosificación en Peso por Kilogramo de Cemento	
Cemento =	1.00 Kg/kilo cemento
Agregado Fino =	3.29 Kg/kilo cemento
Agregado grueso =	2.09 Kg/kilo cemento
Agua Efectiva =	0.54 Lt/kilo cemento

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.3. Tratamientos estudiados y cantidad de probetas de concreto con Relave Minero:

Para determinar los tratamientos en la presente tesis, se utilizó el modelo de especímenes cilíndricos de 6" x 12" (150mm x 300 mm), especificada en la norma **ASTM C31/C31M**.

Por otro lado, se determinó tratamientos (T) de **25%, 50%, 75%** y **100%** de incorporación de Relave Minero (RM) como sustituto al agregado fino, estos porcentajes de tratamiento se obtuvo como modelo de la revista científica "*Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete*" realizados por Umara y colegas en el año 2016. Teniendo la siguiente dosificación patrón: **1: 3.289: 2.090 / 0.544**, se define las cantidades en kg de los componentes del concreto por unidad de probeta para cada tratamiento (T), las cuales se presenta a continuación:

Tabla 43. T1: Dosificación de mezcla con incorporación de 25% de RM.

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	Relave Minero
1.000	2.467	2.090	0.544	0.822
Mezcla para una Probeta Cilíndrica				
1.716 kg	4.234 kg	3.586 kg	0.934 lt	1.411 kg

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44. T2: Dosificación de mezcla con incorporación de 50% de RM.

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	Relave Minero
1.000	1.644	2.090	0.544	1.644
Mezcla para una Probeta Cilíndrica				
1.716 kg	2.822 kg	3.586 kg	0.934 lt	2.822 kg

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45. T3: Dosificación de mezcla con incorporación de 75% de RM.

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	Relave Minero
1.000	0.822	2.090	0.544	2.467
Mezcla para una Probeta Cilíndrica				
1.716 kg	1.411 kg	3.586 kg	0.934 lt	4.234 kg

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 46. T4: Dosificación de mezcla con incorporación de 100% de RM.

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	Relave Minero
1.000	-	2.090	0.544	3.289
Mezcla para una Probeta Cilíndrica				
1.716 kg	0 kg	3.586 kg	0.934 lt	5.645 kg

Fuente: Elaboración Propia

Cantidad de probetas por cada tratamiento (T):

Para determinar la cantidad de material que se necesita, se tomó en cuenta la norma **ASTM C 31**, la cual especifica que, para garantizar la veracidad de los resultados del ensayo a compresión del concreto, se promedian resultados de resistencia de dos a seis Probetas. Por lo que en la presente tesis el resultado de resistencia a la compresión de cada tratamiento, corresponde el promedio de **siete** probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, para obtener resultados más verídicos.

Tabla 47. Número de Probetas para Ensayo a Resistencia a Compresión.

Tratamiento	% Relave Minero (RM)	N° de probetas
T1	25%	7
T2	50%	7
T3	75%	7
T4	100%	7
Total de probetas		28

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.4. Elaboración y curado de Probetas cilíndricas de concreto con Relave Minero (RM):

La mezcla fue realizada de acuerdo a la norma **NTP 339.033, (2009)**, utilizando mezcladora eléctrica de eje horizontal tipo trompo de 3 p3 de capacidad, considerándose en una tanda una mezcla para 7

probetas cilíndricas, con un incremento a la dosificación un porcentaje de desperdicio de 25% por cada tratamiento.

Tabla 48. Cantidad de mezcla por tanda con porcentaje de desperdicio de 25%.

Material	Unidad	TRATAMIENTOS			
		T1: 25%RM	T2: 50%RM	T3: 75%RM	T4: 100%RM
Cemento	Kg	15.018	15.018	15.018	15.018
Ag. grueso	Kg	31.381	31.381	31.381	31.381
Ag. Fino	Kg	37.044	24.696	12.348	0.000
Relave Minero	Kg	12.348	24.696	37.044	49.392
Agua	Kg	8.173	8.173	8.173	8.173

Fuente: Elaboración Propia

PROCESO DE MEZCLADO:

- ✓ Se pesaron los materiales según la dosificación de los diferentes tratamientos:



Fotografía 54. Peso del Cemento Portland Andino Tipo I.



Fotografía 55. Peso del Agregado Gueso (piedra de 3/8").



Fotografía 56. Peso del Agregado Fino del tratamiento T1:25RM%.



Fotografía 57. Peso del Relave Minero del tratamiento T1:25RM%.



Fotografía 58. Peso del Agregado Fino del tratamiento T2: 50RM%.



Fotografía 59. Peso del Relave Minero del tratamiento T2: 50%RM.



Fotografía 60. Peso del Agregado Fino del tratamiento T3:75%RM.



Fotografía 61. Peso del Relave Minero del tratamiento T3:75%RM.



Fotografía 62. Peso del Agua potable.

- ✓ Se mezcló el agregado grueso, agregado fino, relave Minero (RM) y cemento; este procedimiento hasta integrar bien los materiales entre sí y muestre una mezcla uniforme, para luego añadirle agua y continuar con el mezclado.



Fotografía 63. Pre mezcla de Cemento, Relave Minero y agregados.

- ✓ Se adicionó agua de manera gradual a fin de ir obteniendo una mezcla uniforme y trabajable, realizando el respectivo ensayo de consistencia del concreto.



Fotografía 64. Mezcla del concreto.

- ✓ Para determinar la consistencia adecuada del concreto de acuerdo al Diseño de Mezcla, se realizó el ensayo de asentamiento de concreto fresco con el cono de Abrams, estipulada en la norma **NTP 339.035, (2015) y ASTM C143.**



Fotografía 65. Apisonamiento en el cono con la varilla de 5/8".



Fotografía 66. Ensayo con el Cono de Abrams según Norma.



Fotografía 67. Asentamiento adecuado para un slump de 3".

- ✓ Después de realizar el ensayo del cono de abrams en cada tratamiento, se ha determinado que la cantidad de agua aumentó en un porcentaje de acuerdo al asentamiento slump de 3", esto por dos factores:
 - La incorporación del Relave Minero (RM) ha modificado el contenido de humedad de diseño.
 - El factor clima ha variado el contenido de humedad de los agregados.

La dosificación real final por cada tratamiento es la siguiente:

Tabla 49. Dosificación de mezcla para slump de 3" en tratamiento T1: 25% RM.

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	RM
1.000	2.467	2.090	0.656	0.822

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 50. Dosificación de mezcla para slump de 3" en tratamiento T2: 50% RM.

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	RM
1.000	1.644	2.090	0.746	1.644

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 51. Dosificación de mezcla para slump de 3" en tratamiento T3: 75% RM.

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	RM
1.000	0.822	2.090	0.713	2.467

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 52. Dosificación de mezcla para slump de 3" en tratamiento T4: 100% RM.

Mezcla para una Probeta Cilíndrica				
Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	RM
1.000	-	2.090	0.855	3.289

Fuente: Elaboración Propia

PROCESO DE COLOCADO:

- ✓ El procedimiento de elaboración de probetas cilíndricas se realizó de acuerdo a las normas **NTP 339.033** y **ASTM C 31**.
A los moldes cilíndricos de 150mm de diámetro x 300 mm de altura, se ajustaron, limpiaron y cubrieron con Petróleo (desmoldante), para luego colocarlo en una superficie nivelada libre de vibraciones.



Fotografía 68. Habilitación de moldes para las probetas.



Fotografía 69. Llenado y compactado del molde en tres capas.



Fotografía 70. Culminación de la elaboración de las probetas



Fotografía 71. Colocado de Probetas en una superficie plana.

PROCESO DE CURADO:

El curado es el proceso que permite tener controlada la temperatura y humedad del concreto, dando inicio así al desarrollo de las propiedades consideradas en su diseño, específicamente su resistencia. El procedimiento de curado de probetas cilíndricas se

realizó de acuerdo a las normas **NTP 339.033** y **ASTM C 31**, la cual el propósito de este proceso es maximizar la hidratación del cemento.

- ✓ Inmediatamente después de moldear los especímenes fueron almacenados por un periodo de 24 horas en temperatura de ambiente de entre 12°C a 14°C transcurrida este tiempo, se removieron las muestras de los moldes y se realizó el proceso de curado.



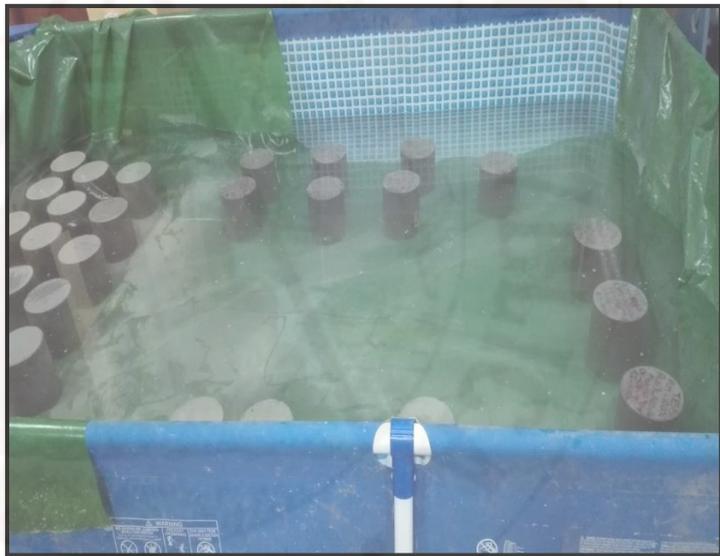
Fotografía 72. Rotulado de probetas de T1: 25%RM.



Fotografía 73. Rotulado de probetas de T2: 50%RM.



Fotografía 74. Peso Inicial de probetas antes de ser sumergidas.



Fotografía 75. Curado de probetas cilíndricas en la tina de curado.



Fotografía 76. Curado de probetas cilíndricas en la tina de curado.

Temperatura del agua de curado:

Las probetas cilíndricas se sumergieron en agua a temperatura controlada de entre 9.5°C a 11°C, durante 28 días para cada Tratamiento.

La temperatura del agua de curado de las probetas fue controlada mediante el uso de un termómetro (PH metro marca Dell), teniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 53. Control semanal de temperatura en curado de probetas.

Curado de Probetas de todos los Tratamientos	
Inicia : 23/05/2017	
Culmina : 24/06/2017	
Semana	Temperatura del agua en grados centígrados (°C)
1era. semana	10.3 °C
2da. semana	10.8 °C
3era. semana	10.5 °C
4ta. semana	10.5 °C
5ta. semana	9.7 °C

Fuente: Elaboración propia.



Fotografía 77. Control de temperatura inicial del agua de curado.



Fotografía 78. Control de temperatura final del agua de curado.

4.1.3. Determinación de Resistencia a Compresión de Probetas

Los ensayos de compresión del concreto se efectúan para determinar la calidad general del concreto, el cual fue realizado de acuerdo a la norma **NTP 339.034, (1999)** y **ASTM C39/C39M**. Métodos de prueba estándar para la resistencia a compresión en probetas cilíndricas, para ello se mencionará los materiales y equipos a utilizar para realizar el ensayo:

4.1.3.1. Probetas para ensayo a compresión

El resultado de resistencia a la compresión de cada tratamiento (T), corresponde el promedio de **siete** probetas cilíndricas ensayadas a los **28** días, a continuación, se presenta la identificación de cada Tratamiento, con su respectiva nomenclatura.



Fotografía 79. Nomenclatura de las probetas.

Tabla 54. Cuadro de Número de probetas para ensayo a compresión.

Resistencia específica a la Compresión	(T)	% Relave minero	Nomenclatura	N° de probetas
f'c =150 kg/cm2	T1	25%	25%RM	7 U
	T2	50%	50%RM	7 U
	T3	75%	75%RM	7 U
	T4	100%	100%RM	7 U
				28 U

Fuente: Elaboración Propia

Equipos para el ensayo a compresión

✓ Máquina para ensayo de compresión

Se utilizó una Prensa hidráulica Motorizada - digital para rotura de probetas cilíndricas de concreto de 15x30cm con una capacidad de 120 Tn, del laboratorio de la Universidad Nacional de Huancavelica.



Fotografía 80. Máquina compresora.

✓ Almohadillas Elastoméricas y Anillos de Retención

Se utilizaron almohadillas de neopreno de un espesor de 1.5 cm marca QTKF De 6 pulgadas de diámetro, con un 70D según al durómetro, de igual manera, se utilizó anillos de retención también conocidos como platos de retención con diámetro no menor al 102% del diámetro de la probeta, las cuales cumplen con la norma **ASTM C1231**.



Fotografía 81. Almohadillas y anillos de retención para ensayo.

4.1.3.2. Resultado de ensayo de resistencia a compresión de probetas

Se ensayaron 7 probetas por tratamiento que se plantearon las cuales son: 25%RM, 50%RM, 75%RM y 100%RM, a los 28 días de curado. Pevio al ensayo se registraron las medidas de cada probeta a ensayar para verificar su calidad.



Fotografía 82. Extracción de probetas, 24 horas antes del ensayo.



Fotografía 83. Probetas para ensayo de compresión.



Fotografía 84. Medida de probetas para ensayo de compresión.



Fotografía 85. Peso final de probetas para ensayo de compresión.



Fotografía 86. Colocado de muestra para ensayo de resistencia a compresión.



Fotografía 87. Ensayo de resistencia a compresión.



Fotografía 88. Falla de probetas sometidas a Ensayo de compresión.

Se registraron las distintas fallas producidas al realizar el ensayo de resistencia a la compresión de probetas, de acuerdo a la norma **NTP 339.034** los tipos de fallas son la siguiente:

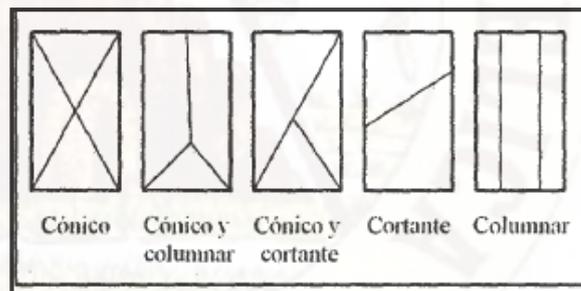


Figura 7. Tipos de fallas según NTP 339.034

De las cuales en el ensayo de resistencia a compresión de probetas de la presente tesis se registraron las siguientes fallas:



Fotografía 89. Falla cónico y cortante de probetas.



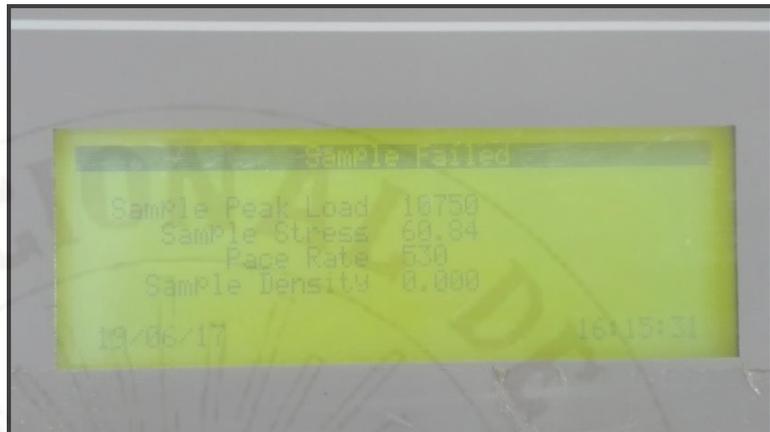
Fotografía 90. Falla cortante de probetas.



Fotografía 91. Falla cónica y cortante de probetas.



Fotografía 92. Probetas sometidas al ensayo de resistencia a compresión.



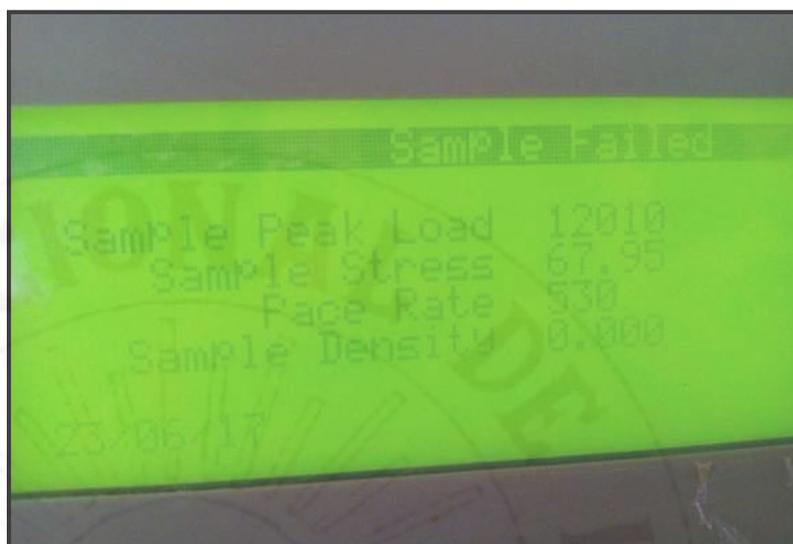
Fotografía 93. Lectura registrada de Resistencia del concreto del T1.



Fotografía 94. Lectura registrada de Resistencia del concreto del T2.



Fotografía 95. Lectura registrada de Resistencia del concreto del T3.



Fotografía 96. Lectura registrada de Resistencia del concreto del T4.

De esta manera se procedió con todas las probetas de cada Tratamiento (T), obteniendo diferentes fallas y registrando todas las lecturas de resistencia a compresión (f_c) en cada caso, las cuales se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 55. Cuadro de resistencia a compresión de probetas del T1: 25%RM.

Edad (días)	Muestra	Fuerza de Compresión (kg)	dimensión de testigo		f_c (kg/cm ²)
			H (cm)	D (cm)	
28	M1	15920	30	15	90.09
	M2	10750	30	15	60.83
	M3	11040	30	15	62.47
	M4	12100	30	15	68.47
	M5	10570	30	15	59.81
	M6	10960	30	15	62.02
	M7	10050	30	15	56.87
Promedio de f_c (kg/cm ²)					65.80

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 56. Cuadro de esfuerzo de compresión de probetas del T2: 50%RM.

Edad (días)	Muestra	Fuerza de Compresión (kg)	dimensión de testigo		f _c (kg/cm ²)
			H (cm)	D (cm)	
28	M1	26010	30	15	147.19
	M2	26600	30	15	150.53
	M3	25520	30	15	144.41
	M4	23490	30	15	132.93
	M5	24200	30	15	136.94
	M6	27090	30	15	153.30
	M7	25540	30	15	144.53
Promedio de f _c (kg/cm ²)					144.26

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 57. Cuadro de esfuerzo de compresión de probetas del T3: 75%RM.

Edad (días)	Muestra	Fuerza de Compresión (kg)	dimensión de testigo		f _c (kg/cm ²)
			H (cm)	D (cm)	
28	M1	19380	30	15	109.67
	M2	20090	30	15	113.69
	M3	20240	30	15	114.53
	M4	20530	30	15	116.18
	M5	21050	30	15	119.12
	M6	19980	30	15	113.06
	M7	19700	30	15	111.48
Promedio de f _c (kg/cm ²)					113.96

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 58. Cuadro de esfuerzo de compresión de probetas del T4: 100%RM.

Edad (días)	Muestra	Fuerza de Compresión (kg)	dimensión de testigo		f'c (kg/cm ²)
			H (cm)	D (cm)	
28	M1	11860	30	15	67.11
	M2	11900	30	15	67.34
	M3	11360	30	15	64.28
	M4	12860	30	15	72.77
	M5	12010	30	15	67.96
	M6	12960	30	15	73.34
	M7	12080	30	15	68.36
Promedio de f'c (kg/cm ²)					68.74

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 59. Resumen de ensayo de resistencia a la compresión de probetas (F'c).

Muestra	Tratamiento			
	T1: 25%RM	T2: 50%RM	T3: 75%RM	T4: 100%RM
M1	90.09	147.19	109.67	67.11
M2	60.83	150.53	113.69	67.34
M3	62.47	144.41	114.53	64.28
M4	68.47	132.93	116.18	72.77
M5	59.81	136.94	119.12	67.96
M6	62.02	153.30	113.06	73.34
M7	56.87	144.53	111.48	68.36
resistencia a la compresión (kg/cm²)	65.80	144.26	113.96	68.74

Fuente: Elaboración Propia

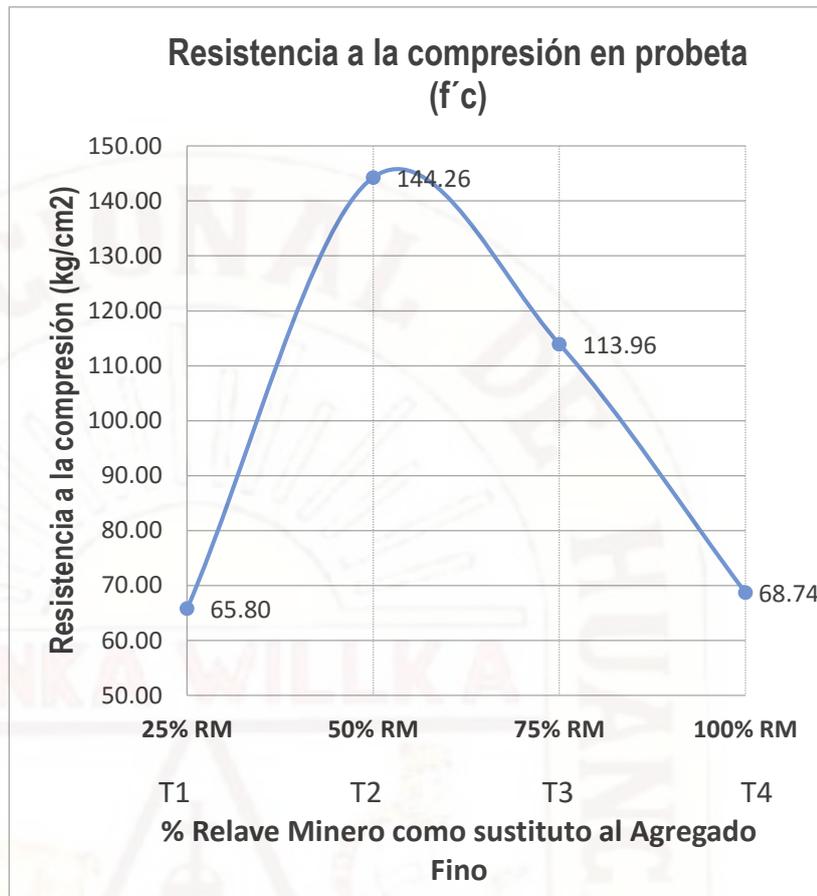


Figura 8. Gráfico del comportamiento de resistencia a compresión promedio en relación al % de incorporación de RM.

La resistencia a la compresión de probetas de concreto (F'c) con los diferentes tratamientos (C/T), se realizó para escoger la mejor dosificación de uno de estos tratamientos que muestren mayores resultados de resistencia a la compresión, para ello se realizó un análisis comparativo entre la resistencia a la compresión de los diferentes tratamientos realizados y la resistencia de diseño sin ningún tratamiento (S/T).

Se sabe que, al ensayar la resistencia a compresión de un cilindro a los 28 días, tiene que ser el 99.9% de la resistencia a compresión para la cual se diseñó ($0.999 \times F'c$) si esta no recibió ningún tratamiento (S/T), para el caso de la presente tesis el F'c de diseño es 150 kg/cm² por lo que el F'c mínimo de diseño sin tratamiento es:

$$F'c \text{ mínimo de diseño} = 0.999 \times 150 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 149.85 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

De acuerdo al análisis anterior se tiene los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 60. Resistencia a la compresión alcanzada C/T según al F'c mínimo de diseño en probetas S/T.

T	Resistencia a la compresión de probeta C/T (F'c)	F'c mínimo de Diseño S/T	Resistencia alcanzada C/T (%)
T1: 25%RM	65.80 kg/cm ²	149.85 kg/cm ²	43.91%
T2: 50%RM	144.26 kg/cm ²		96.27%
T3: 75%RM	113.96 kg/cm ²		76.05%
T4: 100%RM	68.74 kg/cm ²		45.87%

Fuente: Elaboración propia.

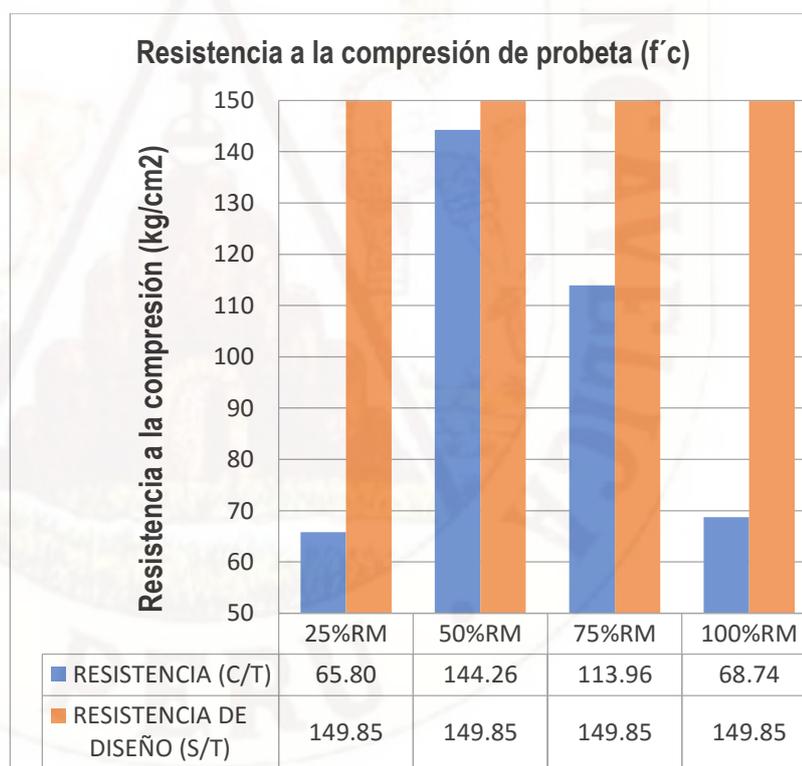


Figura 9. Gráfico comparativo de resistencia a compresión promedio de probeta C/T en relación a resistencia de diseño S/T.

La Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) obtenida en cada tratamiento (T), varía debido a la incorporación de Relave Minero (RM) como sustituto del agregado fino en porcentajes de 25%, 50%, 75% y

100%; siendo el **T2: 50%RM** el que obtiene mejores resultados, por la que se optó usar esta dosificación en la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblable.

4.1.4. Elaboración de Bloques de Concreto tipo ensamblable (BCE):

4.1.4.1. Elaboración del molde para el BCE

Los moldes para bloques de concreto generalmente se fabrican de materiales de acero y madera las cuales que por sus características nos brindan resistencia para la elaboración de bloques.

En la presente investigación las dimensiones del molde se considerarán en función a las dimensiones de bloques de concreto según la **NTP 399.602, (2002)**. A continuación, se muestran las dimensiones del molde en distintas vistas.

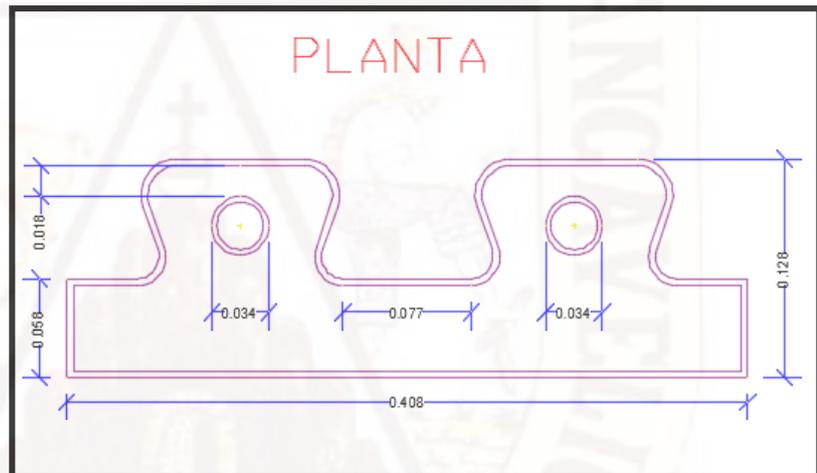


Figura 10. Dimensiones en planta del molde. Elaboración propia.

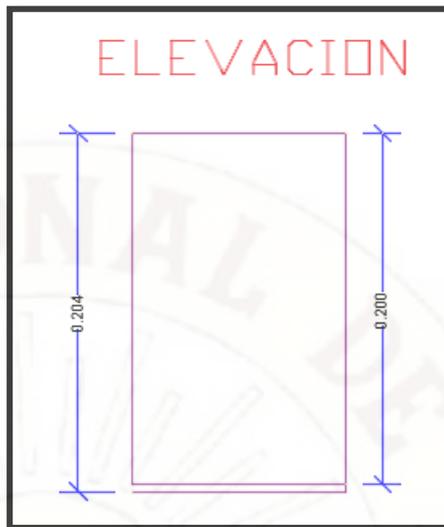


Figura 11. Dimensiones en elevación del molde. Elaboración propia.

El molde se elaboró a base de plancha de acero en 6 distintas piezas que encajan entre sí.



Fotografía 97. Proceso de fabricación de molde.



Fotografía 98. Proceso final del molde.

El molde metálico tiene un mecanismo de ensamblado la cual consta de diferentes partes por lo que se arman entre sí. Nos permite fabricar bloques de concreto ensamblable con dimensiones de 40 cm x 12 cm x 20 cm.

4.1.4.2. Elaboración de bloque de concreto tipo ensamblable

En la presente investigación se elaboró bloques de concreto de tipo ensamblable (BCE) de clase **P** (bloques usados en la construcción de muros portantes); se le denomina así porque este bloque cuenta con un cambio en el diseño comparado con el convencional, ya que se innovo para permitir el ensamble entre ellos mismos sin la necesidad de mortero o algún otro material adhesivo.

Esta unidad fue elaborada con los mismos materiales convencionales agregando un componente extra que es el Relave Minero (RM).

Dimensionamiento

Las medidas modulares para el bloque de concreto tipo ensamblable, se basó en la norma **NTP 399.602**, como esta unidad se usará en albañilería armada la norma nos especifica las dimensiones mínimas para bloques.

Tabla 61. Dimensiones mínimas para bloques de concreto.

Largo (L)	Ancho (a)	Alto (h)
29 cm	14 cm	19 cm
39 cm	14 cm	
39 cm	12 cm	

Fuente. NTP 399.602

Es así que se propuso un nuevo modelo de bloque de concreto de tipo ensamblable con las siguientes dimensiones que se muestran a continuación:

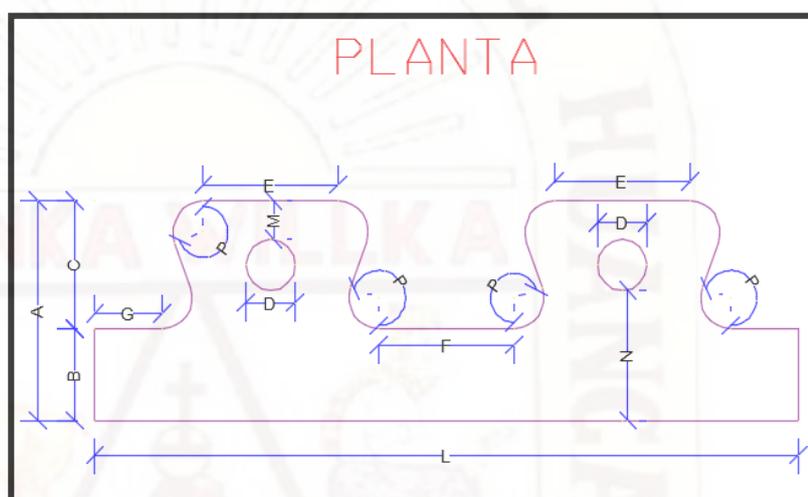


Figura 12. Vista en planta del bloque de concreto ensamblable. Elaboración propia.

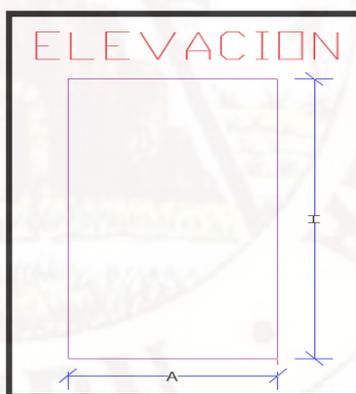


Figura 13. Vista en elevación del bloque de concreto ensamblable. Elaboración propia.

Tabla 62. Dimensiones del Bloque de Concreto Tipo Ensamblable.

Nomenclatura	Dimensión
L	40.00 cm
A	12.00 cm
B	5.00 cm
C	7.00 cm
D	2.80 cm
E	7.70 cm
F	7.70 cm
G	3.80 cm
P	250°
M	2.10 cm
N	7.10 cm
H	20.00 cm

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el bloque de concreto tipo ensamblable (BCE) que se propone tiene la siguiente forma:

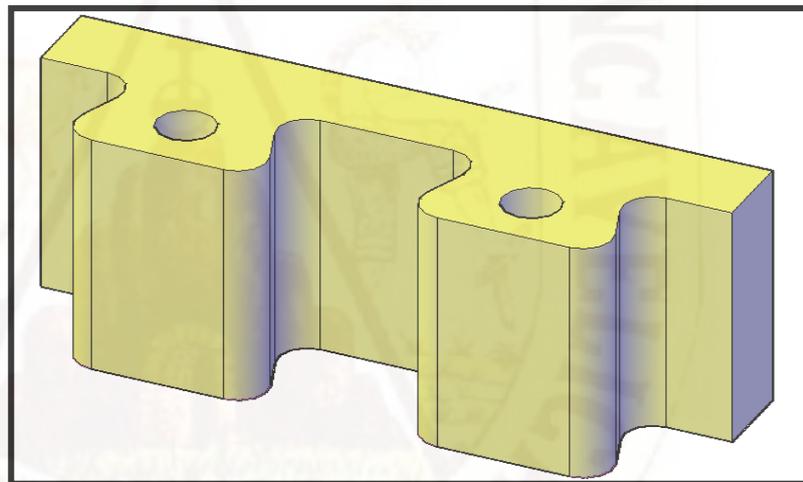


Figura 14. Bloque de concreto Ensamblable. Elaboración propia.

a) Dosificación:

Como se sabe la dosificación es el proporcionamiento de los agregados, agua y cemento que conforman la mezcla para la elaboración de la unidad; en nuestro caso se incorporó el relave minero como reemplazo de una cierta cantidad de agregado fino (arena gruesa).

Para este reemplazo de agregado fino por relave minero se elaboró una etapa anterior la cual consistió en realizar la dosificación de mezcla para un concreto de $f'c=150$ kg/cm² con diferentes tratamientos (25%, 50%, 75% y 100% de R.M. por agregado fino), las cuales fueron mezcladas en probetas y se analizaron para distinguir que tratamiento nos da mejores resultados con respecto a la resistencia y la cual se aproxima al esfuerzo de 150 kg/cm².

Los resultados que se obtuvieron a través del ensayo de resistencia a compresión es lo siguiente:

Tabla 63. Resultados de esfuerzos de compresión de cada tratamiento.

Edad	Muestra	$f'c$ (kg/cm ²)			
		T1: 25% RM	T2: 50% RM	T3: 75% RM	T4: 100% RM
Promedio de $f'c$ (kg/cm ²)		65.79	144.26	113.96	68.74

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluyó que el T2: 50% RM nos dió resultados óptimos las cuales son próximos al esfuerzo de 150 kg/cm² y mejor en comparación a los distintos tratamientos.

Es así que por los resultados del T2: 50% RM, se eligió la dosificación de este para la elaboración del bloque de concreto tipo ensamblable (BCE) con contenido de relave minero.

Tabla 64. T2: Dosificación de mezcla con incorporación de 50% de RM.

Cemento Portland Tipo I	Arena Gruesa	Piedra 3/8"	Agua	RM
1.000	1.644	2.090	0.544	1.644
Mezcla para un Molde de Bloque de concreto Ensamblable				
2.08 kg	3.43 kg	4.36 kg	1.13 lt	3.43 kg

Fuente: Elaboración Propia

Para la elaboración de la mezcla de concreto se consideró un desperdicio de 10% para un solo bloque, es así que a continuación se muestra la dosificación con dicho desperdicio.

Tabla 65. T2: Mezcla con incorporación de 50% de RM incluido desperdicio de 10%.

Cemento Portland Tipo I	Arena Gruesa	Piedra 3/8"	Agua	RM
2.29 kg	3.77 kg	4.79 kg	1.25 lt	3.77 kg

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo se elaboró bloques de concreto ensamblable (BCE) sin contenido de relave minero a la cual se le denominara **T0: 0%RM**, para realizar una comparación entre bloques con y sin relave minero, la cual permitió ver la incidencia de este material. A continuación, se muestra la dosificación para la unidad sin relave minero.

Tabla 66. T0: Dosificación de mezcla patrón sin RM.

Cemento Portland Tipo I	Arena Gruesa	Piedra 3/8"	Agua	RM
1.000	3.289	2.090	0.544	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 67. Mezcla con 0% de RM incluido desperdicio de 10% para un molde.

Cemento Portland Tipo I	Arena Gruesa	Piedra 3/8"	Agua	RM
2.08 kg	6.86 kg	4.36 kg	1.13 lt	0.00 kg
Mezcla con 10 % de desperdicio				
2.29 kg	7.54 kg	4.79 kg	1.25 lt	0.00 kg

Fuente: Elaboración Propia

b) Cantidad de bloques de concreto ensamblable:

La cantidad de muestras (bloques de concreto ensamblable) que se necesitó para la investigación se definieron de acuerdo a la **NTP 399.604, (2002)**. "UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto", de

acuerdo al ensayo que se va a realizar. En este caso se determinó realizar los ensayos de resistencia a compresión y absorción.

La norma estipula que como mínimo las muestras para el ensayo de resistencia a compresión son 3, pero en la investigación se optó por realizar 7 especímenes para dar veracidad y realce a los datos. A sí mismo para el ensayo de absorción la norma específica 3 especímenes para su análisis las cuales se optaron por estos.

A continuación, mostraremos la cantidad de muestras que se definió para la investigación:

Tabla 68. Número de bloques de concreto tipo ensamblable para cada ensayo correspondiente.

Tratamiento	% Relave Minero (RM)	N° de probetas	
		Ensayo de Resistencia a Compresión	Ensayo de Absorción
T0	0%	7	3
T2	50%	7	3
Total de probetas		14	6

Fuente: Elaboración Propia

c) Elaboración, colocado y curado de Bloques de concreto tipo Ensamblable:

Una vez determinado la dosificación (Tabla 66-68) para bloques con 50%RM y 0%RM, así mismo la cantidad de especímenes. Se procedió con el mezclado, el cual se realizó de modo manual considerando en la dosificación un 10% de desperdicio por cada bloque.

Proceso de mezclado:

- ✓ Se dispuso los materiales que son arena gruesa, piedra de 3/8", cemento, agua y relave minero para su pesado según la dosificación correspondiente.



Fotografía 99. Pesos de arena gruesa, piedra de 3/8", cemento y agua para el T0 0% RM.





Fotografía 100. Pesos de arena gruesa, relave minero, piedra de 3/8", cemento y agua para el T2 50% RM.

- ✓ Para el T0 0% RM, se comenzó la mezcla disponiendo de arena gruesa y piedra de 3/8" en una bandeja apta para el mezclado, seguidamente se agregó el cemento realizando el mezclado en seco empleando lampa y badilejo. Después del mezclado en seco se incorporó el agua en el centro del hoyo de la mezcla, para luego mezclar uniformemente hasta obtener la consistencia deseada.



Fotografía 101. Disposición de arena gruesa y piedra de 3/8" en la bandeja.



Fotografía 102. Mezcla del concreto para el T0 0% RM.

- ✓ Para el T2 50% RM, se inició el mezclado previamente en seco, comenzando con la unión del agregado pétreo y relave minero para luego agregarle el cemento portland, ya homogenizada esta mezcla se agregó agua hasta obtener la consistencia deseada como puede observarse.



Fotografía 103. Disposición de arena gruesa, piedra de 3/8" y relave minero en la bandeja.



Fotografía 104. Mezcla del concreto para el T2 50% RM.

- ✓ Para determinar la consistencia adecuada del concreto de acuerdo al diseño de mezcla, se realizó el ensayo de cono de Abrams (Asentamiento de concreto fresco), según la norma **NTP 339.035** y **ASTM C 143**, para cada tratamiento que corresponda.



Fotografía 105. Ensayo de cono de Abrams para el T0 0% RM.



Fotografía 106. Ensayo de cono de Abrams para el T2 50% RM.

- ✓ Una vez de realizado el ensayo de cono de Abrams para cada tratamiento, se ha determinado la cantidad de agua necesaria para la consistencia deseada; de acuerdo al ensayo se vio que la mezcla necesitó de más agua debido al clima y la incorporación de relave minero, donde a continuación se muestra la dosificación que se determinó en la práctica.

Tabla 69. Dosificación de mezcla para slump de 3" en tratamiento T0: 0% RM.

Cemento Portland Tipo I	Arena Gruesa	Piedra 3/8"	Agua	RM
1	3.289	2.090	0.663	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 70. Dosificación de mezcla para slump de 3" en tratamiento T2: 50% RM.

Cemento Portland Tipo I	Arena Gruesa	Piedra 3/8"	Agua	RM
1	1.644	2.090	0.746	1.644

Fuente: elaboración propia.

PROCESO DE MOLDEADO DE MEZCLA:

- ✓ Antes de moldear la mezcla se armó el bloque metálico para posterior colocado de la mezcla, además de armado se procedió a cubrir el interior del molde con petróleo.



Fotografía 107. Cubriendo el molde de petróleo para su armado, para su respectivo armado.

- ✓ Obtenido la mezcla se procedió a vaciarla dentro del molde metálico en 3 capas, se depositó la primera capa de mezcla en el molde y con la ayuda de una varilla se acomodó la mezcla, después se vibró manualmente. Se prosiguió haciendo el mismo proceso en la segunda y tercera capa.



Fotografía 108. Moldeado del bloque en la 3 capa, con su respectivo chuseado.



Fotografía 109. Vibrado manual del bloque.

- ✓ Una vez elaborado los bloques, estos deben permanecer en un lugar que les garantice protección del sol y vientos, con la finalidad de que puedan fraguar sin secarse. El periodo de fraguado de los bloques fue de un día para otro.



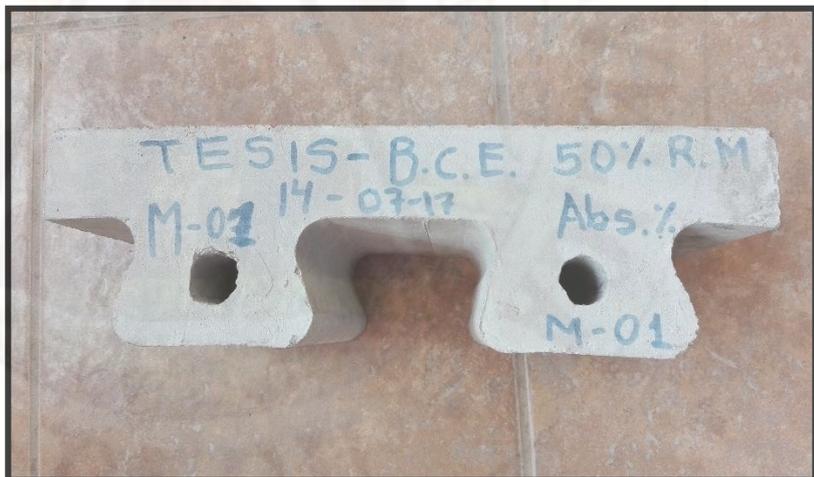
Fotografía 110. Culminación de la elaboración de los bloques.

PROCESO DE DESMOLDEADO DE BLOQUES:

- ✓ Para el desmoldado de los bloques, se procedió a desarmar las piezas del molde de manera cuidadosa para evitar que los bloques se dañen.
- ✓ Después se procedió a escribir la nomenclatura de cada bloque con respecto al tratamiento y al ensayo que corresponde.



Fotografía 111. Rotulado de bloques de concreto ensamblable del T0 0% RM para el ensayo de resistencia a compresión.



Fotografía 112. Rotulado de bloques de concreto ensamblable del T2 50% RM para el ensayo de absorción.

PROCESO DEL CURADO DE BLOQUES:

El curado de los bloques consiste en mantener los bloques húmedos para permitir que continúe la reacción química del cemento, con el fin

de obtener una buena calidad y resistencia especificada. Por esto es necesario curar los bloques como cualquier otro producto de concreto. El procedimiento de curado de bloques de concreto ensamblable se realizó de acuerdo a las normas **NTP 339.033** y **ASTM C 31**, donde el propósito de este proceso es maximizar la hidratación del cemento.

- ✓ Inmediatamente después de desmoldar y poner sus nomenclaturas a los especímenes, fueron sumergidos los bloques por un periodo de 28 días a una temperatura de ambiente de entre 10°C a 11°C en el transcurso de este tiempo.



Fotografía 113. Pesado inicial del bloque de concreto ensamblable.



Fotografía 114. Curado de bloques de concreto en la tina de curado.

Temperatura del agua de curado:

La temperatura del agua de curado de los bloques de concreto ensamblable fue controlada mediante el uso de un termómetro (PH metro marca Dell), teniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 71. Control semanal de temperatura en curado de bloques de concreto ensamblable del T0 0 % RM.

Curado de Bloques Ensamblables de T0 0% RM	
Inicia : 23/06/2017	
Culmina : 01/08/2017	
Semana	Temperatura del agua en grados centígrados (°C)
1era. semana	9.7 °C
2da. semana	11.35 °C
3era. semana	9.7 °C
4ta. semana	10 °C
5ta. semana	10 °C
6ta. semana	10°C

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72. Control semanal de temperatura curado de bloques de concreto ensamblable del T2 50 % RM.

Curado de Bloques Ensamblables de T2 50% RM	
Inicia : 06/07/2017	
Culmina : 14/08/2017	
Semana	Temperatura del agua en grados centígrados (°C)
1era. semana	9.9 °C
2da. semana	10 °C
3era. semana	9.6 °C
4ta. semana	8.7 °C
5ta. semana	9 °C
6ta. semana	8.8 °C

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 115. Control de temperatura del curado de bloques de concreto ensamblable.

4.1.5. Determinación de Resistencia a Compresión de bloques de concreto tipo ensamblable:

Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de bloques de concreto tipo ensamblable (BCE), se efectuará los ensayos de

laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en la Norma **NTP 399.604** (Métodos de muestreo y ensayos de unidades de albañilería de concreto), la cual menciona que la cantidad mínima de unidades de albañilería para el ensayo de resistencia a compresión es 3 especímenes de albañilería; en la presente investigación se ensayan 7 bloques de concreto tipo ensamblable (patrón) T0: 0%RM y 7 bloques de concreto tipo ensamblable (con relave minero) T2: 50%RM, para determinar un promedio de resistencia a la compresión de mayor veracidad.

Por otro lado, en la presente investigación, la clase para fines estructurales del bloque de concreto tipo ensamblable es de **clase P** (bloques usados en la construcción de muros portantes) por lo que, de acuerdo a la **RNE E.070** la resistencia característica a compresión mínima (f'_b) es de 50 kg/cm², por lo tanto teniendo los parámetros de la resistencia a compresión de BCE, se procederá mencionando los materiales, equipos a utilizar y el procedimiento a seguir:

4.1.5.1. Bloques de concreto tipo ensamblable con T2: 50%RM y T0: 0%RM para ensayo a compresión:

El resultado de resistencia a la compresión de cada tratamiento (T0 y T2), corresponde el promedio de 7 bloques de concreto tipo ensamblable (BCE) ensayadas a los 28 días, a continuación, se presenta la identificación y cantidad de cada Tratamiento, con su respectiva nomenclatura.



Fotografía 116. Nomenclatura de los bloques de concreto patrón T0: 0%RM.



Fotografía 117. Nomenclatura de los bloques de concreto patrón T0: 50%RM.

Tabla 73. Cuadro de Número de Bloques para ensayo a compresión.

T	Dosificación	Nomenclatura	N° BCE
T0	1:3.289:2.090 / 0.663 (0.00 RM)	0%RM	7 U
T2	1:1.644:2.090 / 0.746 (1.644 RM)	50%RM	7 U
			14 U

Fuente: Elaboración Propia

Equipos para el ensayo a compresión de BCE:

✓ **Máquina para ensayo de compresión**

Se utilizó la Prensa hidráulica Motorizada del laboratorio de concreto de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica.



Fotografía 118. Máquina compresora.

✓ **Placas de acero de espesor de $\frac{3}{4}$ de pulgada:**

La máquina será equipada con dos placas de soporte de acero, uno de los cuales es una rótula con plato que transmitirá la carga a la superficie superior del espécimen de la unidad de albañilería, y la otra un bloque de acero rígido plano sobre el cual descansará el espécimen. El área de estos bloques de acero no es suficiente para cubrir la sección del espécimen de albañilería por lo que se colocará entre estos, placas de acero que cumplan los requisitos de la norma **NTP 399.604**.



Fotografía 119. Placas de acero de 3/4".

4.1.5.2. Procedimiento a seguir para el ensayo a compresión de BCE:

Se ensayaron 7 Bloques de concreto tipo ensamblable por tratamiento, las cuales son: T0: 0%RM (patrón) y T2: 50%RM, a los 28 días de curado.



Fotografía 120. Extracción de la tina de curado del BCE, 24 horas antes del ensayo.



Fotografía 121. BCE para ensayo de compresión.

Previo al ensayo se registraron las medidas de cada Bloque de concreto tipo ensamblable para verificar el área neta y bruta de la superficie.



Fotografía 122. Medida del BCE para ensayo de compresión.



Fotografía 123. Peso final de probetas para ensayo de compresión.



Fotografía 124. Colocado y ensayo de muestra para ensayo de resistencia a compresión.



Fotografía 125. Ensayo de resistencia a compresión de BCE.



Fotografía 126. Falla de probetas sometidas a Ensayo de compresión.



Fotografía 127. Falla columnar de BCE.



Fotografía 128. Falla por cono y separación de BCE.



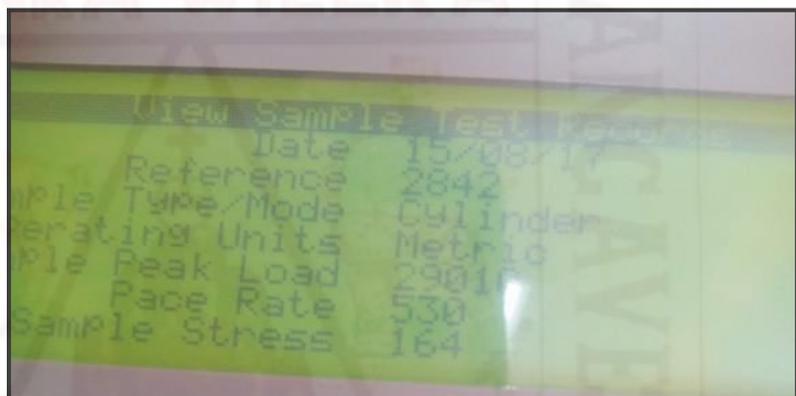
Fotografía 129. BCE sometidas al ensayo de resistencia a compresión.



Fotografía 130. BCE sometida al ensayo de resistencia a compresión.



Fotografía 131. Lectura registrada de Resistencia del Bloque del T0: 0%RM.



Fotografía 132. Lectura registrada de Resistencia del Bloque del T2: 50%RM.

4.1.5.3. Resultados de ensayo a compresión de Bloque de concreto tipo ensamblable:

Después de realizar todos los ensayos a los 7 bloques de concreto tipo ensamblable (BCE) de cada Tratamiento (T), se procedió a realizar un resumen de las resistencias obtenidas de cada muestra (M), determinando antes el área bruta (AB) con la cual se calculará la resistencia de acuerdo a la norma actual **RNE E.070**; los datos obtenidos del cálculo de la resistencia a la compresión de **BCE** (f'_{b}) se detalla a continuación:

Tabla 74. Cuadro de esfuerzo de compresión de BCE (patrón) del T0: 0%RM.

Edad (días)	Muestra	Peso (kg)	Fuerza de Compresión (kg)	Superficie de BCE		f' b (kg/cm ²)
				AN (cm ²)	AB (cm ²)	
28	M1	15.05	27337.620	322.0	340.0	80.40
	M2	15.05	20817.620	322.0	340.0	61.23
	M3	15.00	27227.620	322.0	340.0	80.08
	M4	14.87	21577.620	322.0	340.0	63.46
	M5	14.93	23367.620	322.0	340.0	68.73
	M6	14.95	21367.620	322.0	340.0	62.85
	M7	14.90	23827.620	322.0	340.0	70.08
Promedio de f' b (kg/cm ²)						69.55

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 75. Cuadro de esfuerzo de compresión de BCE del T2: 50%RM.

Edad (días)	Muestra	Peso (kg)	Fuerza de Compresión (kg)	Superficie de BCE		f' b (kg/cm ²)
				AN (cm ²)	AB (cm ²)	
28	M1	14.74	24837.620	322.0	340.0	73.05
	M2	14.78	28177.620	322.0	340.0	82.88
	M3	14.80	26207.620	322.0	340.0	77.08
	M4	14.75	30297.620	322.0	340.0	89.11
	M5	14.85	24047.620	322.0	340.0	70.73
	M6	14.70	26457.620	322.0	340.0	77.82
	M7	14.85	29017.620	322.0	340.0	85.35
Promedio de f' b (kg/cm ²)						79.43

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 76. Resumen de ensayo a Resistencia a compresión de BCE.

Edad	Muestra	Peso de BCE (kg)		Resistencia a compresión de BCE f' b (kg/cm ²)	
		T0: 0%RM	T2: 50%RM	T0: 0%RM	T2: 50%RM
28	M1	15.05	14.74	80.40	73.05
	M2	15.05	14.78	61.23	82.88
	M3	15.00	14.80	80.08	77.08
	M4	14.87	14.75	63.46	89.11
	M5	14.93	14.85	68.73	70.73
	M6	14.95	14.70	62.85	77.82
	M7	14.90	14.85	70.08	85.35
Promedio		14.96	14.78	69.55	79.43

Fuente: Elaboración Propia

La resistencia a la compresión (f'b) que representa el valor promedio de la resistencia para el 100% de los especímenes ensayados, se presenta a continuación:

Tabla 77. Resistencia final de los BCE.

Tratamiento	Peso (kg)	Resistencia a Compresión de BCE (f' b)
T0: 0%RM	14.96	69.55 kg/cm ²
T2: 50%RM	14.78	79.43 kg/cm ²

Fuente: Elaboración Propia

Para una mejor interpretación de los resultados se muestra el siguiente gráfico, donde se observa con mayor detalle.

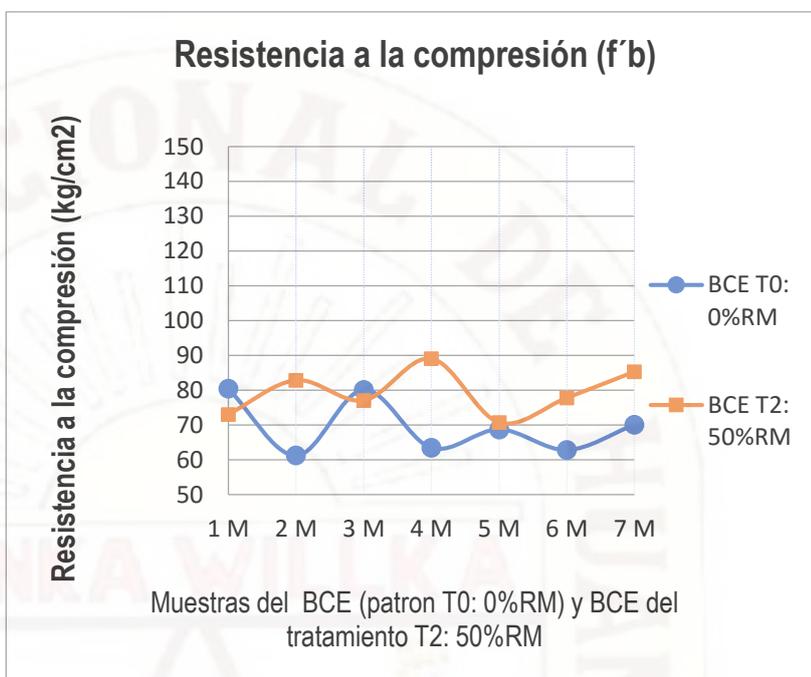


Figura 15. Comportamiento de resistencia a compresión del T0: 0%RM y T2: 50%RM del BCE.

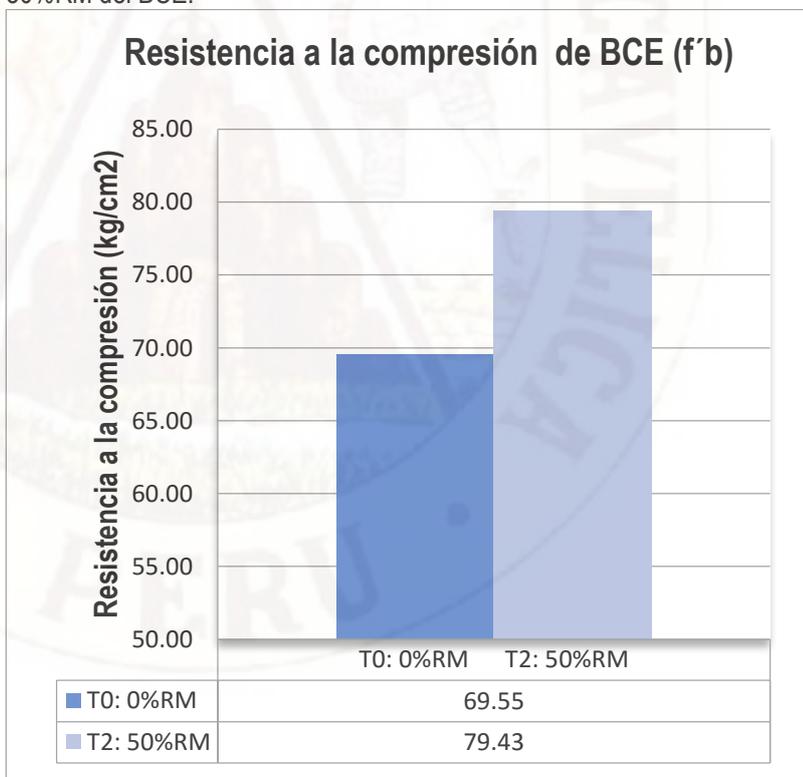


Figura 16. Comparación de resistencia a compresión promedio del BCE T0: 0%RM y BCE T2: 50%RM.

La Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) obtenida de los BCE, tanto en la mezcla patrón T0: 0% RM como en el T2: 50%RM varía debido a la incorporación de Relave Minero (RM) como sustituto del agregado fino, siendo el BCE del T2: 50%RM el que obtiene mayores resultados a comparación del BCE (patrón T0: 0%RM).

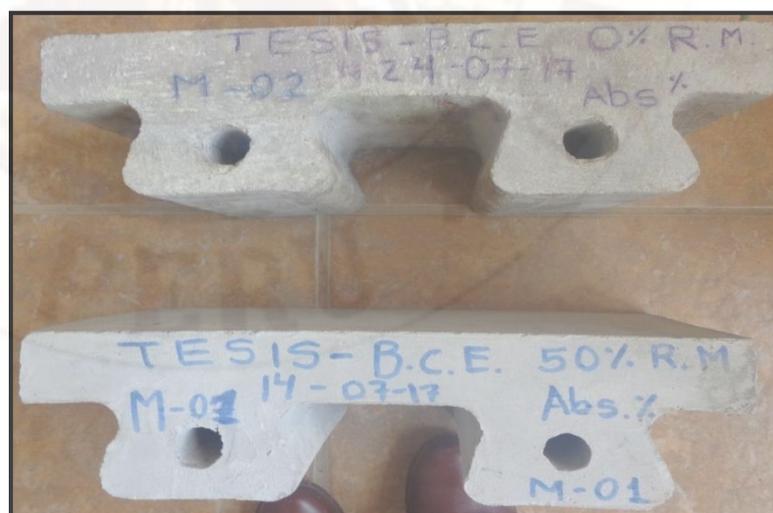
4.1.6. Determinación del porcentaje de absorción de bloques de concreto tipo ensamblable:

El porcentaje de absorción se calcula para determinar la porosidad de la unidad de albañilería, mientras más elevada sea el % de absorción será más porosa y por tanto menos resistente al intemperismo.

El límite máximo de absorción que se especifica para las unidades de concreto clase P es de 12% y para la clase NP es de 15% según RNE E.070. En la presente investigación se realizan bloques de concreto tipo ensamblable con incorporación de 50%RM, del tipo **clase P**.

El ensayo para determinar el porcentaje de absorción del bloque de concreto fue realizado de acuerdo a la norma NTP 399.604. Métodos de muestreo y ensayos de unidades de albañilería de concreto, para ello se mencionará los materiales, equipos a utilizar y el procedimiento a seguir:

4.1.6.1. Bloques de concreto tipo ensamblable con T2: 50%RM y T0: 0%RM para determinar el % de absorción:



Fotografía 133. Nomenclatura de los BCE patrón y con tratamiento.

Tabla 78. Cuadro de número de BCE para ensayo de % de absorción.

T	Dosificación	Nomenclatura	N° BCE
T0	1:3.289:2.090 / 0.663 (0.00 RM)	BCE 0%RM	3 U
T2	1:1.644:2.090 / 0.746 (1.644 RM)	BCE 50%RM	3 U
			6 U

Fuente: Elaboración Propia

Equipos para el ensayo del porcentaje de absorción

✓ Horno:



Fotografía 134. Horno a temperatura de 100°C a 115°C.

✓ Balanza calibrada: La balanza utilizada tiene un error de 0,5 % del peso del espécimen.



Fotografía 135. Balanza calibrada.

- ✓ Tina con agua.



Fotografía 136. Tina con agua a temperatura registrada.

4.1.6.2. Procedimiento para el ensayo del porcentaje de absorción

El procedimiento para el ensayo del porcentaje de absorción se realizó de acuerdo a la norma **NTP 399.604** utilizando **tres** unidades de bloque de concreto tipo ensamblable enteras, tanto del BCE (patrón T0: 0%RM) y del BCE del **T2: 50%RM**.

Nomenclatura de

- ✓ Extracción de los bloques de concreto tipo ensamblable de la tina de curado para el respectivo ensayo.



Fotografía 137. Extracción de BCE de la tina de curado.

- ✓ Subsecuente a la extracción del BCE, se ha secado en el horno a 100°C a 115°C por no menos de 24 horas, para evitar que tenga % de humedad, y se dejó reposar un tiempo de 30 min al aire libre.



Fotografía 138. Secado de BCE en el horno por 24 horas.



Fotografía 139. Extracción del BCE pasado las 24 horas.

- ✓ Posteriormente al secado, se realizó los pesos de cada muestra de BCE 3 veces en intervalos de 2 horas para evitar errores, registrando así los pesos de los especímenes secados (W_d).



Fotografía 140. Peso seco (W_d) del BCE patrón.



Fotografía 141. Peso seco (W_d) del BCE con T2: 50%RM.

- ✓ Se ha sumergido los especímenes de prueba en agua por 24 horas para después sacar del agua y drenarlo por un minuto retirando el agua superficial visible con un paño.



Fotografía 142. Introducción al agua del BCE por 24 horas.



Fotografía 143. Absorción del agua superficial del BCE con un paño.
✓ Posteriormente al drenado, se realizó los pesos del BCE 3 veces, registrando así los pesos de los especímenes saturados (W_s).



Fotografía 144. Peso húmedo (W_s) del BCE patrón.



Fotografía 145. Peso húmedo (W_s) del BCE con T2: 50%RM.

4.1.6.3. Resultados del ensayo del porcentaje de absorción de Bloques de concreto tipo ensamblable

Después de realizar todos los ensayos de los 3 bloques de concreto tipo ensamblable; tanto del BCE (patrón) como del BCE con Tratamiento (T2: 50%RM), se procedió a realizar un resumen de los porcentajes de absorción obtenidas de cada muestra (M) detallados a continuación:

Tabla 79. Cuadro de peso seco (W_d) de cada BCE.

T	Muestra	Wd 1 (kg)	Wd 2 (kg)	Wd 3 (kg)	Peso seco Promedio (Wd)
T0: 0%RM	M1	14.250	14.160	14.160	14.190 kg
	M2	13.910	13.910	13.890	13.903 kg
	M3	14.110	14.100	14.100	14.103 kg
T2: 50%RM	M1	12.890	12.940	12.940	12.923 kg
	M2	13.110	13.110	13.110	13.110 kg
	M3	13.080	13.060	13.050	13.050 kg

Fuente: elaboración propia.

Tabla 80. Cuadro de peso saturado (W_s) de cada BCE.

T	Muestra (M)	Ws 1 (kg)	Ws 2 (kg)	Ws 3 (kg)	Peso Saturado Promedio (Ws)
T0: 0%RM	M1	14.900	14.770	14.770	14.813 kg
	M2	14.560	14.550	14.550	14.553 kg
	M3	14.770	14.750	14.750	14.750 kg
T2: 50%RM	M1	14.470	14.470	14.470	14.470 kg
	M2	14.650	14.660	14.640	14.650 kg
	M3	14.480	14.490	14.490	14.487 kg

Fuente: elaboración propia.

Teniendo los respectivos promedios de los pesos, se procedió a calcular el porcentaje de absorción de acuerdo a lo estipulado en la norma **NTP 399.604**, el cual menciona la siguiente formula:

$$\text{Absorción (\%)} = \left[\frac{W_s - W_d}{W_d} \right] \times 100$$

Donde:

W_s = peso saturado del espécimen, (kg)

W_d = peso seco al horno del espécimen, (kg)

Tabla 81. Cuadro de resultado de Absorción (%) de cada BCE.

Tratamiento	Muestra	Wd (kg)	Ws (kg)	Absorción (%)
T0: 0%RM	M1	14.190 kg	14.813 kg	4.393%
	M2	13.903 kg	14.553 kg	4.675%
	M3	14.103 kg	14.750 kg	4.632%
T2: 50%RM	M1	12.923 kg	14.470 kg	11.968%
	M2	13.110 kg	14.650 kg	11.747%
	M3	13.050 kg	14.487 kg	10.896%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 82. Promedio de porcentaje de Absorción de BCE patrón y BCE de T2.

Característica de BCE	RM	Muestra	Absorción (%)	Absorción promedio (%)
BCE patrón (sin Relave Minero)	T0: 0%RM	M1	4.393%	4.567%
		M2	4.675%	
		M3	4.632%	
BCE con Tratamiento	T2: 50%RM	M1	11.968%	11.537%
		M2	11.747%	
		M3	10.896%	

Fuente: elaboración propia.

4.1.7. Determinación de la densidad del Bloque de Concreto tipo ensamblable

Teniendo los respectivos pesos, se realizó el ensayo del peso unitario o Densidad seca al horno de acuerdo a la norma **NTP 399.604** utilizando tres unidades de bloque de concreto tipo ensamblable enteras, tanto del BCE (patrón T0: 0%RM) y del BCE del **T2: 50%RM**, el cual menciona la siguiente formula:

$$Densidad (kg/m^3) = \left[\frac{Wd}{(Ws - Wi)} \right] \times 1000$$

Dónde:

Wd = peso seco al horno del espécimen, (kg)

Ws = peso saturado del espécimen, (kg)

Wi = peso sumergido del espécimen, (kg)

Tabla 83. Resultado de Densidad de BCE de T0: 0%RM.

Muestra	M1	M2	M3
Peso Seco (Wd)	14.190 kg	13.903 kg	14.103 kg
Peso Saturado (Ws)	14.813 kg	14.553 kg	14.750 kg
Peso Sumergido (Wi)	8.500 kg	8.500 kg	8.500 kg
Densidad (Kg/m3)	2247.743	2296.878	2256.480
Densidad Promedio (kg/m3)	2267.003		

Fuente: elaboración propia.

Tabla 84. Resultado de Densidad de BCE de T2: 50%RM

Muestra	M1	M2	M3
Peso Seco (Wd)	12.923 kg	13.110 kg	13.050 kg
Peso Saturado (Ws)	14.650 kg	14.650 kg	14.487 kg
Peso Sumergido (Wi)	8.400 kg	8.400 kg	8.300 kg
Densidad (Kg/m3)	2067.680	2097.600	2109.261
Densidad Promedio (kg/m3)	2091.514		

Fuente: elaboración propia.

4.2. Discusión

4.2.1. Análisis estadístico

4.2.1.1. Resistencia a compresión en Probetas cilíndricas (F'c):

La compresión en probetas, representada por la resistencia a compresión ($f'c$) según el análisis estadístico muestra que los valores de resistencia a compresión son significativamente influenciados por la proporción en porcentaje del relave minero incluidas en cada probeta cilíndrica.

El análisis estadístico se realizó mediante el diseño completamente al azar, en la cual se hizo un análisis de varianza para contrastar la afirmación anterior, utilizando un cuadro de ANOVA y prueba F con 5% de significancia (95 % de nivel de confianza), así como también se realizó la comparación de medias para verificar la diferencia significativa de los tratamientos:

Para el análisis de varianza se utilizó los datos de resistencia a compresión alcanzada a los 28 días.

Tabla 85. Cuadro de datos de resistencia a compresión en probetas.

Repeticiones	Tratamientos $f'c$ (kg/cm ²)			
	25% RM	50% RM	75% RM	100% RM
R1	90.09	147.19	109.67	67.11
R2	60.83	150.53	113.69	67.34
R3	62.47	144.41	114.53	64.28
R4	68.47	132.93	116.18	72.77
R5	59.81	136.94	119.12	67.96
R6	62.02	153.30	113.06	73.34
R7	56.87	144.53	111.48	68.36

Nota: RM. Relave Minero

Fuente: Elaboración propia

Tabla 86. Resumen de varianza de un factor (compresión).

Tratamientos	N	Media	Varianza	Mínimo	Máximo
25% RM	7	65.79	127.14	56.87	90.09
50% RM	7	144.26	51.94	132.93	153.30
75% RM	7	113.96	9.55	109.67	119.12
100% RM	7	68.74	10.44	64.28	73.34
Total	28	98.19	127.14	56.87	153.30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 87. Análisis de varianza (ANOVA - Compresión)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Promedio de los cuadrados	F	Prob.	Valor crítico para F
Tratamiento	30017.87	3	10005.96	201.04	3.90E-17	3.01
Error	1194.48	24	49.77			
Total	31212.35	27				

Fuente: Elaboración propia

Como F calculada es mayor que F crítico, se establece que si hay diferencias entre los tratamientos.

Así también como la probabilidad es menor al 0.05 de significancia, se establece que si hay una diferencia entre estos tratamientos.

Por tanto, se procedió a realizar una comparación de medias haciendo el uso del Test de Tukey con 5% de significancia, para demostrar la diferencia entre los promedios de las resistencias a compresión encontradas para cada tratamiento.

Tabla 88. Comparación de media. Según Test de Tukey (Compresión).

TRATAMIENTO (I)		Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.
25% RM	50% RM	-78,46714*	3.77094	.000
	75% RM	-48,16714*	3.77094	.000
	100% RM	-2.94286	3.77094	.863
50% RM	25% RM	78,46714*	3.77094	.000
	75% RM	30,30000*	3.77094	.000
	100% RM	75,52429*	3.77094	.000
75% RM	25% RM	48,16714*	3.77094	.000

	50% RM	-30,30000*	3.77094	.000
	100% RM	45,22429*	3.77094	.000
100% RM	25% RM	2.94286	3.77094	.863
	50% RM	-75,52429*	3.77094	.000
	75% RM	-45,22429*	3.77094	.000

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Fuente: Elaboración propia

Según el test de Tukey, se observa que existe diferencia significativa entre la comparación de medias de los tratamientos. Sin embargo, en la comparación de medias del tratamiento de 25% RM y 100% RM no existe diferencia significativa de acuerdo al $p < 0.05$.

Por lo tanto, de acuerdo a la comparación de medias se determina que el tratamiento de 50% RM obtuvo mayor resistencia a la compresión, debido a que este es el tratamiento que tiene mayor diferencia significativa a comparación de los otros; considerando esto se optó en elegir dicha dosificación para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblable.

4.2.2. Análisis Descriptivo

4.2.2.1. Análisis descriptivo de resistencia a compresión de Bloque de concreto tipo ensamblable ($F'b$):

Se realizará la comparación del resultado de resistencia al promedio de cada tratamiento de bloques de concreto tipo ensamblable (BCE) con la resistencia a la compresión mínima que debe tener un bloque de concreto (BC) según norma **NTP 399.602**, tal análisis comparativo se presenta a continuación:

Tabla 89. Cuadro de datos de resistencia a compresión de BCE.

Repeticiones	Resistencia a compresión de BCE $f'b$ (kg/cm ²)	
	T0: 0%RM	T2: 50%RM
R1	80.40	73.05
R2	61.23	82.88
R3	80.08	77.08
R4	63.46	89.11

R5	68.73	70.73
R6	62.85	77.82
R7	70.08	85.35
Promedio	69.55	79.43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 90. Máxima, mínima y promedio de resistencia y a la compresión de BCE.

Tratamientos	N	Media	Varianza	Mínimo	Máximo
T0: 0%RM	7	69.55	63.49	61.23	80.41
T2: 50%RM	7	79.43	44.18	70.73	89.11
Total	14	74.49	186.40	61.23	89.11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91. Condición de Resistencia a la compresión promedio de BCE (f'_b).

Tratamiento	Resistencia Media de BCE (F'_b)	Resistencia mínima de BC Según NTP 399.602	Condición
T0: 0%RM	69.55 kg/cm ²	70.000 kg/cm ²	No cumple
T2: 50%RM	79.43 kg/cm ²		Cumple

Fuente: Elaboración propia

Para una mejor interpretación de los resultados se muestra el siguiente gráfico, donde se observa con mayor detalle en la figura 17.

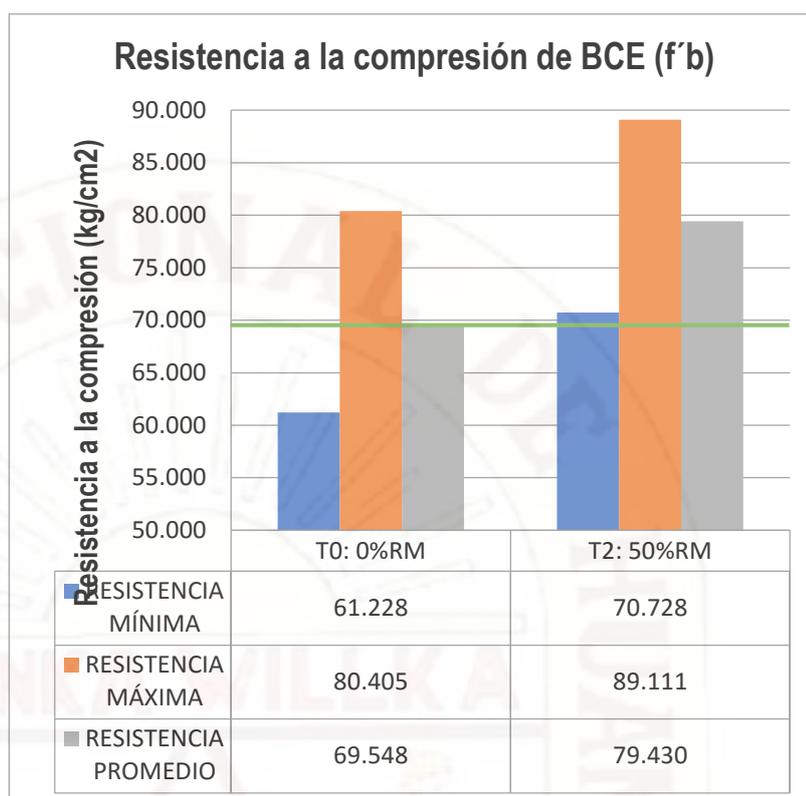


Figura 17. Comparación del comportamiento de resistencia a compresión del BCE T0: 0%RM y BCE T2: 50%RM.

La Resistencia a la compresión de BCE (f' b), con tratamiento **T2: 50%RM** obtiene mejores resultados, mejorando la resistencia en un 12.44% con respecto al **T0: 0%RM**, por lo que se puede decir que la incorporación del Relave Minero en un 50% como sustituto del agregado fino, incide favorablemente en la resistencia a la compresión del bloque de concreto tipo ensamblable.

4.2.2.2. Análisis descriptivo del porcentaje de absorción de Bloques de concreto tipo ensamblable (%):

Se realizará la comparación del resultado del porcentaje de absorción del BCE patrón y los BCE con tratamiento; así como también la comparación de estos, con el porcentaje de absorción mínima que debe tener un bloque de concreto (BC) **tipo P**, según **RNE E.070**, tal análisis comparativo se presenta a continuación:

Tabla 92. Condición de porcentaje de Absorción de BCE patrón y BCE de T2.

Tratamiento	Absorción promedio (%)	% de absorción máximo de BC Según RNE E.070	Condición
Patrón T0: 0%RM	4.567%	12%	Cumple
T2: 50%RM	11.537%		Cumple

Fuente: Elaboración Propia

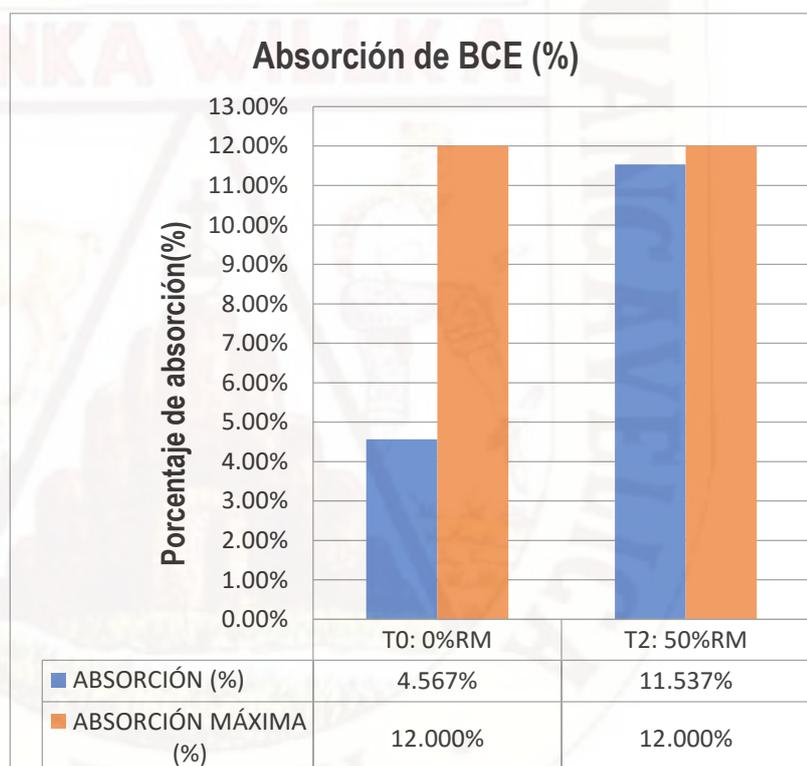


Figura 18. Comparación del comportamiento de la absorción del BCE T0: 0%RM y BCE T2: 50%RM.

A pesar de que el porcentaje de absorción de los BCE con tratamiento **T2: 50%RM** es mucho mayor que el porcentaje de absorción de BCE patrón **T0: 0%RM**; los bloques de concreto tipo ensamblable con tratamiento están dentro del rango de % de absorción que estipula la

norma RNE E.070, por lo que se puede decir que la incorporación del Relave Minero en un 50% como sustituto del agregado fino, incide favorablemente en el porcentaje de absorción del bloque de concreto tipo ensamblable.

4.2.2.3. Clasificación de Bloques de concreto tipo ensamblable según a su densidad (Kg/m³):

Según la norma técnica peruana NTP 339.005, (2002) y NTP 339.007, (2002). Elementos de concreto. Ladrillos y bloques usados en albañilería, los bloques huecos de concreto según sus agregados se clasifican en:

Tabla 93. Clasificación de bloques de concreto según sus agregados.

Clasificación de bloques de concreto según sus agregados		
Clasificación	Tipo de agregado	Densidad
Pesados	Agregados normales	Mayor a 2000 kg/m ³
Semipesados	Mezcla de agregados normales con livianos	Entre 1400 a 2000 kg/m ³
Livianos	Agregados 100% livianos	Menor a 2000 kg/m ³

Fuente: Según NTP 339.005 y NTP 339.007. Elaboración Propia

Donde a continuación se clasifica el BCE según a la Tabla 94.

Tabla 94. Clasificación según a su Densidad de BCE T0:0%RM y BCE de T2:50%RM.

Tratamiento	Densidad (kg/m ³)	Clasificación
Patrón: T0: 0%RM	2267.033	Pesados
T2: 50%RM	2091.514	Pesados

Fuente: Elaboración Propia

Los bloques de concreto tipo ensamblable elaborados en la presente tesis se clasifican según sus agregados como **pesados** ya que son una mezcla de agregados normales y presenta una densidad mayor a 2000 kg/m³.

4.2.3. Propuesta tipológica

4.2.3.1. Bloques de concreto para viviendas

Como se menciona en el planteamiento del problema, la investigación pretende encontrar un nuevo material manejable para el autoconstrucción de viviendas, de esta forma dando una alternativa de solución para el déficit de viviendas y confort de la misma que existe comúnmente en la zona rural del país, incluyendo las viviendas aledañas a los centros mineros y campamentos mineros.

De acuerdo a las propiedades de resistencia a compresión y la absorción, que se determinó en el bloque de concreto tipo ensamblable en la presente investigación, se propone al material como unidad de albañilería para el uso en el autoconstrucción de viviendas.

Cabe decir que para realizar una propuesta tipológica que tenga veracidad, es necesario realizar un estudio completo de las unidades de albañilería que se propongan, definiendo sus propiedades físicas y mecánicas, realizando los ensayos para unidades de albañilería de acuerdo a la norma técnica peruana que corresponda.

Como la investigación se basó en determinar el comportamiento a compresión y la absorción de una nueva unidad de albañilería diferente a lo convencional (bloques de concreto tipo ensamblable) con relave minero, para determinar si es posible el uso de esta unidad en la construcción de viviendas, se investigó sobre las resistencias a compresión de diferentes unidades de albañilería, las cuales se muestran a continuación:

Tabla 95. Comparación de resistencias a compresión en distintas unidades.

Material	Denominación	Resistencia a compresión de unidad de albañilería (f'b)
Bloque de concreto tipo ensamblable con Relave minero.	BCE de 40x12x20 con 50%RM	79.43 kg/cm ²
Arcilla	king Kong Artesanal	55.00 kg/cm ²
	King Kong Industrial	145.00 kg/cm ²
	Rejilla industrial	215.00 kg/cm ²
concreto	Bloque tipo P*	50.00 kg/cm ²
		65.00 kg/cm ²
		75.00 kg/cm ²
		85.00 kg/cm ²
	bloques SUPERMIX de 39x14x19	71.40 kg/cm ²
	ladrillos SUPERMIX de 24x14x9	140.00 kg/cm ²
	Bloque de concreto con 15% caucho	39.92 kg/cm ²

(*) Utilizados para la construcción de Muros Armados.

Fuente: Elaboración propia.

La comparación de resistencia a compresión del bloque de concreto tipo ensamblable (BCE) con otras unidades de albañilería, hace ver que el material de la presente investigación se caracteriza por tener una adecuada f'b para fines estructurales y así mismo el uso en el autoconstrucción de viviendas.

4.2.3.2. Análisis de Costo

Para contrastar si la nueva unidad de albañilería (bloque de concreto tipo ensamblable) que se propone pueda resultar rentable, se realizó un análisis de costo en comparación a ladrillo de arcilla y bloque de concreto convencional.

Antes de realizar el análisis de costos entre los materiales mencionados líneas arriba, se procedió a determinar el precio de la nueva unidad de albañilería que se propone en la investigación, así como las características generales de cada unidad.

Tabla 96. Costo de la unidad de Bloque de Concreto Tipo Ensamblable.

Material	Cantidad por BCE	Costo (S/.)	Costo de material por BCE	costo total de BCE
Cemento Portland Andino tipo I	0.0491 Bolsas/BCE	S/.24.00	S/.1.18	S/.1.50
agregado grueso (Piedra de 3/8")	0.0016 m3/BCE	S/.70.00	S/.0.11	
agregado fino (arena gruesa)	0.0013 m3/BCE	S/.90.00	S/.0.11	
Relave Minero	0.0013 m3/BCE	S/.0.00	S/.0.00	
Costo por Elaboración	1.0000 BCE	S/.0.10	S/.0.10	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 97. Características generales de las diferentes unidades de albañilería.

Material	Bloque de concreto tipo ensamblable	Bloque de concreto convencional	ladrillo de arcilla tipo IV
Dimensiones de unidad (LXBXH)	40x12x20	39x14x19	23.2x12.5x9
unidades x m2	25 und	13 und	39 und
Asiento (mortero)	Grout	junta de 1.5cm	junta de 1.5cm
Costo por unidad	S/.1.50	2.00	0.90
Rendimiento (m2/día)	9	9	9

Tarrajeo	Opcional	Opcional	Obligatorio
----------	----------	----------	-------------

Fuente: Elaboración propia.

Como se busca tener un material que sea utilizado en la construcción de viviendas las cuales brinden confort, sean de buen acabado, de fácil manejo y reduzca el uso de otros materiales de construcción en viviendas. Se desarrolló un análisis comparativo de costo donde se consideró un metro cuadrado de muro de albañilería de ladrillo común más el acabado interno, un muro de albañilería de bloque de concreto convencional y muro con la nueva unidad de albañilería (bloque de concreto tipo ensamblable).

Tabla 98. Análisis de Costos Unitarios de 1 m² de Muro de Ladrillo de Arcilla Tipo IV 18 Huecos de Soga C:A 1:4 X 1.5 cm

MURO DE LADRILLO DE ARCILLA TIPO IV 18 HUECOS DE SOGA C:A 1:4 X 1.5 CM						
m2/DIA	9.0000	EQ.	9.0000	Costo unitario directo por : m2		67.34
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	1.1000	0.9778	15.12	14.78	
PEON	hh	0.8000	0.7111	11.84	8.42	
						23.20
Materiales						
ARENA GRUESA (PUESTO EN OBRA)	m3		0.0310	90.00	2.79	
LADRILLO KING KONG 18 HUECOS 9 X 12.5 X 23.2 cm	und		39.0000	0.90	35.10	
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bls		0.2300	24.00	5.52	
AGUA	m3		0.0060	5.00	0.03	
						43.44
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	23.20	0.70	
						0.70

Fuente: Elaboración propia.

Un metro cuadrado de muro de ladrillo de arcilla se estima con un costo total de S/. 67.34 soles.

Tabla 99. Análisis de Costos Unitarios de Tarrajeo en Interiores Acabado de Cemento - Arena.

TARRAJEO EN INTERIORES ACABADO DE CEMENTO - ARENA						
m2/DIA	14.0000	EQ.	14.0000	Costo unitario directo por : m2		23.40
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	1.0000	0.5714	15.12	8.64	
OFICIAL	hh	0.1000	0.0571	15.12	0.86	
PEON	hh	1.0000	0.5714	11.84	6.77	
					16.27	
Materiales						
CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 3"	kg		0.0300	3.50	0.11	
ARENA FINA (PUERTO EN OBRA)	m3		0.0200	130.00	2.60	
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bls		0.0600	24.00	1.44	
AGUA	m3		0.0100	5.00	0.05	
MADERA TORNILLO	p2		0.5800	4.20	2.44	
					6.64	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	16.27	0.49	
					0.49	

Fuente: Elaboración propia.

Un metro cuadrado de muro de ladrillo de arcilla más el acabado interno se estima con un costo total de S/. 90.74 soles.

Tabla 100. Análisis de Costos Unitarios de 1 m2 de Muro de Bloque de Concreto Convencional C:A 1:4 X 1.5cm.

MURO DE BLOQUE DE CONCRETO CONVENCIONAL C:A 14 X 1.5CM						
m2/DIA	9.0000	EQ.	9.0000	Costo unitario directo por : m2		56.55
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	1.1000	0.9778	15.12	14.78	
PEON	hh	0.8000	0.7111	11.84	8.42	
					23.20	
Materiales						
ARENA GRUESA (PUERTO EN OBRA)	m3		0.0250	90.00	2.25	
BLOQUE DE CONCRETO CONVENCIONAL 19X 14X 39 cm	und		13.0000	2.00	26.00	
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bls		0.1820	24.00	4.37	

AGUA	m3	0.0052	5.00	0.03
				32.65
Equipos				
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	3.0000	23.20	0.70
				0.70

Fuente: Elaboración propia.

Un metro cuadrado de muro con bloque de concreto convencional costara un total de S/.56.55 soles.

Tabla 101. Análisis de Costos Unitarios de 1 m2 de Muro de Bloque de Concreto Tipo Ensamblable.

MURO DE BLOQUE DE CONCRETO TIPO ENSAMBLABLE						
m2/DIA	9.0000	EQ.	9.0000	Costo unitario directo por : m2	52.11	
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
PEON		hh	0.8000	0.7111	11.84	8.42
						8.42
Materiales						
ACERO CORRUGADO DE 1/2"		kg		1.2800	4.50	5.76
ARENA GRUESA (PUESTO EN OBRA)		m3		0.0007	90.00	0.06
BLOQUE DE CONCRETO TIPO ENSAMBLABLE		und		25.0000	1.50	37.50
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)		bls		0.0051	24.00	0.12
						43.44
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	8.42	0.25
						0.25

Fuente: Elaboración propia.

Un metro cuadrado de muro con bloque de concreto tipo ensamblable (bloque propuesto), costara un total de S/.52.11 soles.

En resumen, un metro cuadrado de muro con la unidad de albañilería propuesta resulta más económico que un metro cuadrado de muro con ladrillo de arcilla o bloque de concreto convencional.

Conclusiones

De acuerdo a lo desarrollado en los capítulos anteriores y en base a los objetivos planteados al inicio de esta investigación, queda demostrado que es factible utilizar el Relave minero (RM) procedente de la relavera N°09 Acchilla de la Unidad Julcani – Ccochaccasa - C.I.A. Buenaventura como sustituto del agregado fino, por las siguientes razones:

- ✓ Según la clasificación granulométrica el relave minero es de granulometría grueso por lo que es de buena calidad.
- ✓ La incorporación del RM como sustituto del agregado fino a la mezcla de concreto aumentó la demanda de agua, se cree que esto está influenciado por la textura fina del relave minero. Por lo tanto, mientras es mayor la incorporación de RM se da el incremento en la demanda del agua.
- ✓ Las resistencias a compresión alcanzada en las probetas con los diferentes tratamientos tuvieron un proceso de curado a una temperatura promedio de 10.4°C durante 28 días.
- ✓ Los resultados del análisis de ANOVA confirman la influencia significativa del porcentaje de RM sobre la resistencia a la compresión del concreto curado durante 28 días, determinado así que el relave minero influye con mayor significancia al tratamiento T2: 50%RM., debido a que este tratamiento obtiene una mejor resistencia a compresión.
- ✓ Las probetas de concreto elaborados con 50% de RM como remplazo al agregado fino, presenta características de resistencia a la compresión bastante cercana a la dosificación patrón y mejor a diferencia de los demás tratamientos, por lo tanto, es óptimo para la elaboración del BCE.
- ✓ Las adiciones de relave minero en proporciones de 25% y 100% influyen negativamente reduciendo la resistencia a compresión en el concreto.

El desempeño del relave minero en el BCE es favorable debido a las propiedades físicas y mecánicas que presentan:

- ✓ Las resistencias a compresión alcanzada en los bloques de concreto tipo ensamblable tuvieron un proceso de curado a una temperatura promedio de 10.13°C durante 28 días.
- ✓ El desempeño en la propiedad de resistencia a la compresión del BCE elaborado con T2: 50% RM como remplazo al agregado fino, es el más óptimo debido a que en comparación con T0: 0%RM (patrón) incrementa su resistencia en un porcentaje de 12.44% y así mismo está dentro de lo estipulado en la norma **NTP 399.602**.
- ✓ El desempeño en la propiedad de absorción del BCE elaborado con T2: 50% RM como remplazo al agregado fino, es óptimo debido a que en comparación con los requisitos mínimos estipulado en la norma **NTP 399.602**, ésta cumple.
- ✓ En cuanto a los costos económicos se estimó que el metro cuadrado de muro con el BCE con relave minero resulta más económico que un muro con bloque de concreto convencional y muro con ladrillos de arcilla, debido a los materiales mínimos que se usan en la construcción de muros.
- ✓ Una de las características de este tipo de bloque es la simplicidad de su elaboración ya que no se utilizaron aditivos, ni agregados difíciles de obtener, además el curado se realizó a temperatura de ambiente, por lo que puede adaptarse en cualquier centro minero.
- ✓ Los huecos del BCE ofrecen facilidad para la colocación de diversos ductos principalmente para refuerzos verticales, así mismo para instalaciones eléctricas.
- ✓ Al proponer la utilización del 50% del RM como sustituto del agregado fino, se está contribuyendo con el medio ambiente, ya que el desecho de los centros mineros y la extracción excesiva del agregado hoy en día son algunas de las mayores problemáticas ambientales.

Recomendaciones

En conformidad a lo concluido por la presente investigación y para futuras investigaciones que trabajen con este tipo de bloque de concreto tipo ensamblable, se plantean las siguientes recomendaciones:

- ✓ Realizar estudios en donde se analicen esta unidad de albañilería con otros tratamientos, y ver cómo influyen en las propiedades físicas y mecánicas.
- ✓ Este tipo de concreto con incorporación de relave minero es recomendable utilizar no solo en bloques de concreto tipo ensamblable, también es posible usar en adoquines, pavimentos, veredas y otros.
- ✓ Los bloques de concreto tipo ensamblable se clasifican como unidades de albañilería estructural según el RNE E.070, con lo cual puede ser utilizado en la construcción de muros portantes de albañilería.
- ✓ Llevar a cabo investigaciones del bloque de concreto tipo ensamblable para evaluar su resistencia en muros frente a la carga a compresión diagonal.
- ✓ Se recomienda fabricar bloques de concreto tipo ensamblable en las áreas cercanas a los centros mineros ya que los materiales se encuentran al alcance para su elaboración.
- ✓ Se recomienda usar el bloque de concreto tipo ensamblable en la construcción de viviendas de bajo coste aledañas a los centros mineros, debido a que el proceso constructivo con este material se agiliza al no tener que moldear columnas, ni esperar el fraguado de las juntas, así como también sin la necesidad de contar con mano de obra calificada.

Referencia Bibliográfica

- American Concrete Institute 211.1. (2002). *Practica Estandar para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo*. ACI.
- Anicama, G. (2010). *Estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicios*. Tesis, Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- ASTM C136. *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C143. *Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico*. American Society of Testing Materials.
- ASTM C29/C29M. *Historical Standard: Método de ensayo estándar para determinar la densidad en masa (peso unitario) e índice de huecos en los agregados*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C31/C31M. *Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra*. American Society of Testing Materials.
- ASTM C33 - 07. *Historical Standard: Especificación Normalizada de Agregados para Concreto*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C39/C39M. *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*. American Society of Testing Materials.
- ASTM C566. (2004). *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Medir el Contenido Total de Humedad Evaporable en Agregados Mediante Secado*. American Society for Testing and Materials.
- Avanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto*. Lima, Perú: San Marcos.
- Benavides, L. (2017). *Pretratamiento y tratamiento de residuos peligrosos. Guía para el Diseño de Rellenos de Seguridad en América Latina*, 1-2.
- Cruzado, E., y Bravo, F. (2010). *Impacto de los relaves mineros en el Perú*. Lima: DIDP.
- Curo, E., y Rashuamán, P. (2015). *Diseño de mezcla de concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ adicionado relave minero de la relavera n°09-acchilla-ccoaccasa, para tránsito liegro (método aci), en el distrito de lircay provincia de angaraes-huancavelica*. Tesis, Universidad Nacional de Huancavelica, Lircay, Perú.
- García, E., y Martínez, M. (2013). *Estudio de factibilidad bloques de hormigón con agregado de residuo plástico ABS*. *Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*.

- Gonzales, A., Oseda, D., Ramirez, F., y Gave, J. (2011). *Aprender y enseñar investigación científica*. Huancavelica, Perú: Biblioteca Nacional del Perú.
- Harmsen, T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima, Perú: Fondo Editorial 2002.
- Idrogo, E. (2015). *Determinación de la Resistencia a Compresión Diagonal y el Modulo de Cortante de la Mampostería de Bloques Huecos de Concreto Elaborados Artesanalmente en la Ciudad de Cajamarca*. Cajamarca. Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Luna, Y., y Pinedo, R. (2011). *Estudio de la factibilidad tecnica del diseño de bloques de concreto sustituyendo el agregado fino por aliven*. Tesis, Universidad Nueva Esparta, Caracas, Venezuela.
- Marchesi, O., Gaveglio, F., y Salicetti, H. (2013). *Industria Minera Guia de Negocios en el Perú*. Lima: PWC.
- Milicévic, I., Bjegovic, D., y Siddique, R. (2015). Experimental research of concrete floor blocks with crushed bricks and tiles aggregate. *Construction and Building Materials*, 775-783.
- Ministerio de Energia y Minas del Perú. (1995). Guia Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros. *Industria Minero-Metalurgico*, 1-73.
- Ministerio de Energia y Minas del Perú. (Noviembre de 2002). Gestion de Residuos Industriales Solidos Mineros y Buenas Prácticas. *Consejo minero*, 1-22.
- Ministerio de Minería de Chile. (2007). Reglamento para la Aprobacion de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depositos de Relaves. *Diario oficial*, 159-182.
- Ministerio de Minería de Chile. (2015). Guia Metodologica para la Estabilidad Quimica de Faenas en Instalaciones Mineras. *CORFO*, 1-248.
- NTP 331.017. (1978). *ELEMENTOS DE ARCILLA COCIDA. Ladrillos de Arcilla usados en Albañilería. Requisitos*. Lima.
- NTP 339.005. (2002). *Elementos de hormigón (concreto). Ladrillos y bloques usados en albañilería*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 339.007. (2002). *Elementos de hormigón (concreto) usados en albañilería. Ladrillos y bloques usados en albañilería. Muestreo y recepción*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 339.033. (2009). *HORMIGÓN (CONCRETO). Practica normalizada para la elaboración y curado de especimenes de concreto en campo*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 339.034. (1999). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a compresión del concreto en muestras cilindricas*. Lima, Perú: INDECOPI.

- NTP 339.035. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 339.185. (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 399.602. (2002). *UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Bloques de concreto para uso estructural. Requisitos*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 399.604. (2002). *“UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto”*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 400.012. (2001). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 400.017. (1999). *AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 400.022. (2001). *AGREGADOS. Métodos de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 400.037. (2002). *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto)*. Lima, Perú: INDECOPI.
- Omega, A. *Block Armo*.
- Pinto, H. (2010). Desastre ecológico y ambiental en Huancavelica. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 321-338.
- Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. (2014). *Manual del concreto estructural*. Caracas, Venezuela.
- Ramirez, N. (2007). Guía Técnica de Operación y Control de Depositos de Relave. *Servicio Nacional de Geología y Minería*, 1-42.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2006). *Norma E.070. Albañilería*, Lima, Perú: Macro.
- Rivva, E. (1992). *Diseño de mezclas*. Lima, Perú: Hozlo S.CR.L.
- Rodriguez, K. (2016). *Empleo de relaves mineros para la determinación de resistencia a la compresión uniaxial en función al tiempo de curado, en la mina paragsha, cerro de pasco*. Tesis, *Universidad Nacional de Centro del Perú*, Huancayo, Perú.
- Rojas, J. (2015). *Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ adicionado un porcentaje de vidrio calcico*. Tesis, *Universidad Privada Antenor Orrego*, Trujillo, Perú.
- Romero, A., y Flores, S. (2010). Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 75-82.

- Romero, E. (2006). *Residuos Mineros. Investigación*, Universidad de Huelva, Huelva, España.
- Sanchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogota, Colombia: Bhandar Editores LTDA.
- Sánchez, H., y Reyes, C. (1996). *Metodología y diseños en la investigación científica*. Lima, Perú: Mantaro.
- Suárez, I., y Mujica, E. (2016). *Bloques de Concreto con Material Reciclable de Caucho para Obras de Edificación. Tesis, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*, Perú.
- Tchernitchin, A., y Herrera, L. (2006). Relaves mineros y sus efectos en salud, medio ambiente y desarrollo económico. Ejemplo de relave en el valle de chacabuco-polpaico. *Cuad Med Soc*, 22-43.
- Umara, A., Warid, M., Ahmd, Y., y Mirza, J. (2016). Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete. *ScienceDirect*, 72-79.
- Vargas, A., Víctor, C., y Bautista, E. (2011). Importancia del crecimiento del sector de construcción en la economía de la sociedad peruana. *Gestión del tercer milenio*, 25-32.



ARTÍCULO CIENTÍFICO

UTILIZACIÓN DEL RELAVE MINERO PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO TIPO ENSAMBLABLE

(ROJAS HUAMANÍ, Lissett Evelyn y VENTURA HUAMAN, Liz Edith)

RESUMEN

La presente investigación titulada "Utilización del relave minero para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblable", se realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica, de la Universidad Nacional de Huancavelica, con el objetivo de determinar la incidencia del uso del relave minero (**RM**) en bloques de concreto tipo ensamblable (**BCE**), como sustituto al agregado fino en diferentes proporciones; de la cual se determinó la dosificación óptima con relave minero para dicho bloque, en la que se evaluó los efectos en sus propiedades (resistencia a la compresión, absorción y densidad). Para la ejecución de la tesis se obtuvo el relave minero procedente de la relavera N°09 Acchilla de la Unidad Julcani – Coochaccasa - C.I.A. Buenaventura, y agregados de la cantera rio Ichu – Huancavelica, a la cual se realizaron sus respectivos ensayos físicos. Como primera etapa de la investigación, la metodología que se usó, es realizar tratamientos (**T**) incorporando el **RM** como sustituto al agregado fino en porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100% en la dosificación de mezcla de concreto para un $f'c=150$ kg/cm², analizándolos en 7 probetas cilíndricas por cada tratamiento, a las cuales se realizaron el ensayo de resistencia a la compresión (**f'c**) a los 28 días de curado; una vez obtenidos los datos de los ensayos en laboratorio, estos fueron procesados, de la cual se obtuvo como mayor resistencia a la compresión un $f'c=144.26$ kg/cm² la cual corresponde al **T2: 50%RM**; posteriormente esta dosificación se usó en la elaboración del **BCE**. Como segunda etapa se procedió elaborar 10 **BCE** con la dosificación elegida del **T2: 50%RM** y 10 **BCE** con la dosificación estándar **T0: 0%RM** (patrón), de las cuales 7 **BCE** se destinaron para el ensayo de resistencia a la compresión (**f'b**) a los 28 días de curado y 3 **BCE** para el ensayo de absorción (%) y densidad. El resultado de resistencia a la compresión (**f'b**) del **BCE** con **T2: 50%RM** es de 79.43 kg/cm² estando dentro de los datos mínimos requeridos que establece la NTP 399.602; así mismo el porcentaje de absorción del **BCE** con **T2: 50%RM** es de 11.537% la cual cumple con el **RNE E.070**; y finalmente la densidad del **BCE** con **T2** es de 2091.51 kg/m³.

Palabras Claves: Relave Minero, Bloque de Concreto Tipo Ensamblable, Resistencia a Compresión, Absorción y Densidad.

INTRODUCCIÓN

En estos últimos años los costos de construcción de vivienda con materiales convencionales (agregados, cemento, ladrillos y acero), son altos con tendencia a incrementarse, lo que origina que la mayoría de la población rural no puedan acceder a ella, por lo que esta opta por construir viviendas a base de tierra (adobe y tapia) la cual no brinda seguridad y confort.

Sin embargo, en la actualidad existe la tendencia de la utilización de nuevos materiales que están

en desuso, con la finalidad de incrementar diversos materiales para la construcción de viviendas. De ahí nace la idea de implementar al relave minero, materia en desuso y/o residuos de la operación minera, que se encuentra generalmente en grandes cantidades de depósitos, ocasionando problemas ambientales a nivel de los acuíferos subterráneos y superficiales, provocando enfermedades y problemas en la salud de los seres vivos. Es así que se pretende dar un valor agregado al relave minero utilizándolo como agregado en la mezcla de concreto. La investigación tiene como objetivo principal determinar la incidencia del relave minero en el bloque de concreto tipo ensamblable, para lo cual

el estudio ha comprendido en reemplazar el agregado fino por relave minero en distintos porcentajes en la mezcla de concreto, para una dosificación de $f'c=150$ kg/cm², y así elaborar una nueva unidad de albañilería a la cual se le desarrollaron ensayos físicos y mecánicos.

Con este estudio se busca beneficiar a la construcción de viviendas de las poblaciones aledañas a los centros mineros, brindándoles una unidad de albañilería de fácil manejo el cual permitirá reducir el uso de morteros para su asentado, además de no requerir mano de obra calificada y así reducir el costo de la construcción; por ende la finalidad de este proyecto es aprovechar el relave que se encuentra en desuso para contribuir con la mitigación de estos desechos, disminuir la contaminación ambiental que produce este material en su área de influencia y así mismo reducir la explotación de los ríos.

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

En Huancavelica, uno de los mayores problemas es la amenaza del derrame de relaves causadas por industrias mineras, las cuales producen un gran impacto negativo ambiental; la muestra más representativa del daño minero en Huancavelica, es el derrame de la Mina Caudalosa Chica S.A. en junio del año 2010, el cual contaminó el 80% de los ríos Opamayo, Totorá, Huachocolpa, Lircay, Urubamaba, Cachi, Escalera y finalmente el río Mantaro afectando a más de 10 comunidades de la región. Según Ministerio de la Salud.

Los ríos afectados por el derrame de relaves tóxicos fueron utilizados por la población como fuentes de agua ya que el 40% de las localidades de esa zona carecen de sistema de agua potable; generando así problemas en su salud. Así mismo este hecho ha dañado a la agricultura y ganadería la cual es soporte económico de estas localidades. Según Pinto, (2010)

El desconocimiento de la utilización del relave minero, ocasiona la saturación de estos en los depósitos de relaves y como consecuencia se genera lo mencionado líneas arriba.

Si bien es cierto, en Huancavelica las viviendas aledañas a los Centros Mineros y campamentos de estos, son construidas con materiales de su entorno, por lo que la mayoría es de material rústico, lo cual no brinda una mejor comodidad, reduce el espacio de confort, así como también son vulnerables a la erosión por el agua y al sismo por su naturaleza mecánica del material. Mientras tanto, si se opta por viviendas de material noble utilizando materiales convencionales se generan altos costos por el precio de los materiales de construcción y mano de obra calificada para su ejecución.

Por otro lado, en el mundo de la construcción, a lo largo del tiempo el ser humano ha modificado su entorno adaptándolo a las necesidades de sus construcciones, utilizando diferentes tipos de materias primas para elaborar nuevos materiales que benefician a su construcción, lo que debido a su proceso de elaboración generan contaminación (por la quema de arcilla para la obtención del ladrillo artesanal, etc.).

De igual manera la explotación insostenible de los ríos para obtener agregados modifica el cauce lo que aumenta la frecuencia e intensidad de las inundaciones y reducen los niveles freáticos; sumada a la abundante disposición de residuos mineros crea la necesidad de proponer nuevas alternativas de construcción que difieran de lo convencional.

Es así que, la incorporación de nuevas unidades de albañilería a base de materiales que benefician el ambiente, es una de las inquietudes para el sector de la construcción, lo que genera la búsqueda de insumos que se encuentren a modo de desecho para posteriormente utilizarlo en la elaboración de estas unidades.

ESTUDIO EXPERIMENTAL

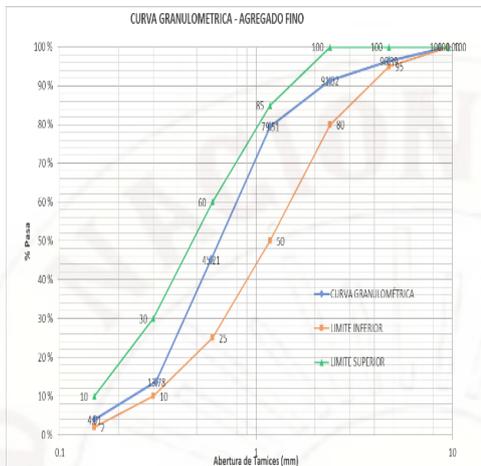
1. PRIMERA ETAPA

1.1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

❖ AGREGADO FINO (ARENA GRUESA)

- Contenido de Humedad promedio: 9.50%

• Análisis Granulométrico por Tamizado



• Peso Unitario suelto y compactado del Agregado

PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.) DEL AGREGADO FINO			
Descripción	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Peso de la Muestra (gr)	7370	7520	7570
Volumen del Recipiente (m ³)	0.00643	0.00643	0.00643
Peso unitario Suelto (kg/m ³)	1145.32	1168.63	1176.40
Promedio de Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1163.45		

PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.) DEL AGREGADO FINO			
Descripción	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Peso de la Muestra (gr)	8280	8270	8290
Volumen del Recipiente (m ³)	0.00643	0.00643	0.00643
Peso unitario Compactado (kg/m ³)	1286.74	1285.18	1288.29

Promedio de Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1286.74
--	----------------

• Peso específico y Absorción

Descripción	Peso
Muestra parcialmente seca	500.00 gr
Peso de picnómetro + Muestra parcialmente seca	662.90 gr
Peso de picnómetro + Muestra parcialmente seca + Agua	958.20 gr
Peso de picnómetro	161.30 gr
Peso de picnómetro + Agua	660.10 cm ³
Peso de muestra seca	475.30 gr
PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.354 gr/cm³
PESO ESPECÍFICO SATURADA CON SUPERFICIE SECA (SSS)	2.476 gr/cm³
PESO ESPECÍFICO NOMINAL	2.682 gr/cm³
ABSORCIÓN (%)	5.197 %

❖ AGREGADO GRUESA (PIEDRA 3/8")

- Contenido de Humedad promedio: 4.67%
- Análisis Granulométrico por Tamizado



• Peso Unitario del Agregado

PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.) DEL AGREGADO GRUESO (PIEDRA DE 3/8")			
Descripción	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Peso de la Muestra (gr)	8170	8150	8150

Volumen del Recipiente (m ³)	0.00625	0.00625	0.00625
Peso unitario Suelto (kg/m ³)	1306.98	1303.78	1303.78
Promedio de Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1304.85		

PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.S.) DEL AGREGADO GRUESO (PIEDRA DE 3/8")			
Descripción	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Peso de la Muestra (gr)	8720	8690	8650
Volumen del Recipiente (m ³)	0.00625	0.00625	0.00625
Peso unitario Compactado (kg/m ³)	1394.97	1390.17	1383.77
Promedio de Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1389.64		

- Peso específico y Absorción

Descripción	Peso
Peso de la Muestra parcialmente seca	3000.00 gr
Peso de la muestra sumergida en el agua	1846.30 cm ³
Peso de la muestra seca	2896.00 gr
PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.510 gr/cm³
PESO ESPECÍFICO SATURADA CON SUPERFICIE SECA (SSS)	2.600 gr/cm³
PESO ESPECÍFICO NOMINAL	2.759 gr/cm³
ABSORCIÓN (%)	3.591 %

❖ **RELAVE MINERO**

El relave minero fue extraído de la Relavera N°09 Acchilla de la Unidad Julcani de la mina C.I.A. Buenaventura, en el distrito de Ccochaccasa de la provincia de Angaraes.

- Contenido de Humedad promedio: 12.67%
- Análisis Granulométrico por Tamizado



- Peso Unitario del Relave Minero

PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S.) DEL RELAVE MINERO			
Descripción	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Peso de la Muestra (gr)	7040	7120	7080
Volumen del Recipiente (m ³)	0.00553	0.00553	0.00553
Peso unitario Suelto (kg/m ³)	1272.03	1286.48	1279.25
Promedio de Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1279.25		

PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C.) DEL RELAVE MINERO			
Descripción	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3
Peso de la Muestra (gr)	7990	8210	8100
Volumen del Recipiente (m ³)	0.00553	0.00553	0.00553

Peso unitario Compactado (kg/m ³)	1443.68	1483.43	1463.55
Promedio de Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1463.55		

- Peso específico y Absorción

Descripción	Peso
Muestra parcialmente seca	500.00 gr
Peso de picnómetro + Muestra parcialmente seca	658.20 gr
Peso de picnómetro + Muestra parcialmente seca + Agua	945.30 gr
Peso de picnómetro	162.80 gr
Peso de picnómetro + Agua	660.50 cm ³
Peso de muestra seca	463.10 gr
PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.152 gr/cm³
PESO ESPECÍFICO SATURADA CON SUPERFICIE SECA (SSS)	2.323 gr/cm³
PESO ESPECÍFICO NOMINAL	2.597 gr/cm³
ABSORCIÓN (%)	7.968 %

1.2. ELABORACIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS DE CONCRETO CON RELAVE MINERO

Se elaboró la dosificación patrón del concreto:

Dosificación en Peso por Kilogramo de Cemento	
Cemento Andino	1.00 Kg/kilo cemento
Agregado Fino	3.29 Kg/kilo cemento
Agregado grueso	2.09 Kg/kilo cemento
Agua Efectiva	0.54 Lt/kilo cemento

Se determinó tratamientos (T) de **25%, 50%, 75%** y **100%** de incorporación de Relave Minero (RM) como sustituto al agregado fino.

❖ Dosificaciones:

1° Tratamiento con incorporación de 25% de RM				
Cemento	Arena	Piedra 3/8"	Agua	RM
1.000	2.467	2.090	0.544	0.822
2° Tratamiento con incorporación de 50% de RM				
Cemento	Arena	Piedra 3/8"	Agua	RM
1.000	2.467	2.090	0.544	0.822
3° Tratamiento con incorporación de 75% de RM				
Cemento	Arena	Piedra 3/8"	Agua	RM
1.000	0.822	2.090	0.544	2.467
4° Tratamiento con incorporación de 100% de RM				
Cemento	Arena	Piedra 3/8"	Agua	Relave Minero
1.000	-	2.090	0.544	3.289

Se elaboraron 28 probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Tratamiento	% Relave Minero (RM)	N° de probetas
T1	25%	7
T2	50%	7
T3	75%	7
T4	100%	7
Total de probetas		28

❖ **Temperatura del agua de curado:**

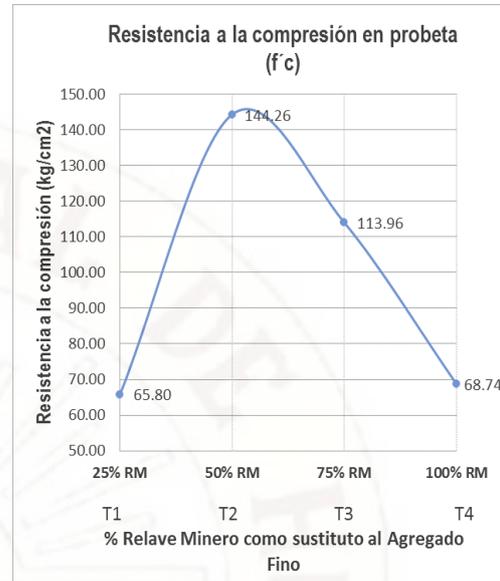
Las probetas cilíndricas se sumergieron en agua a temperatura controlada de entre 9.5°C a 11°C, durante 28 días para cada Tratamiento.

1.3. ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS

El resultado de resistencia a la compresión de cada tratamiento (T), corresponde el promedio de **siete** probetas cilíndricas ensayadas a los **28** días de curado:

M	Tratamiento			
	T1: 25%R M	T2: 50%R M	T3: 75%R M	T4: 100% RM
M1	90.09	147.19	109.67	67.11
M2	60.83	150.53	113.69	67.34
M3	62.47	144.41	114.53	64.28
M4	68.47	132.93	116.18	72.77
M5	59.81	136.94	119.12	67.96
M6	62.02	153.30	113.06	73.34
M7	56.87	144.53	111.48	68.36
F'c (kg/ cm 2)	65.80	144.26	113.96	68.74

Comportamiento de resistencia a compresión promedio en relación al % de incorporación de RM:

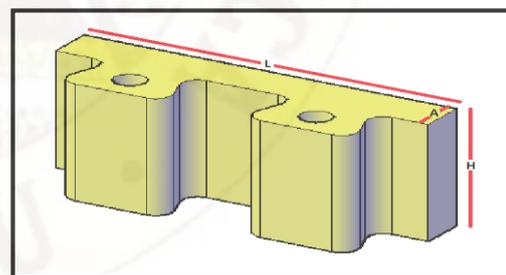


La Resistencia a la compresión promedio (kg/cm²) obtenida en cada tratamiento (T), varía debido a la incorporación de Relave Minero (RM) como sustituto del agregado fino en porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100%; siendo el **T2: 50%RM** el que obtiene mejores resultados, por la que se optó usar esta dosificación en la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblable.

2.SEGUNDA ETAPA

2.1. ELABORACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO TIPO ENSAMBLABLE

❖ **Dimensiones:**



L	A	H
40 cm	12 cm	20 cm

❖ **Dosificación:**

De acuerdo a los resultados obtenidos del f_c de probetas cilíndricas, se concluyó que el T2: 50% RM nos dió resultados óptimos las cuales son próximos al esfuerzo de 150 kg/cm² y mejor en comparación a los distintos tratamientos, por lo tanto, se eligió la dosificación de este para la elaboración del bloque de concreto tipo ensamblable (BCE) con contenido de relave minero.

2° Tratamiento con incorporación de 50% de RM				
Cemento	Arena	Piedra 3/8"	Agua	Relave Minero
1.000	1.644	2.090	0.544	1.644

Se elaboraron 10 bloques de concreto tipo ensamblable con 0% de RM Y 10 con 50% de RM.

Tratamiento	% Relave Minero (RM)	N° de probetas	
		Ensayo de Resistencia a Compresión	Ensayo de Absorción
T0	0%	7	3
T2	50%	7	3
Total de probetas		14	6

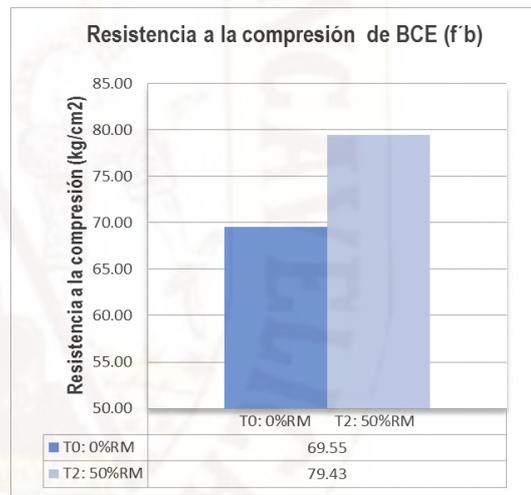
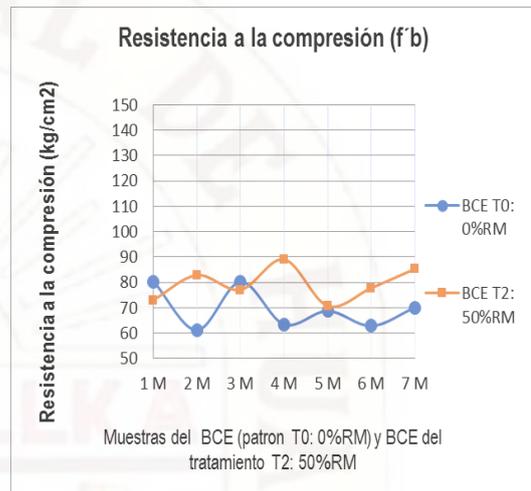
❖ **Temperatura del agua de curado:**

Los bloques de concreto tipo ensamblable se sumergieron en agua a temperatura controlada de entre 10.13°C a 9.3°C, durante 28 días para cada Tratamiento.

2.2. ENSAYO RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO TIPO ENSAMBLABLE:

Edad	Muestra	Resistencia a compresión de BCE f'_b (kg/cm ²)	
		T0: 0%RM	T2: 50%RM
28	M1	80.40	73.05
	M2	61.23	82.88
	M3	80.08	77.08
	M4	63.46	89.11

M5	68.73	70.73
M6	62.85	77.82
M7	70.08	85.35
Promedio	69.55	79.43



Condición de Resistencia a la compresión promedio de BCE (f'b).

T	Resistencia Media de BCE (F'b)	Resistencia mínima de BC Según NTP 399.602	Condición
T0: 0%RM	69.55 kg/cm2	70.000 kg/cm2	No cumple
T2: 50%RM	79.43 kg/cm2		Cumple

2.3. ABSORCIÓN DE BLOQUE DE CONCRETO TIPO ENSAMBLABLE:

BCE	M	Absorción (%)	Absorción promedio (%)
BCE patrón (sin Relave Minero- T0: 0%RM)	M1	4.393%	4.567%
	M2	4.675%	
	M3	4.632%	
BCE con Tratamiento - T2: 50%RM	M1	11.968%	11.537%
	M2	11.747%	
	M3	10.896%	

Condición de porcentaje de Absorción de BCE patrón y BCE de T2.

T	Absorción promedio (%)	% de absorción máximo de BC Según RNE E.070	Condición
Patrón T0: 0%RM	4.567%	12%	Cumple
T2: 50%RM	11.537%		Cumple

2.4. DENSIDAD DE BLOQUE DE CONCRETO TIPO ENSAMBLABLE:

Densidad de BCE de T0: 0%RM			
Muestra	M1	M2	M3
Peso Seco (Wd) (kg)	14.190	13.903	14.103
Peso Saturado (Ws) (kg)	14.813	14.553	14.750
Peso Sumergido (Wi) (kg)	8.500	8.500	8.500
Densidad (Kg/m3)	2247.743	2296.878	2256.480
Densidad Promedio (kg/m3)	2267.003		

Densidad de BCE de T2: 50%RM			
Muestra	M1	M2	M3
Peso Seco (Wd) (kg)	12.923	13.110	13.050
Peso Saturado (Ws) (kg)	14.650	14.650	14.487
Peso Sumergido (Wi) (kg)	8.400	8.400	8.300
Densidad (Kg/m3)	2067.680	2097.600	2109.261
Densidad Promedio (kg/m3)	2091.514		

CONCLUSIONES:

- ❖ Las probetas de concreto elaborados con 50% de RM como remplazo al agregado fino, presenta características de resistencia a la compresión bastante cercana a la dosificación patrón y mejor a diferencia de los demás tratamientos, por lo tanto, es óptimo para la elaboración del BCE.
- ❖ Las adiciones de relave minero en proporciones de 25% y 100% influyen

negativamente reduciendo la resistencia a compresión en el concreto.

- ❖ El desempeño en la propiedad de resistencia a la compresión del BCE elaborado con T2: 50% RM como remplazo al agregado fino, es el más óptimo debido a que en comparación con T0: 0%RM (patrón) incrementa su resistencia en un porcentaje de 12.44% y así mismo está dentro de lo estipulado en la norma **NTP 399.602**.
- ❖ El desempeño en la propiedad de absorción del BCE elaborado con T2: 50% RM como remplazo al agregado fino, es óptimo debido a que en comparación con los requisitos mínimos estipulado en la norma **NTP 399.602**, ésta cumple.
- ❖ Una de las características de este tipo de bloque es la simplicidad de su elaboración ya que no se utilizaron aditivos, ni agregados difíciles de obtener, además el curado se realizó a temperatura de ambiente, por lo que puede adaptarse en cualquier centro minero.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- American Concrete Institute 211.1. (2002). *Práctica Estandar para seleccionar el proporcionamiento de concreto de peso normal, pesado y masivo*. ACI.
- Anicama, G. (2010). *Estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicios*. Tesis, Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- ASTM C143. *Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico*. American Society of Testing Materials.
- ASTM C31/C31M. *Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra*. American Society of Testing Materials.
- ASTM C39/C39M. *Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*. American Society of Testing Materials.
- Avanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto*. Lima, Perú: San Marcos.
- Curo, E., y Rashuamán, P. (2015). *Diseño de mezcla de concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ adicionado relave minero de la relavera n°09-acchilla-ccochoaccasa, para tránsito liegro (metodo aci), en el distrito de lircay provincia de angaraes-huancavelica*. Tesis, Universidad Nacional de Huancavelica, Lircay, Perú.
- Idrogo, E. (2015). *Determinación de la Resistencia a Compresión Diagonal y el Modulo de Cortante de la Mampostería de Bloques Huecos de Concreto Elaborados Artesanalmente en la Ciudad de Cajamarca*. Cajamarca. Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Milicévic, I., Bjegovic, D., y Siddique, R. (2015). *Experimental research of concrete floor blocks with crushed bricks and tiles aggregate*. *Construction and Building Materials*, 775-783.
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. (1995). *Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros*. *Industria Minero-Metalurgico*, 1-73.
- Ministerio de Minería de Chile. (2007). *Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves*. *Diario oficial*, 159-182.
- NTP 331.017. (1978). *ELEMENTOS DE ARCILLA COCIDA. Ladrillos de Arcilla usados en Albañilería. Requisitos*. Lima.

- 339.005. (2002). *Elementos de hormigón (concreto). Ladrillos y bloques usados en albañilería*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 339.007. (2002). *Elementos de hormigón (concreto) usados en albañilería. Ladrillos y bloques usados en albañilería. Muestreo y recepción*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 339.033. (2009). *HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 339.034. (1999). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 339.035. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 339.185. (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 399.602. (2002). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso estructural. Requisitos*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 399.604. (2002). *"UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto"*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 400.012. (2001). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 400.017. (1999). *AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 400.022. (2001). *AGREGADOS. Métodos de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino*. Lima, Perú: INDECOPI.
- NTP 400.037. (2002). *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto)*. Lima, Perú: INDECOPI.
- Omega, A. *Block Armo*.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2006). *Norma E.070. Albañilería*, Lima, Perú: Macro.
- Rodriguez, K. (2016). *Empleo de relaves mineros para la determinación de resistencia a la compresión uniaxial en función al tiempo de curado, en la mina paragsha, cerro de pasco*. Tesis, Universidad Nacional de Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Romero, A., y Flores, S. (2010). Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 75-82.
- Sanchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogota, Colombia: Bhandar Editores LTDA.
- Sánchez, H., y Reyes, C. (1996). *Metodología y diseños en la investigación científica*. Lima, Perú: Mantaro.
- Tchernitchin, A., y Herrera, L. (2006). Relaves mineros y sus efectos en salud, medio ambiente y desarrollo económico. Ejemplo de relave en el valle de chacabuco-polpaico. *Cuad Med Soc*, 22-43.
- Umara, A., Warid, M., Ahmd, Y., y Mirza, J. (2016). Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete. *ScienceDirect*, 72-79.

Anexos

- ANEXO N°1:** Panel Fotográfico del proceso de ejecución de la presente Tesis.
- ANEXO N°2:** Constancia de conformidad de Laboratorio Tecnología del Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica.
- ANEXO N°3:** Informe Final de Revisión de Tesis emitido por el Asesor.
- ANEXO N°4:** Diseño de Mezcla según el comité 211.1 del ACI (American Concrete Institute).
- ANEXO N°5:** Revista científica "Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete"
- ANEXO N°6:** Revista científica "Reúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas"

ANEXO N°1: Panel Fotográfico del proceso de ejecución de la presente Tesis.



Fotografía A 1. Visita y adquisición del relave minero de la relavera N°09 Acchilla de la Unidad Julcani – Ccochaccasa - C.I.A. Buenaventura.



Fotografía A 2. Reconocimiento de condición de viviendas de la comunidad de Mimosa – Ccochaccasa – Julcani.



Fotografía A 3. Vista general y reconocimiento de condición de viviendas de la comunidad de Mimosa – Ccochaccasa - Julcani.



Fotografía A 4. Animales alrededor de la relavera N°09 Acchilla de la Unidad Julcani – Ccochaccasa - C.I.A. Buenaventura.



Fotografía A 5. Obtención del agregado fino y agregado grueso del Rio Ichu, cantera Callqui Chico – Ascensión - Huancavelica.



Fotografía A 6. Tamizado del agregado grueso (piedra de 3/8) en el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica.



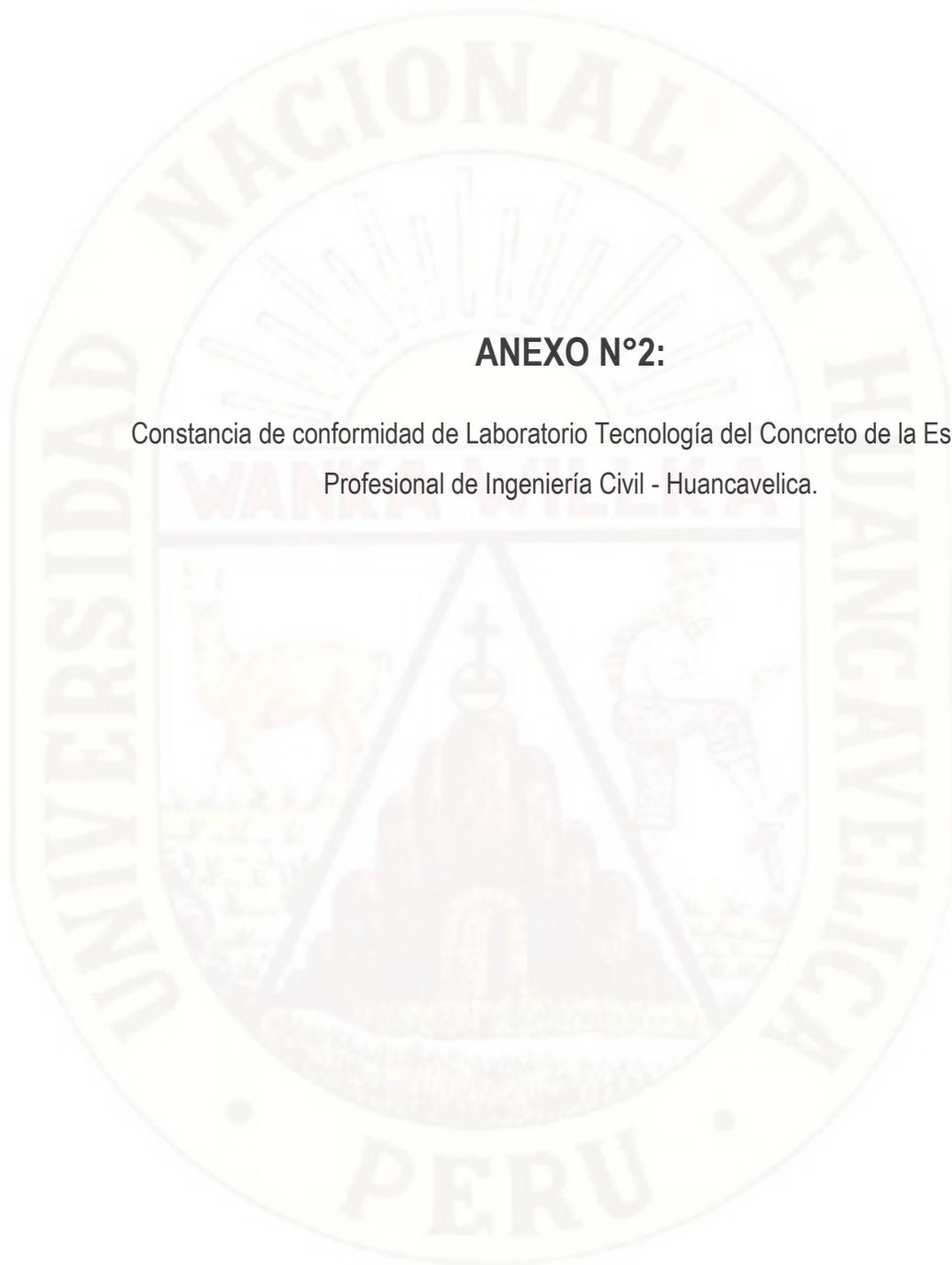
Fotografía A 7. Ensayo físico de los agregados y del relave minero en el Laboratorio de Ensayo de Materiales y Concreto de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – Huancavelica.



Fotografía A 8. Proceso de mezclado, curado y rotura de las probetas de concreto con los diferentes tratamientos con incorporación del relave minero.



Fotografía A 9. Proceso de mezclado, curado y rotura de los bloques de concreto tipo ensamblable.



ANEXO N°2:

Constancia de conformidad de Laboratorio Tecnología del Concreto de la Escuela
Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL HUANCAVELICA
ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EPICH



"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

EL JEFE DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA, otorga la presente:

CONSTANCIA

A: **ROJAS HUAMANÍ LISSETT EVELYN** y **VENTURA HUAMÁN LIZ EDITH**, bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, quienes han concluido con el desarrollo de los siguientes ensayos en el Laboratorio de Tecnología del Concreto de la EPICH:

- Ensayo de agregado grueso: contenido de humedad, análisis granulométrico, peso unitario suelto y compactado, peso específico y absorción.
- Ensayo de agregado fino: contenido de humedad, análisis granulométrico, peso unitario suelto y compactado, peso específico y absorción.
- Ensayo de relave minero: contenido de humedad, análisis granulométrico, peso unitario suelto y compactado, peso específico y absorción.
- Ensayo de resistencia a compresión (28 días) de 28 probetas cilíndricas.
- Ensayo de resistencia a compresión (28 días) de 14 bloques de concreto.
- Ensayo de absorción y densidad de 06 bloques de concreto.

Durante el periodo de ejecución mayo - setiembre del presente año, del proyecto de tesis: "UTILIZACION DEL RELAVE MINERO PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO TIPO ENSAMBLE".

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para fines que estime por conveniente.

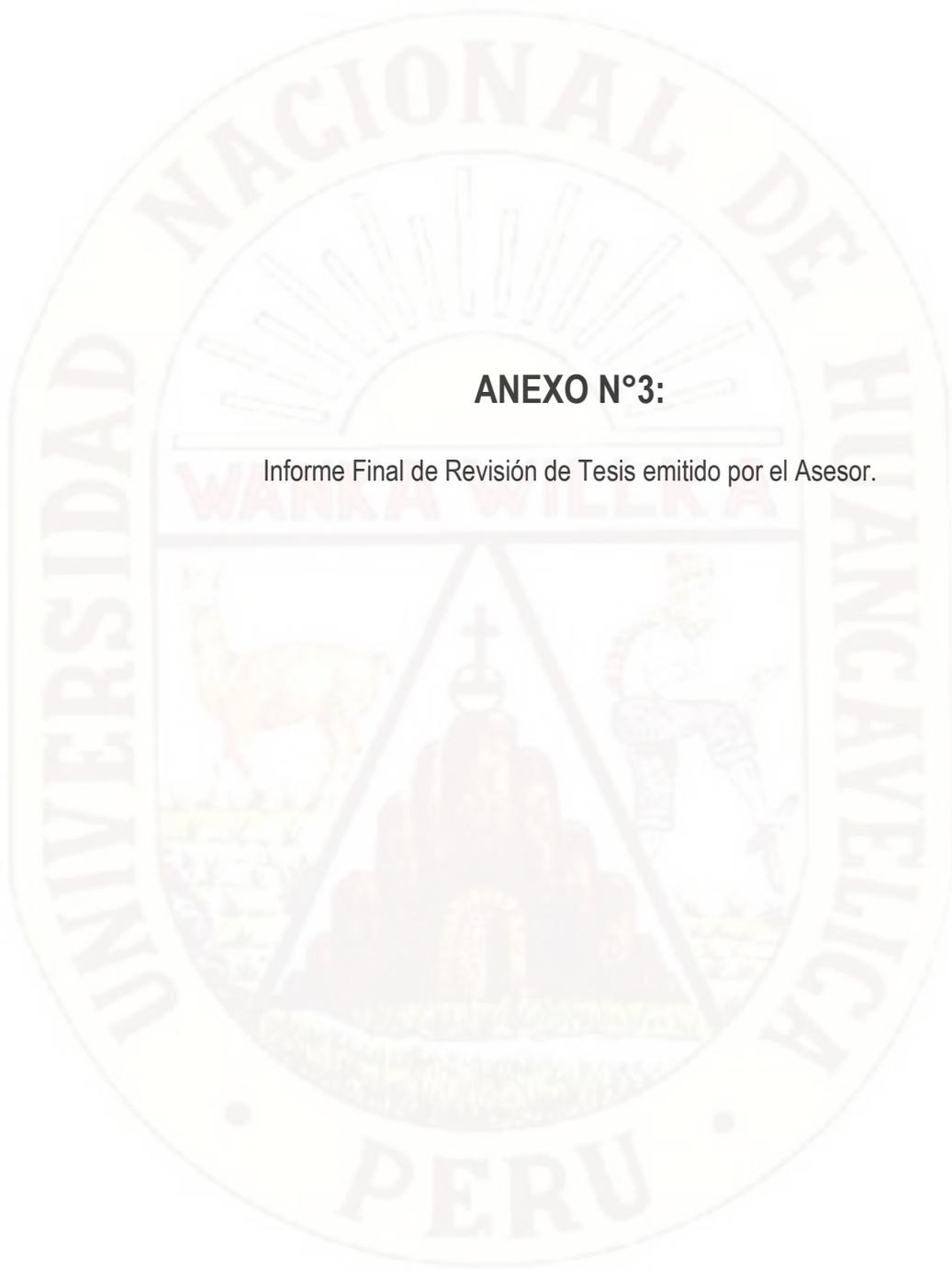
Huancavelica, 30 de octubre de 2017

Nº 002-2017

C. c.
Archivo
AP

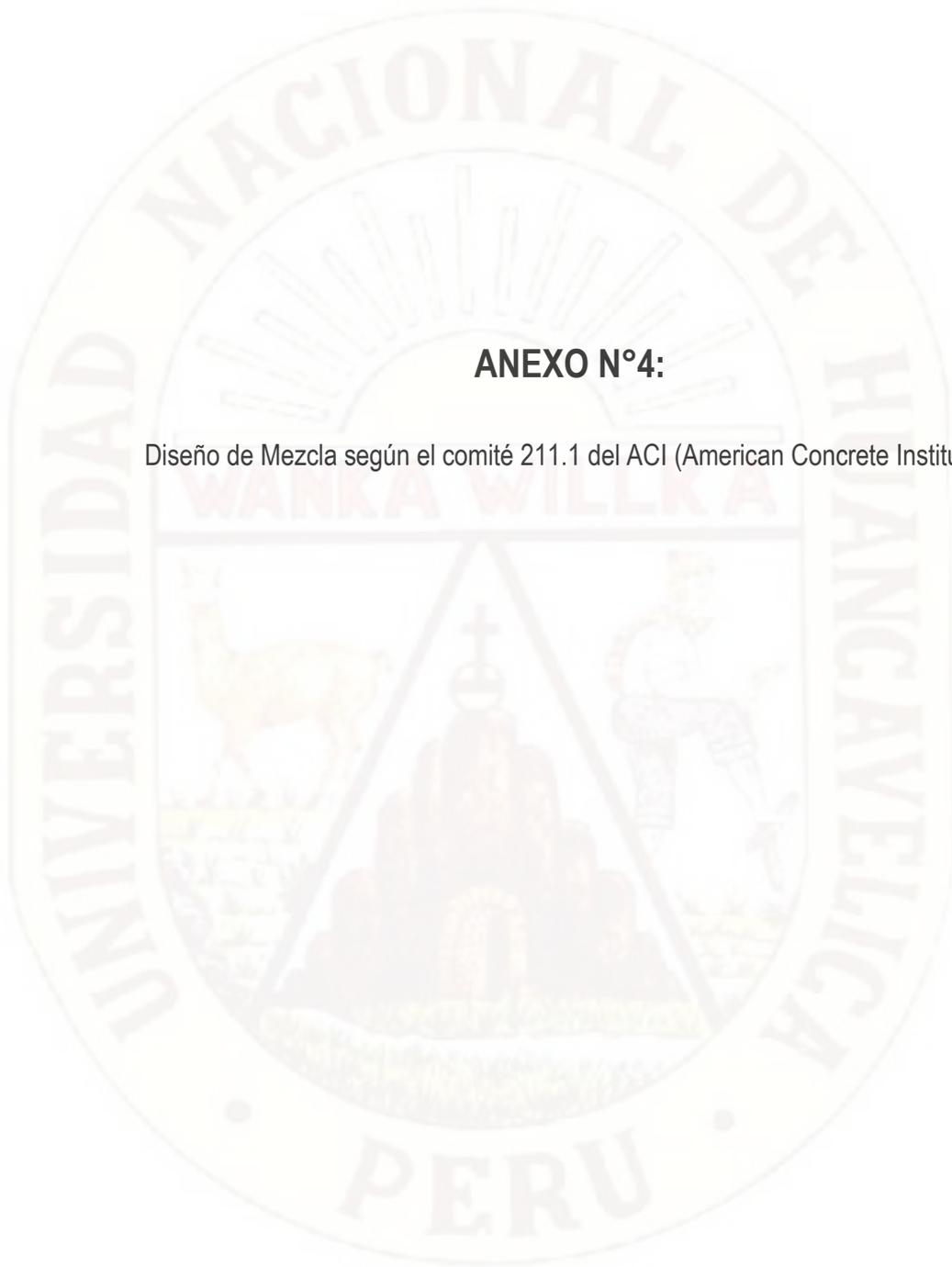


UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
ESCUELA ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL - EPICH
ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EPICH
Judith. Martínez Quispe
JEFE



ANEXO N°3:

Informe Final de Revisión de Tesis emitido por el Asesor.



ANEXO N°4:

Diseño de Mezcla según el comité 211.1 del ACI (American Concrete Institute).

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

A.C.I. comité 211.1

1. Resistencia media de Dosificación (f'_{cr}):

$$f'_{cr} = 220 \text{ kg/cm}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{Según A.C.I. 211.1}$$

2. Volumen Unitario de agua de diseño y Cantidad aproximada de aire atrapado:

$$\text{Agua} = 225 \text{ Lt/m}^3 \quad \text{Aire} = 3 \%$$

3. Relación Agua - Cemento (A/C):

$$A/C = 0.695$$

4. Cantidad de Cemento:

$$\text{Cemento} = 323.74 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Factor Cemento} = 7.62 \text{ Bolsas/m}^3$$

5. Volumen seco y Compactado de Agregado grueso por Unidad de Volumen (V_g):

$$V_g = 0.4651$$

6. Peso del Agregado grueso seco:

$$\text{Agregado Grueso Seco} = 646.32 \text{ kg/m}^3$$

7. Volumen Absoluto de los Materiales por metro Cúbico (m^3):

$$\text{Cemento} = 0.104 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 0.225 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = 0.030 \text{ m}^3$$

$$\underline{\text{Agregado Grueso (3/8")}} = 0.249 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado Fino} = 0.393 \text{ m}^3$$

8. Peso del Agregado Fino Seco:

Agregado Fino Seco = 972.21 kg/m³

9. Peso Seco de Material por m³ de Concreto:

Cemento = 323.74 kg/m³

Agregado Fino = 972.21 kg/m³

Agregado Grueso (3/8") = 646.32 kg/m³

Agua = 225 kg/m³

10. Corrección Por Humedad:

Cemento = 323.74 kg/m³

Agregado Fino = 1064.56 kg/m³

Agregado Grueso (3/8") = 676.5 kg/m³

Agua Efectiva = 176.19 kg/m³

11. Proporciones en Peso por Kilógramo de Cemento:

Cemento = 1.00 kg/kilo cemento

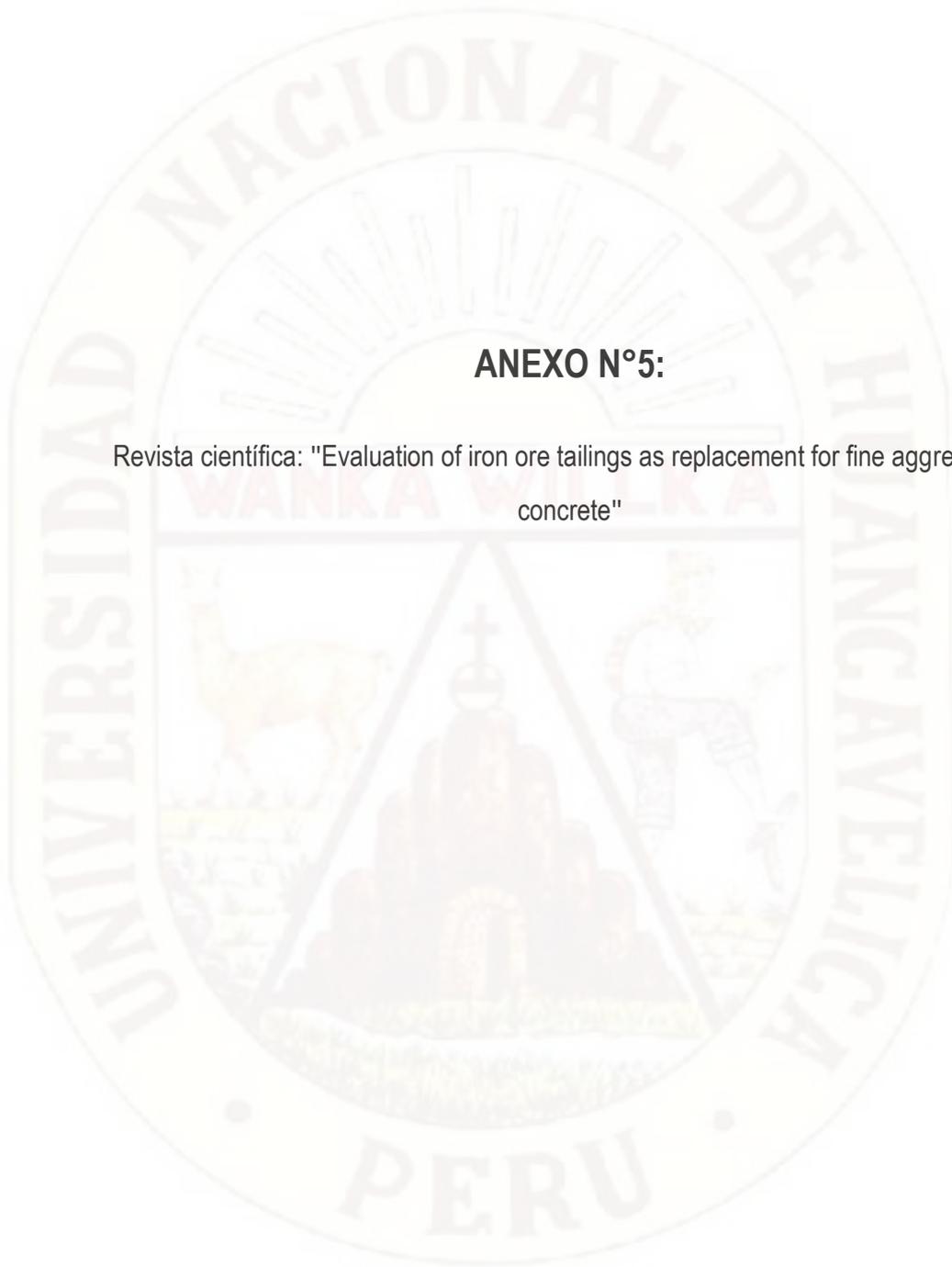
Agregado Fino = 3.29 kg/kilo cemento

Agregado Grueso (3/8") = 2.09 kg/kilo cemento

Agua Efectiva = 0.54 lt/kilo cemento

12. Dosificación de Mezcla:

1:3.29:2.09 / 0.54



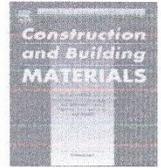
ANEXO N°5:

Revista científica: "Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete"



Contents lists available at ScienceDirect

Construction and Building Materials

journal homepage: www.elsevier.com/locate/conbuildmat

Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete

Ali Umara Shettima^{a,b}, Mohd Warid Hussin^a, Yusof Ahmad^a, Jahangir Mirza^{a,*}^a Department of Structure and Materials, Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru 81310, Malaysia^b Department of Civil Engineering, School of Engineering Technology, Federal Polytechnic Damaturu, Yobe State 620001, Nigeria

HIGHLIGHTS

- Concrete containing iron ore tailings (IOT) enhances compressive and splitting strengths.
- IOT concrete improves durability properties and resists carbonation.
- IOT as sand replacement in concrete reduces cost and environmental problems.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 November 2015

Received in revised form 6 May 2016

Accepted 12 May 2016

Keywords:

Iron ore tailings
Concrete
Workability
Strength properties
Durability
Chloride
Carbonation

ABSTRACT

Millions of tons of iron ore tailings (IOT); a by-product of iron ore processing, are disposed of every year in landfills, quarries, rivers, oceans among others thereby posing environmental problems. The major aim of this study is to evaluate IOT as replacement for river sand in concrete and compare with the result of conventional concrete. Concrete mixtures containing 25%, 50%, 75% and 100% IOT as river sand replacement were prepared with 0.5 water-to-cement ratio (W/C). Compressive and splitting tensile strengths, modulus of elasticity and durability tests (drying-shrinkage, water absorption, chloride penetration and carbonation effects) were conducted on concrete containing IOT. A statistical fitted linear regression analysis was performed on compressive strength to evaluate the significant level of concretes containing IOT. According to British standard, sieve analysis results indicated that IOT were of medium grade quality. Test results indicated that the concrete workability was reduced with IOT while all other strength and modulus of elasticity data were consistently higher than conventional concrete at all levels of replacement. It is recommended that IOT should be used in concrete as sand replacement to minimize environmental problems, cost and natural resources depletion.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

In recent years, steel production has increased significantly to meet the construction industry demands. This has resulted in the generation of huge amount of iron ore tailings (IOT) which are disposed of as waste in landfills, quarries, rivers, oceans, etc. Malaysia produces millions of tons of IOT. A statistical survey on one of the iron ore mining industries in southern Malaysia showed that it produces about 625,000 tons of IOT every year. These tailings pose serious environmental problems besides occupying large area of landfill sites [1]. One way of disposing these IOT is to utilize them in construction industry where they would be recycled and reused

to produce green and sustainable product. It would also save landfill space and decrease the extraction of natural raw materials [2].

It was reported that the use of waste materials in concrete products will lead to sustainable concrete and greener environment [3–6]. Senthamarai and Devadas [7] reported that the industrial and other wastes used in concrete-making will improve concrete properties and reduce cost. Growth in construction industries and the consequent increase in consumption of natural fine aggregate dwindle the natural resources. This increased in the consumption of river sand for construction activities means that the river beds are being over-exploited. This leads to a range of problems which include increased river bed depth, water table lowering, intrusion of salinity and destruction of river embankment [8]. Hence, there is a dire and urgent need to explore alternative materials to replace river sand as fine aggregate in concrete. The use of

* Corresponding author.

E-mail addresses: j.mirza@utm.my, mirza7861@gmail.com (J. Mirza).

wastes and by-products as concrete aggregates is of great practical significance since they often constitute as much as three-quarters of the concrete by volume [9].

Recent studies have shown that the IOT have potentials that can be utilized effectively to produce concrete. Liu et al. [10] carried out a research on sprayed concrete with IOT. In their experiments, natural sand was replaced with IOT of up to 100% and obtained strength of 23.4 MPa at 28 days. Zhao et al. [11] studied the possibility of using IOT to replace natural aggregate to prepare ultra-high performance concrete. They reported that 100% replacement of natural aggregate with the tailings significantly decreased the workability and compressive strength of the concrete. This submission contradicted the study by Uchechukwu and Ezekiel [12] on the evaluation of IOT in concrete. Their investigation indicated that the use of IOT increased the compressive strength of concrete either as sand or cement replacement but better performance was recorded for cement replacement.

Iron ore tailings were also used in other concrete applications. For example, Das et al. [13] studied the use of IOT to develop ceramic tiles and their study showed, that tiles produced at a maximum of 40% of IOT were superior in terms of scratch hardness and strength, compared to European standard specifications. In a related research, Yao et al. [14] produced a novel glass-ceramic tile consisting of one glass-ceramic layer using IOTs and other raw materials. They reported that glass-ceramic tiles containing 25% IOTs solve indoor electromagnetic pollution at a frequency of 2–18 GHz; reaching peak of 98.27% microwave absorption of 10.31 GHz was cost-effective and eco-friendly.

Kuranchie et al. [15] studied the utilization of IOT for the production of geo-polymer bricks. Their results indicated that, the geo-polymer brick cured for seven days had superior characteristics than ASTM C62 (2013) standard requirements for building brick. Aruna and Kumar [16] utilized IOT to manufacture concrete paving blocks and reported that the compressive strength of concrete paving blocks with IOT was higher than concrete paving blocks containing sand only.

Durability of concrete is its ability to perform satisfactorily in the exposed conditions to which it is subjected to over an intended period of time with minimum maintenance. Circumstances such as chloride penetration, water absorption, and carbonation among others can lead to severe deterioration of concrete.

As the world is becoming environmentally conscious, a variety of other waste materials have been used to replace sand in concrete to find solutions and measures to counteract the problem of poor durability performance of concrete. Evangelista and de Brito [17], observed that the penetration of chloride in concrete increases linearly with the replacement ratio of fine recycled aggregate. On the other hand, the carbonation resistance is reduced with the addition of fine recycled aggregate to the concrete. Similarly Levy and Helene [18] observed that the carbonation depth decreases with the increase of recycled fine aggregate as replacement to natural aggregate. However, by using 100% recycled aggregates, they found that the carbonation depth is still lower than reference mix.

Kayali [19] reported that the light weight concrete incorporating fly ash as aggregate has low carbonation depth and chloride ion penetration. Pazhani and Jeyaraj [20] studied the durability of high performance concrete with industrial wastes. They reported that the chloride ion penetration decreases in concrete when 30% of ground granulated blast furnace slag and 100% of copper slag were replaced for cement and fine aggregate, respectively.

Research studies on IOT for concrete infrastructures are increasing, but little or no documentation on their durability performance. This necessitates the objective of this investigation to study the strength and durability properties of concrete incorporating maximum IOT as replacement for river sand.

2. Materials

2.1. Cement and aggregate

Ordinary Portland cement (OPC), CEM I with strength of 42.5 MPa, conforming with ASTM C150 [21] was obtained from Tasek Cement Manufacturing Company of Malaysia. The fine aggregate (river sand) and coarse aggregates used for this study were natural and locally sourced. A Polycarboxylic ether based superplasticizer that complies with ASTM C494 [22] was used to increase the workability of the mix to avoid increase of water.

2.2. Iron ore tailings

Iron ore tailings (IOT) were obtained from one source in Johor; a southern State in Malaysian Peninsula. Physical test data showed that it had: specific gravity = 2.6, relative density = 1.27 g/cm³, fineness modulus = 1.05 and water absorption rate = 7.0%. The particle size distribution indicated that IOT are fine particles and fall to medium grade quality of BS 882 standard [23] (Fig. 1).

Table 1 shows the chemical composition of IOT. X-ray diffraction (XRD) analysis indicated that the main crystalline phases were quartz (SiO₂), gibbsite, hematite (Fe₂O₃) and chamosite [(Fe²⁺, Mg)₅Al(AlSi₃O₁₀)(OH)₈] (Fig. 2). Traces of calcite (CaCO₃) were also detected in the spectrum and these can be attributed to the high loss on ignition observed in the chemical composition [14].

Fig. 3(a) and (b) shows the Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM) results on IOT at different magnifications. SEM analysis showed that it consisted of porous and irregular shaped particles which were well dispersed. The irregular shaped particles coupled with the loose ones are responsible for the high surface area and water demand.

The concentration of heavy metals including As, Ba, Cd, Cr, Pb, Se, Ag, Zn and Cu in the IOT were examined to ensure that the materials were non-hazardous. Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP), developed by the United States Environmental Protection Agency (US EPA) was used in evaluating the concentration of heavy metals from IOT material. The test was performed according to the US EPA procedure, where the IOT materials were mixed with deionized water at a liquid - solid ratio of 20:1 and 30 rpm agitation for 24 h was used. After the extraction and filtration of the leachates, heavy metal ions concentrations therein were determined by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). The test results are listed in Table 2 along with the regulatory limits. The results in Table 2 indicate that all the heavy metals concentrations were below the regulatory limits; therefore, the IOT used in this study can be considered as a non-hazardous mine waste material.

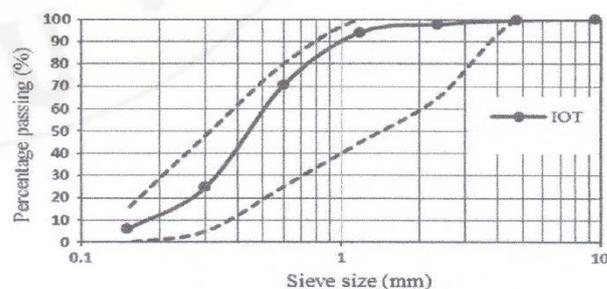


Fig. 1. Particle size distribution of IOT.

Table 1
Chemical composition of IOT.

Chemical composition (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	K ₂ O	ZnO	CUO	PbO	LOI
IOT	56	10	8.3	4.3	1.7	1.5	0.1	0.2	0.4	3.3

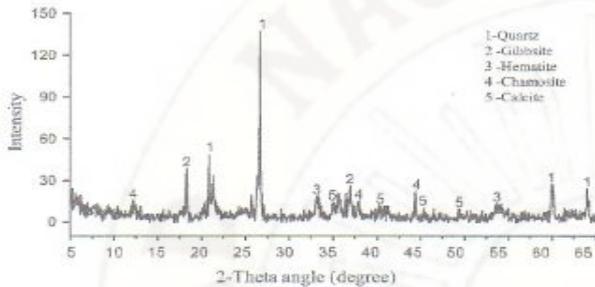


Fig. 2. XRD pattern of IOT.

3. Mixture proportion

Table 3 shows mix proportions design in accordance to the exposure classes of BS EN206-1 [24] standard specification for grade C37 concrete. The coarse aggregate used was 10 mm single size. The designed water/cement ratio (W/C) for all mixtures was kept constant at 0.5. The design concrete slump considered was between 100 and 150 mm [24]. Polycarboxylic ether superplasticizer of 0.5% was used as admixture in all the mixtures.

Five batches of mixture proportions were prepared (Table 3). The first was control mix, which is a conventional concrete designated as T0 (i.e. without IOT). In other four mixes the fine aggregate (sand) was replaced by 25%, 50%, 75% and 100% IOT. They were likewise designated as T2, T3, T4 and T5 respectively.

4. Experimental program

4.1. Specimens casting and curing

For each concrete mixture, specimens of 100 mm cubes, 100 × 200 mm cylinders and 100 × 300 mm prisms were prepared. The cubes were used to determine the compressive strength and acid resistance test while the cylinders were used for tensile strength and modulus of elasticity tests. The prisms were used to evaluate the drying shrinkage. All the specimens were demoulded after 24 h of casting and were cured under water until their testing age.

4.2. Compressive and splitting tensile strengths

Compressive and splitting tensile strengths were determined using a Matex compression machine with a loading capacity of 3000 kN. The loading rates applied in the compressive and splitting tensile strength were 2000 kN/min and 600 kN/

Table 2
Concentration of heavy metals in IOTs.

Elements	Regulatory limits (mg/l)	Concentration in IOT (mg/l)
As	0.05	0.002
Ba	1.0	0.0008
Cd	0.01	0.002
Cr	0.05	0.0002
Pb	0.05	0.0008
Se	0.01	0.001
Ag	0.05	0.01
Zn	0.5	0.0005

Table 3
Mixture proportion of five concrete mixes incorporating IOT.

Description	IOT proportion				
	T0	T25	T50	T75	T100
OPC (kg/m ³)	380	380	380	380	380
Coarse aggregate (kg/m ³)	1010	1010	1010	1010	1010
Natural sand (kg/m ³)	820	615	410	205	–
Iron ore tailings (kg/m ³)	–	205	410	615	820
Water (kg/m ³)	190	190	190	190	190
Superplasticizer (%)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

min respectively. The results of the compressive strength are presented in Table 4 while tensile strength is plotted in Fig. 7. The compressive strength test was carried out at the curing ages of 7, 14 and 28 days while tensile strength was tested at ages of 7 and 28 days curing. All the tests were conducted in accordance to EN 12390 [25].

4.3. Static modulus of elasticity

The static modulus of elasticity of the specimens was tested at the concrete age of 28 days using an electrical strain gauge of 60 mm in length with a gauge factor of $2.08 \pm 1\%$. Two electrical strain gauges were vertically attached to the specimen at opposite sides of each other. Also, two Linear Variable Displacement Transducers (LVDT) were positioned at 90° vertically upward attached to the upper disc of the machine. Both the strain gauge and LVDT measured the lateral strain of the specimen during the loading phases. Three cycles of loading and unloading were carried out with a loading rate of 5 kN/s until failure. The deformation was measured and recorded with a data logger at three cycles of loading.

4.4. Durability tests

4.4.1. Drying shrinkage

The drying shrinkage test was carried out on three sets of 100 × 100 × 300 mm concrete prism as specified in ASTM C157 [26], but the length and setting slightly varied. In this study, two gauge studs were fixed on the specimen at 100 mm

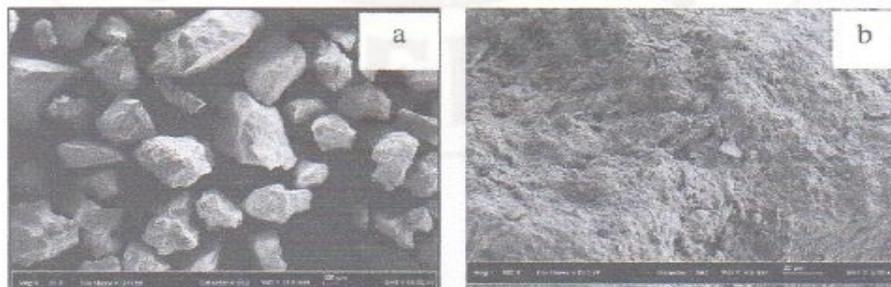


Fig. 3. FESEM of IOT at (a) 25 μm and (b) 500 μm magnifications.

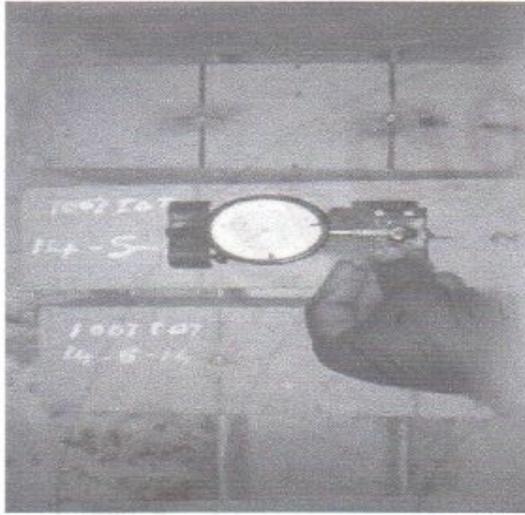


Fig. 4. Measuring specimen with demec reader.

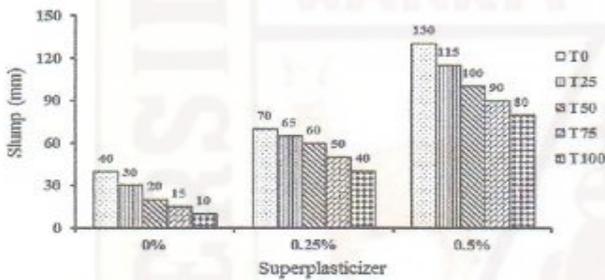


Fig. 5. Slump values versus superplasticizer.

interval with the aid of demec gauge. The initial reading was recorded with the demec reader as shown in Fig. 4, and the specimen was stored in the control room at a temperature of 23 ± 1 °C and relative humidity of $50 \pm 4\%$. Subsequent readings were recorded and the average results were computed for 7, 28 and 90 days.

4.4.2. Water absorption

Water absorption test was carried out in accordance to BS 1881: part 122 (2011). Three specimens of 75 mm diameter \times 75 mm length were cored from three 100 mm concrete cubes at ages of 7, 28 and 90 days of curing. The cored specimens were oven dried at 105 °C for 72 h. They were then allowed to cool in an air tight vessel for 24 h. The specimens were weighed and immediately immersed in water tank for 30 min.

The specimens were then weighed and water absorption was calculated as an increase in weight expressed in percentage of the mass of the dry specimen as shown in Eq. (1):

$$W = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100\% \quad (1)$$

where:

W = Percentage of water absorption.

W_w = Weight of specimen wet.

W_d = Weight of specimen dry.

4.4.3. Chloride penetration test

Rapid chloride penetration tests were conducted according to ASTM C1202 (2012) to determine the chloride ions charge in the concrete specimen. A saturated vacuum conditioned 50 mm thick sliced sample was taken from 100 \times 200 mm cylindrical specimen cured for 7, 28 and 90 days. The specimens were enclosed in two cells chamber which contained 0.3 M NaOH solution on one side and 3% NaCl solution on the other. A 60 V DC was applied for a period of six hours. The current

passed were measured at an interval of 30 min during the six hours period using data logger. The total charge passed (in coulombs) was calculated, and it was found to be related to the resistance of the specimen to chloride ion penetration. As stated in the ASTM C1202 standard, if the charge passed in coulombs is less than 100, chloride ion penetrability is negligible, 100–1000 is very low penetrability, 1000–2000 is low penetrability, 2000–4000 is moderate penetrability and above 4000 C is high penetrability.

4.4.4. Carbonation depth

Accelerated carbonation test was conducted according to BS 1881-210:2013 procedure in a carbonation chamber. A plastic tank connected to a CO₂ gas cylinder and pressure pipes was devised as accelerated carbonation chamber. The concrete specimens were exposed in the carbonated environment. In this test method, accelerated carbonation chamber with specimens were vacuumed to a pressure of around 600 mmHg at 60–65% relative humidity (RH) and maintained for 2 min. CO₂ gas was then passed through the container at a pressure level of 4% for a period of 70 days at a temperature of 25 °C. The pressure inside the curing chamber was constantly monitored with the help of a pressure gauge positioned between the cylinder and the gas chamber. Two 100 \times 100 mm cube specimens were tested for each of the respective mixes. After 70 days of storage in the CO₂ chamber, the samples were split into half. 1% phenolphthalein solution was sprayed on cross sections of the cubes. After spraying the solution, the un-carbonated area changed colour to purple, while the carbonated area remained colourless. The average carbonation depth of the specimen was determined by measuring the distance between the purple colour boundary and the edge of the specimen.

4.4.5. Acid resistance test

Concrete cubes of 100 mm were prepared and cured in water for 28 days before immersing them in 5% H₂SO₄ solution. Prior to immersion, the cube specimens were dried under laboratory condition for 48 h and weighed as referenced. The acid solution was periodically changed after every 4 weeks to keep constant concentration of solution. The assessment of normal concrete and those of the IOT specimens in acidic environment were made based on mass losses performance.

5. Results and discussion

5.1. Workability

The slump values in Fig. 5 showed that substituting river sand with IOT decreased the workability of concrete. With an increase in IOT to 100% in the concrete mix, 38% decrease in slump was observed compared to control. Fresh conventional concrete was more cohesive and workable than concrete containing IOT. This might be attributed to the high water absorption, angular surface area and the fine texture of the IOT as discussed in Section 2.2. The fineness modulus of 1.05 for IOT; which is less than half of the minimum value of 2.3 specified for sand by ASTM C33 standard [27], increases water demand in the concrete, thus resulting in a decrease in workability. Workability of concrete is directly proportional to the fineness modulus of the material used in preparing the concrete [28]. Hou [29] reported that slump workability of concrete will increase with increase in fineness modulus due to decrease of total appearance area.

5.2. Compressive strength

The compressive strength test values for control and IOT concrete mixes are shown in Table 4. The test data revealed that the compressive strength of IOT concrete specimens were higher than the control at all the curing periods. The percentage increase of compressive strength relative to control at 28 days was 12.9%, 10.5%, 10.2%, and 1.3% for T25, T50, T75 and T100 respectively. This observed increase in the compressive strength could be partly attributed to the finer particles of IOT which filled the pore and optimized the pore structure. It is equally suspected that the presence of iron in higher concentrations might resulted in the positive impact on strength attainment [30]. The rough and angular texture of IOT materials also improves the bond between cement and aggregate interface, resulting in higher strength [29]. Another factor that could have been responsible is the secondary reaction between excess Ca(OH)₂ evolved during the cement hydration

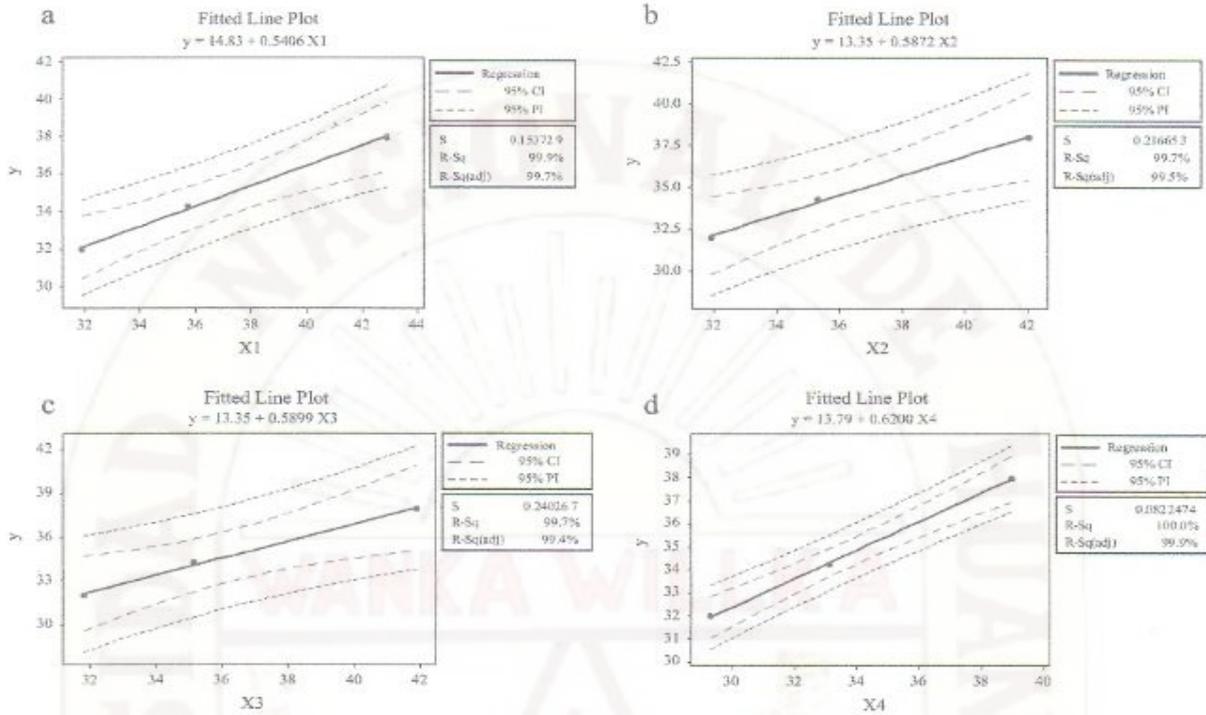


Fig. 6. (a) T25, (b) T50, (c) T75 and (d) T100 are fitted line plots of regression analysis for control specimen vs IOT percentage replacement of sand.

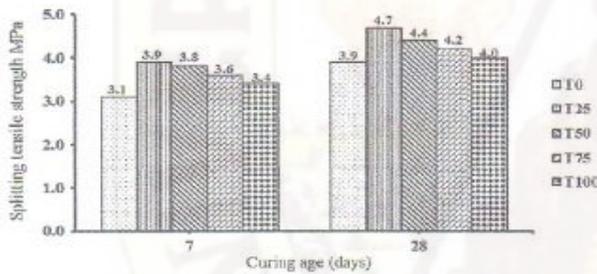


Fig. 7. Splitting tensile strength of concrete with and without IOT.

Table 4
Compressive strength of concrete with and without IOT.

Curing age (days)	T0	T25	T50	T75	T100
7	32.0	31.9	30.2	32.8	29.3
14	34.3	35.7	35.3	35.1	33.1
28	38.0	42.9	42.0	41.9	38.5

and IOT that produce C-S-H; and imparts strength to the concrete [12]. However, the strength of the concrete with IOT was decreased as the percentage of IOT was increased. Goyal et al. [31] equally observed similar trend as IOT addition enhanced strength increments in relation to control (T0), but decreased with increased in IOT percentage. Hence, the basic trend in the strengths behaviour of IOT concrete is virtually the same with that of normal concrete. In this study, replacement of natural sand with IOT of up to 100% is favourable for concrete making without any effect on the strength criteria. Concrete specimens cast with 25% IOT replacement for natural sand displayed the highest strength throughout the curing

period and are considered as optimum mixture. Various researchers have different opinion on optimum mixture of IOT in concrete production. It was ranged between 20% and 40% optimum mixtures replacement of natural sand with IOT [32]. This could be attributed to the mineral composition of the geological mining exploration area from which the tailings were produced.

5.2.1. Statistical analysis

Compressive strength data presented in Table 5 were statistically analysed using Minitab software. Fitted line plot regression analysis was performed in order to analyze ANOVA. The model evaluates relationship between one predictor and a continuous response using a linear quadratic regression model. In this study, the control specimen (T0) is the response while various IOT percentage replacements to sand are the predictors. The theory of hypothesis to either reject or accept null hypothesis with a measured risk $p \leq 0.05$ at 95% confidence level was applied, (p is the probability which measures the strength against the null hypothesis if actually true). The ANOVA results were presented in Table 5 while the fitted line plots are shown in Fig. 6. The linear regression equations for various replacements are given in Eqs. (2)–(5):

$$y = 14.83 + 0.5406x_1 \tag{2}$$

Table 5
Results of ANOVA for compressive strength.

Source	DF	MS	F Value	p-Value Prob > F	Adj. R-square	Significance
T25	1	18.32	775.28	0.023	99.7	Yes
T50	1	18.30	389.84	0.032	99.5	Yes
T75	1	18.29	316.97	0.036	99.4	Yes
T100	1	18.34	2710.99	0.012	99.9	Yes

$$y = 13.35 + 0.5872x_2 \quad (3)$$

$$y = 13.35 + 0.5899x_3 \quad (4)$$

$$y = 13.79 + 0.6200x_4 \quad (5)$$

where, y is compressive strength of control (T0) and x_1 , x_2 , x_3 and x_4 are compressive strength of T25, T50, T75 and T100, respectively.

Based on the ANOVA, the selected models adequately represented the data obtained. Values of "Prob > F" which were less than 0.05 indicated that model terms are statistically significant at 95% confidence level. The goodness of the model can be checked by determination of correlation coefficient (R^2). The results of R^2 varied from 99.4% to 99.9% which were above the 95% confidence limit. This indicated that there is good correlation between the various mixes and this contributed to the gain in compressive strength.

5.3. Splitting tensile strength

Fig. 7 shows splitting tensile strength results. The results indicated that the splitting tensile strength increased sharply in concrete specimens containing 25% IOT. By further increasing the IOT, tensile strength decreased both at 7 and 28 days curing but always remained higher than the control concrete. However, comparing the results at 7 and 28 days, there was a significant improvement in the splitting tensile strength of IOT concrete mixtures. The results of the splitting tensile strength of concrete at 28 days were 20.5%, 12.8%, 7.7% and 2.5% for T25, T50, T75 and T100, respectively. These were higher than the control mixture. Ugama and Ejeih [33], observed that the addition of 20% IOT into concrete would result in the tensile strength being 22.8% higher than control mix, which is in close agreement to T25 specimens. The increase in tensile strength observed in IOT concrete could be due to the enhanced bonding between aggregates and the cement paste engendered by the smaller particles of the tailings [34].

5.4. Static modulus of elasticity

The results of static modulus of elasticity at age of 28 days curing are shown in Fig. 8. The modulus of elasticity for all concretes containing IOT was higher than the control. It could be seen that the modulus of elasticity of T100 was 41.3% higher than the control specimen. It was obvious that inclusion of IOT in concrete mixtures led to increase in modulus of elasticity. This could be ascribed to the corresponding compressive strength, porosity and bond between the aggregates and the paste of the mixtures [35]. Compressive strength was assumed as an adequate index for all types

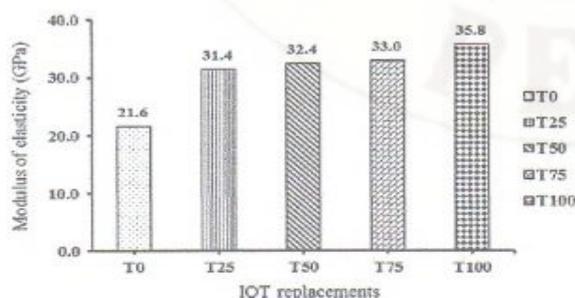


Fig. 8. Static modulus of elasticity at 28 days of curing.

of strength and therefore, a direct relationship exists between compressive strength and modulus of elasticity.

5.5. Durability properties

As mentioned earlier (Section 1), there appears to be no documentation on the durability performance of concrete incorporating IOT. These durability test results will provide some additional data for future researches and references.

5.5.1. Drying shrinkage

Fig. 9 presents the result of drying shrinkage. It was observed that the drying shrinkage of the IOT concretes were lower compared to concrete made with river sand. Throughout the period of test, the shrinkage of the control concrete specimen was higher and diverged from IOT concrete. The shrinkage values of concrete at 90 days for T25, T50, T75 and T100 were 24%, 43%, 46% and 58% lesser than control specimen. The lower rates of drying shrinkage of IOT was attributed to the finer particle that fill the micro pore of the concrete and optimized the pore structure. This finding is clearly in agreement with Zhou et al. [36]. Another factor for lower drying shrinkage of IOT could be attributed to the porous nature of IOT which would absorb more water and release moisture slowly during the drying phase of concrete, like in the case of furnace bottom ash [37]. Drying shrinkage lower than those of the control samples were also observed by Feng et al. [38] in a sample containing iron mine tailing. They reported that the drying shrinkage of concrete for grade C30 and C60 concrete are lower than control specimen. Zhang et al. [32] also investigated properties of concrete with iron ore tailings and manufactured sand as fine aggregate. They reported that the drying shrinkage of mixed sand is less than river sand concrete and with increase in IOT the drying shrinkage of mixed sand decreases. In a related study, Bai et al. [39] reported similar trend when furnace bottom ash (FBA) was used as fine aggregate. At a fixed water cement ratio, the drying shrinkage decreased with the increase of FBA. Jianyong and Yan [40] study creep and shrinkage of high performance concrete. They reported that the addition of ultrafine ground granulated blast furnace slag and silica fume in concrete reduced creep and shrinkage by filling the pores and void which are harmful to micro performance of the concrete.

5.5.2. Water absorption

The results of the water absorption test conducted on T0 and IOT concrete at ages of 7, 28 and 90 days are shown in Fig. 9. The data revealed that concrete permeability decreased slightly with increase in the age. Fig. 10 also shows that control specimen absorbed less water compared to IOT concrete. However, as the curing duration increased, the water absorption decreased, with only a marginal change in the control specimen. The relative decrease in the absorption capacities is probably due to increase

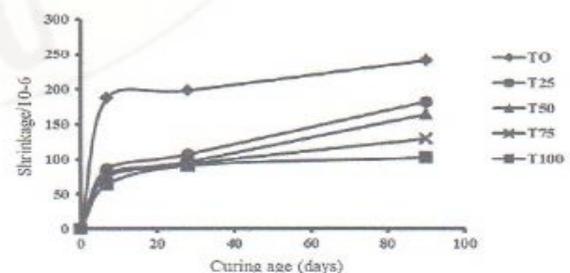


Fig. 9. Variation of dry shrinkage with curing age.

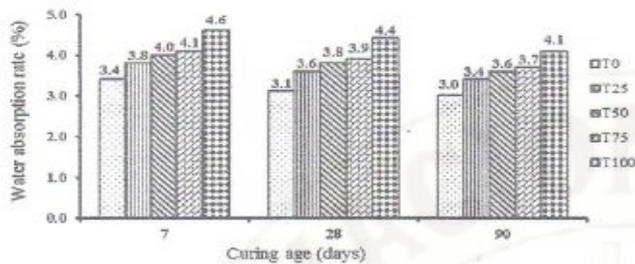


Fig. 10. Water absorption in concrete with and without IOT.

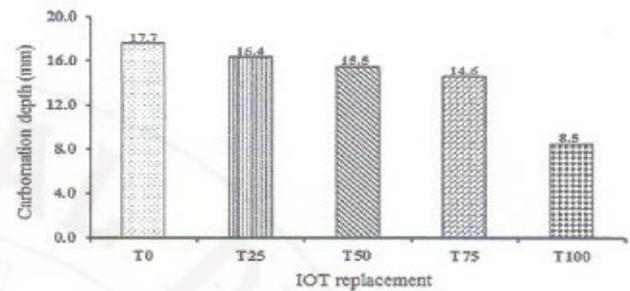


Fig. 12. Carbonation depth of concrete mixes with and without IOT.

in the hydration process and fineness of the IOT, which occupied both the macro and micro pores in the mix. In other words, the IOT content influenced the pore and grain refinements of the concrete [41]. In a related research, Correia et al. [4] observed similar trend when ceramic waste was used as coarse aggregate. They reported that water absorption by immersion increases with the increase in proportion of ceramic aggregates in the concrete mix.

However, all the test results for water absorption are below 10% by mass in accordance with Neville [9]. According to Chan and Sun [42] higher water adsorption has negative impact on concrete workability and durability.

5.5.3. Rapid chloride penetration test (RCPT)

Fig. 11 shows the results of RCPT values for the control and IOT concretes. It was observed that concrete containing IOT has higher charges passed compared to control concrete (T0). The charges passed were within the range of 1000–2000 C, which are classified as low chloride penetration according to ASTM C 1202 (2012) standard. The higher charge in IOT could be attributed to the fineness of the material which cannot resist the forced penetration of chloride-ions. The replacement of river sand with 100% IOT in concrete has an intense effect on the depth of chloride penetration of concrete.

It was also observed that as the curing age increased, the coulomb charge in all the concrete specimens reduced. At age of 90 days there was a general fall in the total coulomb charge for both T0 and IOT concretes.

5.5.4. Carbonation depth

The results indicated that the carbonation depth decreased as the percentage of IOT in concrete mixes increased, thus, presenting a better performance throughout the replacement (Fig. 12). This behaviour is similar to that of the other reported waste materials. Siddique et al. [43] observed that, concrete with foundry sand mixes showed good resistance to carbonation. Similarly, Kou and Poon [44] reported that there is decrease in the carbonation depth

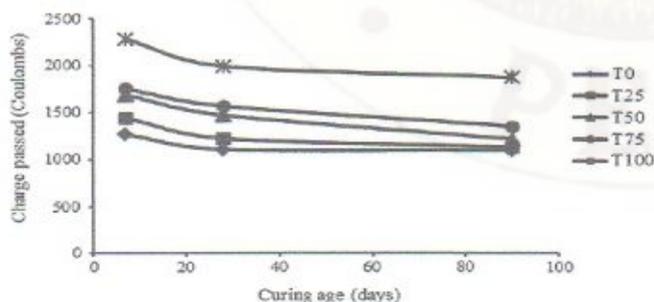


Fig. 11. RCPT test results for various concrete mixes.

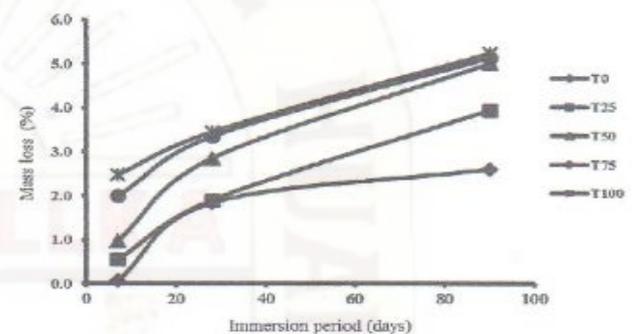


Fig. 13. Mass loss of concrete specimens immersed in sulphuric acid solution.

of concrete with increase recycled fine aggregate. Papadakis [45] examined that when fly ash is introduced as a fine aggregate replacement, the carbonation rate is reduced. This decrease in carbonation in the concrete specimen containing IOT could be attributed to both the amount of compacted pores and the relative humidity which could not facilitate the ingress of CO_2 . The smaller sizes of IOT contributed to the lower porosity and decrease in carbonation depth. In a related findings, Basheer et al. [46] examined the influence of coarse aggregate on the permeation and durability of ordinary Portland cement concrete. They reported that depth of carbonation increases when the aggregate size increases.

5.5.5. Acid resistance test

The effect of sulphuric acid on control specimen (T0) and IOT concretes on mass loss of the samples are presented in Fig. 13. It is observed that all the specimens exhibited the same trend of decrease in mass throughout the period of 7, 28 and 90 days of immersion. This mass loss is brought about by the action of the acid which reacts with calcium hydroxide to damage the cement gel binder of concrete [47] and forms white, soft and soluble gypsum on the surface. Throughout the period of exposure, the weight of concrete containing IOT decreased more than the T0. This could be attributed to the fineness of IOT and the direct attack on the aluminosilicate framework by breaking the bonds that are prone to breakage due to their weakness. This leads to less aluminate in the composition of the IOT concrete, but still affects more on control sample. The stronger silica bonds of river sand in the normal concrete tend to resist the attack by acid more than the alumina bond of IOT concrete.

6. Conclusions

Based on the findings of the experimental program on concrete incorporating IOT, the following conclusions could be drawn:

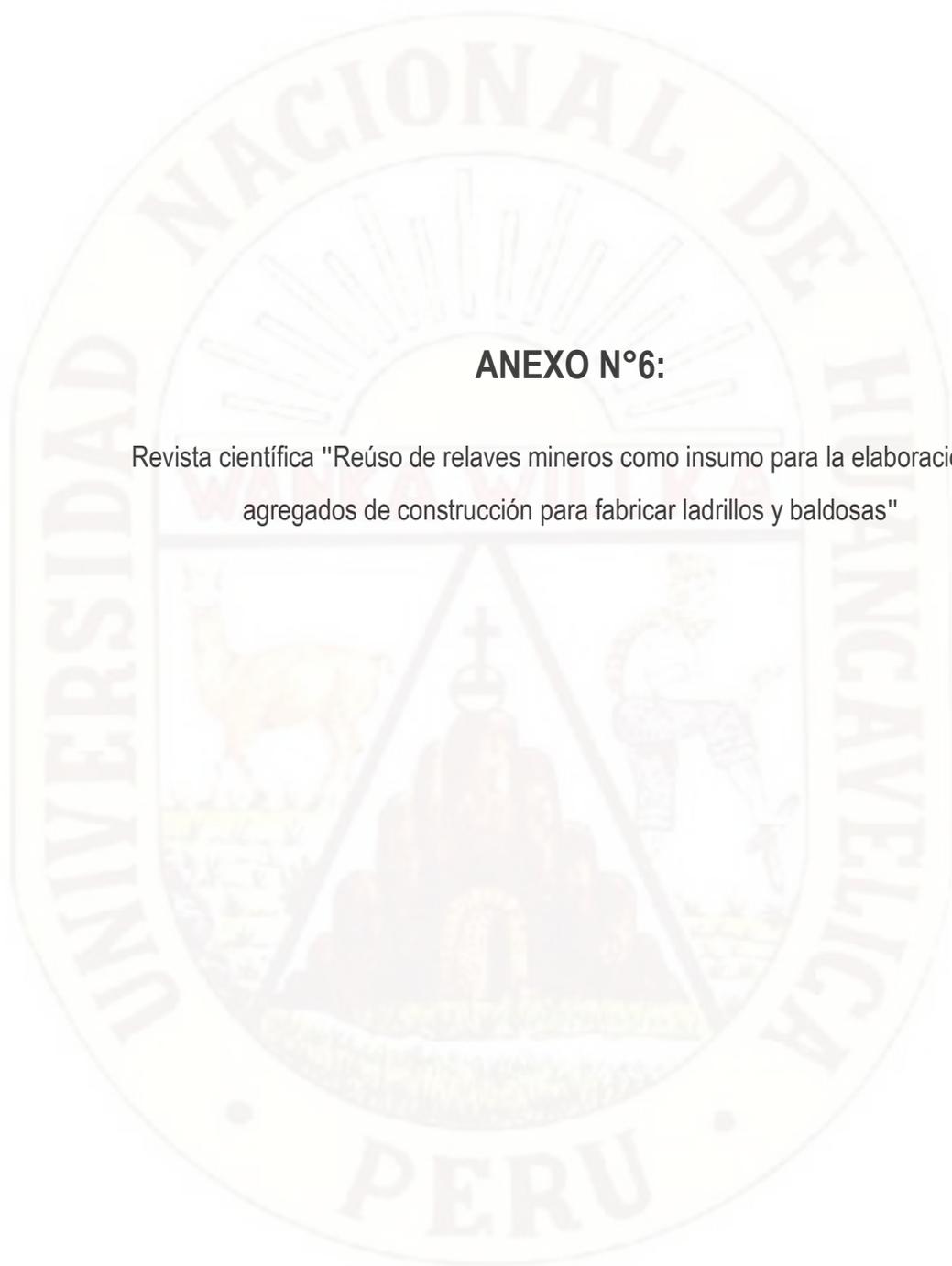
1. Incorporating IOT into concrete mix increased the water demand and decreased the slump. This is believed to be influenced by the surface area and rough texture of the tailings. Thus, the workability of concrete containing IOT decrease as the amount of IOT increases.
2. Concrete containing 25% IOT showed consistently higher compressive strength than the reference concrete at all ages.
3. The results of the ANOVA analysis confirm the significant influence of IOT percentage on the compressive strength of concrete cured for 7, 14 and 28 days.
4. The splitting tensile strength of concrete mixtures prepared with IOT is higher than the corresponding control concrete.
5. The use of IOT in concrete increases the modulus of elasticity when compared to that of control mixture. 100% replacement of sand with IOT was 39.5% higher than that of control mix.
6. The drying shrinkage of concrete decreases with the increase of IOT.
7. Concrete with IOT indicates good resistance to carbonation compared to control specimen.
8. Water absorption rate and chloride penetration of the concrete increase as the IOT substitution rate by sand was increased.
9. Throughout the period of concrete exposure to acid solution, the weight of the IOT concrete decreases more than that of the CM.
10. IOT could be used in concrete as sand replacement which would minimize environmental problems, cost and natural resources depletion.

Acknowledgments

The authors are grateful to Ministry of Education (MOE) and Research Management Centre (RMC), for providing the Research University Grant (RUG), Vot. No: QJ13000.2509.06H56, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia.

References

- [1] C. Li, H. Sun, J. Bai, L. Li, Innovative methodology for comprehensive utilization of iron ore tailings. Part 1. The recovery of iron from iron ore tailings using magnetic separation after magnetizing roasting, *J. Hazard. Mater.* 174 (1–3) (2010) 71–77.
- [2] Z.Z. Ismail, E.A. Al-Hashmi, Reuse of waste iron as a partial replacement of sand in concrete, *Waste Manage.* 28 (11) (2008) 2048–2053.
- [3] M.T. Jepsen, D. Mathiesen, M.C. Petersen, D. Bager, Durability of resource saving “Green” types of concrete, in: *Proceedings of the FRB-Symposium on Concrete and Environment*, Berlin, 2001, pp. 257–265.
- [4] J.R. Correia, J. de Brito, A.S. Pereira, Effects on concrete durability of using recycled ceramic aggregates, *Mater. Struct.* 39 (2) (2006) 169–177.
- [5] Y. Aggarwal, R. Siddique, Microstructure and properties of concrete using bottom ash and waste foundry sand as partial replacement of fine aggregates, *Constr. Build. Mater.* 54 (2014) 210–223.
- [6] E. Anastasiou, K. Georgiadis Filikas, M. Stefanidou, Utilization of fine recycled aggregates in concrete with fly ash and steel slag, *Constr. Build. Mater.* 50 (2014) 154–161.
- [7] R.M. Senthamarai, M.P. Devadas, Concrete with ceramic waste aggregate, *Cem. Concr. Compos.* 27 (9–10) (2005) 910–913.
- [8] P.G. Ganesh, J.H. Hyun, Y.Y. Kim, Effects of foundry sand as a fine aggregate in concrete production, *Constr. Build. Mater.* 70 (2014) 514–521.
- [9] A.M. Neville, *Properties of Concrete*, Pearson Education Limited, London, 2011.
- [10] W. Liu, X. Xu, Y. An, Study on the sprayed concrete with iron tailings, *Adv. Mater. Res.* 347–353 (2011) 1939–1943.
- [11] S. Zhao, J. Fan, W. Sun, Utilization of iron ore tailings as fine aggregate in ultra-high performance concrete, *Constr. Build. Mater.* 50 (2014) 540–548.
- [12] E.A. Uchechukwu, M.J. Ezekiel, Evaluation of the iron ore tailings from Itakpe in Nigeria as concrete material, *Adv. Mater.* 3 (4) (2014) 27.
- [13] S.K. Das, S. Kumar, P. Ramachandrarao, Exploitation of iron ore tailing for the development of ceramic tiles, *Waste Manage.* 20 (2000) 725–729.
- [14] R. Yao, S. Liao, C. Dai, Y. Liu, X. Chen, F. Zheng, Preparation and characterization of novel glass-ceramic tile with microwave absorption properties from iron ore tailings, *J. Magn. Magn. Mater.* 378 (2015) 367–375.
- [15] F.A. Kuranchie, S.K. Shukla, D. Habibi, Utilisation of iron ore mine tailings for the production of geopolymer bricks, *Int. J. Min. Reclam. Environ.* 1–23 (2014).
- [16] M. Aruna, S.N.N. Kumar, Studies on iron tailings towards usage for paving blocks manufacture, *Int. J. Earth Sci. Eng.* 3 (6) (2010) 861–868.
- [17] L. Evangelista, J. de Brito, Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates, *Cem. Concr. Compos.* 32 (1) (2010) 9–14.
- [18] S.M. Levy, P. Helene, Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development, *Cem. Concr. Res.* 34 (11) (2004) 1975–1980.
- [19] O. Kayali, Fly ash lightweight aggregates in high performance concrete, *Constr. Build. Mater.* 22 (12) (2008) 2393–2399.
- [20] K. Pazhani, R. Jeyaraj, Study on durability of high performance concrete with industrial wastes, *Appl. Technol. Innov.* 2 (2) (2010) 19–28.
- [21] ASTM C150, American Standard Testing of Materials – Standard Specification for Portland Cement, American Society of Testing and Materials Publication, 2012.
- [22] ASTM C494, American Standard Testing of Materials – Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, American Society of Testing and Materials, 2013.
- [23] BS882, British Standard Specification for Aggregate from Natural Sources for Concrete, BSI Standards Publication, 1992.
- [24] EN206-1, European Standard for Concrete: Specification, Performance, Production and Conformity, BSI Standards Publication, 2013.
- [25] EN12390-part3, European Standard Specification for Testing Hardened Concrete – Compressive, Flexural and Tensile Strength, BSI Standards Publication, 2002.
- [26] ASTM C157, American Standard Testing of Materials – Specification for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete, American Society of Testing and Materials, 2008.
- [27] ASTM C33, American Standard Testing of Material – Standard Specification for Concrete Aggregates, American Society of Testing and Materials, 2003.
- [28] C. Arum, A.O. Owolabi, Suitability of iron ore tailings and quarry dust as fine aggregates for concrete production, *J. Appl. Sci. Technol.* 17 (2) (2012) 46–52.
- [29] Y.F. Hou, Comparison of effect of iron tailing sand and natural sand on concrete properties, *Key Eng. Mater.* 599 (2014) 11–14.
- [30] M. Yellishetty, V. Karpe, E.H. Reddy, K.N. Subhash, P.G. Ranjith, Reuse of iron ore mineral wastes in civil engineering constructions: a case study, *Resour. Conserv. Recycl.* 52 (11) (2008) 1283–1289.
- [31] S. Goyal, K. Singh, A. Hussain, P.R. Singh, Study on partial replacement of sand with iron ore tailing on compressive strength of concrete, *Int. J. Res. Eng. Adv. Technol.* 3 (2) (2015).
- [32] G.D. Zhang, X.Z. Zhang, Z.H. Zhou, X. Cheng, Preparation and properties of concrete containing iron tailings/manufactured sand as fine aggregate, *Adv. Mater. Res.* 838–841 (2013) 152–155.
- [33] T.I. Ugama, S.P. Ejeh, Iron ore tailing as fine aggregate in mortar used for masonry, *Int. J. Adv. Eng. Technol.* 7 (4) (2014) 1170–1178.
- [34] G. Li, Y.J. Chen, H. Di, The study on used properties of mine tailings sand, *Adv. Mater. Res.* 859 (2013) 87–90.
- [35] L. Evangelista, J. de Brito, Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates, *Cem. Concr. Compos.* 29 (5) (2007) 397–401.
- [36] X.M. Zhou, J.R. Slater, S.E. Wavell, O. Oladiran, Effects of PFA and GGBS on early-ages engineering properties of Portland cement systems, *J. Adv. Concr. Technol.* 10 (2012) 74–85.
- [37] M. Singh, R. Siddique, Effect of coal bottom ash as partial replacement of sand on properties of concrete, *Resour. Conserv. Recycl.* 72 (2013) 20–32.
- [38] X.X. Feng, X.L. Xu, J.W. Cai, H.J. Chai, Y.Z. Song, Investigation of drying shrinkage of concrete prepared with iron mine tailings, *Key Eng. Mater.* 477 (2011) 37–41.
- [39] Y. Bai, F. Darcy, P.A.M. Basheer, Strength and drying shrinkage properties of concrete containing furnace bottom ash as fine aggregate, *Constr. Build. Mater.* 19 (9) (2005) 691–697.
- [40] L. Jianyong, Y. Yan, A study on creep and drying shrinkage of high performance concrete, *Cem. Concr. Res.* 31 (2001) 1203–1206.
- [41] L. Yu, J.X. Zhang, K. Mu, Relationships between compressive strength and microstructure in mortars with iron ore tailings as fine aggregate, *Appl. Mech. Mater.* 188 (2012) 211–218.
- [42] D. Chan, P.C. Sun, Effects of fine recycled aggregate as sand replacement in concrete, *HIQE Trans.* 13 (4) (2013) 2–7.
- [43] R. Siddique, Y. Aggarwal, P. Aggarwal, E.-H. Kadri, R. Bennacer, Strength, durability, and micro-structural properties of concrete made with used-foundry sand (UFS), *Constr. Build. Mater.* 25 (4) (2011) 1915–1925.
- [44] S.-C. Kou, C.-S. Poon, Long-term mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete prepared with the incorporation of fly ash, *Cem. Concr. Compos.* 37 (2013) 12–19.
- [45] V.G. Papadakis, Effect of supplementary cementing materials on concrete resistance against carbonation and chloride ingress, *Cem. Concr. Res.* 30 (2) (2000) 291–299.
- [46] L. Basheer, P.A.M. Basheer, A.E. Long, Influence of coarse aggregate on the permeation, durability and the microstructure characteristics of ordinary Portland cement concrete, *Constr. Build. Mater.* 19 (9) (2005) 682–690.
- [47] T. Bakharev, J.G. Sanjayan, Y.B. Cheng, Resistance of alkali-activated slag concrete to acid attack, *Cem. Concr. Res.* 33 (10) (2003) 1607–1611.



ANEXO N°6:

Revista científica "Reúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas"

Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas

Recibido: 00/00/10 Aceptado: 00/00/10

Alfonso A. Romero
 Silvana L. Flores

RESUMEN

El presente paper hace referencia al reuso de relave mediante la forma de un agregado de construcción para la fabricación de ladrillos y agregados de construcción. Actualmente, existe una enorme relavera en Ticapampa que pertenece a la Cia. Minera Alianza que fue construida a orillas del río en el km 170 y paralela de la carretera asfaltada Pativilca Huaraz, la cual tiene una dimensión de 750 X 200 metros con una altura máxima de 19 metros, que constituye un pasivo ambiental minero de grandes proporciones, por el enorme volumen que ocupa en el área aledaña a la cuenca media del río Santa.

Es en ese sentido, que surge la necesidad de formular soluciones frente a este tipo de problemática ambiental existente a nivel nacional y se desarrollaron varios proyectos de investigación en la zona de Ticapampa, a cargo de un grupo de investigadores de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, que proponen resolver este tipo de problema nacional, mediante la alternativa de solución que propone dar valor agregado al relave mediante el reuso de relave bajo la forma de un agregado de construcción que constituye la materia prima para la fabricación de agregados de construcción.

Palabras clave: Agregados de construcción, relave, ladrillos, baldosa.

REUSE OF MINING TAILING AS RAW CRUDE FOR THE ELABORATION OF AGGREGATES OF CONSTRUCTION FOR THE MAKING OF BRICKS AND TILE

ABSTRACT

The present paper treats about the reuse of the tailing through the shape of an aggregate of construction for the making of bricks and aggregates of construction. Actually, there is a huge tailing pond in Ticapampa which belongs to the Mining Company Alianza, which has been built near the shore of the Santa river in km 170 and it is parallel to the highway Pativilca-Huaraz, which has a dimension of 750 X 200 meters and it has 19 metres high, which constitute an environment mining passive of high proportions by the huge volume that has been located near to the area of the Santa River Basin.

In that sense, there is a need of formulating solutions for this sort of environment problem which is a national concern and that was the main reason for developing many projects of research at The Ticapampa zone, in charge of a group of researchers from La Universidad Nacional Mayor de San Marcos, who proposed give an added value to this tailing through the reuse of the tailing under the shape of an aggregate of construction which constitute the raw crude for the elaboration of aggregates of construction.

Keywords: Aggregate of construction, tailing, brick, tiles.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolló para formular y proponer una alternativa de solución a la problemática ambiental nacional crítica, mediante la aplicación de un valor agregado de manera directa al relave, que permita el reuso de relave bajo la forma de agregado de construcción para la fabricación de ladrillos y baldosas.

Puesto que dar solución a esta problemática ambiental es de suma importancia, debido a que actualmente, el Perú tiene alrededor de 450 minas polimetálicas en estado de abandono, denominados pasivos ambientales mineros, cada uno de ellos actualmente representa una alteración al medio físico con el riesgo permanente de contaminación ambiental, generando un impacto visual negativo y la continua contaminación producida por efectos climatológicos del medio físico circundante. Esta alteración al medio físico se ve afectada en sus tres componentes principales como son el agua, el suelo y el aire; solamente en la cuenca del río Santa.

En Ancash existen aproximadamente 55 pasivos mineros ambientales, cada uno con sus respectivos relaves polimetálicos del proceso de concentración de minerales sulfurados por concentración físico química.

Por lo menos ocho de los ríos principales en el Perú están afectados por altos niveles de cianuro y/o metales, incluyendo cobre, plomo, zinc, cadmio, arsénico, níquel, y mercurio (Dirección General de Asuntos Ambientales-DGAS, 1992).

Algunos de estos ríos son también afectados por contaminantes que no están relacionados a la minería, tales como los coliformes y nitratos, incluyendo el Rímac que es la única fuente de agua de beber para 8 millones de habitantes en Lima.

Esta situación se agrava al existir minas abandonadas que tienen relaves mineros sulfurados, y a ello debemos añadir que las minas que actualmente están funcionando son más de 200 que se encuentran operativas y que diariamente generan aproximadamente 100 mil toneladas de relaves mineros polimetálicos que provienen de concentrar minerales de plomo, cobre y zinc.

- 1 Docente de la Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
E-mail: aromsrob@unmsm.edu.pe
- 2 Docente de la Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
E-mail: sflorese@unmsm.edu.pe

Asimismo, se han realizado estudios de relaves mineros abandonados de este tipo y con características similares, llegando el volumen acumulado que hacen un total de unos 4 millones de metros cúbicos únicamente en el relave minero abandonado de Ticapampa que por su ubicación reconstituye en un alto riesgo de contaminación a la población de las ciudades como Ticapampa y Recuay [Ministerio de Energía Y Minas, Perú (1995)].

Los residuos actuales aparecieron como consecuencia del proceso de concentración de los minerales sulfurados por flotación; como la galena, la blenda, la pirita argentífera, entre otros, dichos residuos se encuentran en cantidades considerables y actualmente están fuera de control ambiental óptimo.

Por ejemplo, como en muchos lugares de la cuenca del río Santa que son afectadas por la contaminación minera, todo esto se debe a la falta de recursos económicos para su estudio y evaluación del comportamiento de los metales pesados y su tratamiento correspondiente con tecnologías que permitan controlar la permanente contaminación a través de los metales pesados que se encuentran en cada uno de éstos relaves y que por acción meteorológica van contaminando el medio físico circundante.

La parte experimental de este estudio se realizó mediante el diseño experimental de los agregados de construcción con la realización de los ensayos de obtención de los agregados propiamente dichos y de la obtención de ladrillos y baldosas, a partir de dichos agregados, todos los cuales se realizaron a nivel de Laboratorio, en las instalaciones del Laboratorio de Investigaciones Multidisciplinarias de la Escuela de Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Nuestro propósito fue establecer una metodología del procedimiento experimental para la elaboración de los agregados de construcción, el cual constituirá la materia prima para la fabricación de ladrillos y baldosas, teniendo como materia prima al relave.

Cabe resaltar, que este estudio tuvo como finalidad, el establecimiento de las técnicas estándar de la fabricación de ladrillos y baldosas, que ofreciera una serie de ventajas en la industria de la construcción civil.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Relaves

Residuos "No Valiosos" provenientes de la minería y el procesamiento de mineral. Como el material es

mayormente fino y húmedo, debe ser almacenado en botaderos de residuos industriales.

Los relaves deberán ser depositados en terrenos de relleno que han sido sellados empleando botaderos. Si una morfología favorable no está disponible, los relaves pueden también estar rodeados en todas partes por los botaderos [1].

Residuos sólidos mineros [2]

Los residuos sólidos mineros, que resultan del proceso de flotación de minerales polimetálicos en las plantas concentradoras de las minas son conocidos en la minería como **relaves mineros**, existiendo estos en sus dos modalidades, como pasivos mineros y activos mineros.

Pasivos mineros

Los pasivos ambientales mineros involucran tanto los socavones o labores mineras, así como los botaderos (escombreras) y los relaves (presas de colas) de minas que dejaron de operar o en abandono, siendo los **relaves mineros abandonados**, en forma específica, los que generan las siguientes alteraciones en el medio físico (medio ambiente):

- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
- Contaminación de suelos de la zona de influencia de estos depósitos.
- Impacto visual negativo.
- Riesgo continuo de daños al ecosistema frente a los desastres naturales.
- Presencia de metales pesados en el medio físico.

Activos mineros

Los activos mineros, en forma específica, los relaves del proceso de flotación de minerales polimetálicos, son aquellos relaves mineros de minas en operación, sólo una de las minas en el Perú produce 25,000 toneladas diarias, lo que hace al mes 750 mil toneladas y al año 9 millones de toneladas que pasan a formar parte del relave minero de minas en operación [Ministerio de Energía y Minas, Perú (1995)]. Este residuo sólido minero proviene únicamente de una sola mina, como existen más de 150 minas en operación, Actualmente, esta cifra se eleva a 900 millones de toneladas de residuos mineros en forma anual y creciente.

Agregado de construcción [2]

El presente estudio se refiere a la obtención del agregado de construcción a partir de relaves mineros polimetálicos para fabricar ladrillos o baldosas. Es por ello, que el agregado mediante la metodología de la investigación realizada, se estableció las técnicas de fijación y microencapsulación de los metales pesados en los relaves mineros, que tiene como propósito estabilizar a los metales peligrosos y contaminantes que se encuentran en los relaves, anulando el proceso natural de disponibilidad y movilidad de los metales pesados que se caracterizan por causar contaminación cuando están en estado inestable y por lo tanto migran hacia al medio físico (suelo y agua).

Encapsulamiento [2]

Conocido también como fijación química, es un proceso a través del cual se inmoviliza e insolubiliza a los metales pesados, este efecto se logra a través de una reacción química entre los componentes de los metales pesados en la matriz del relave, los sistemas más comunes de solidificación involucran a los aglomerantes o cemento.

Los procesos de encapsulamiento en relaves no son conocidos, sin embargo el encapsulamiento en escorias es conocido tal como se ha desarrollado en algunos países como Colombia y Chile, se han elaborado materiales como el ladrillo y baldosas pero a través de escorias que son materiales de la industria de la fundición [2].

En el Perú, se han elaborado estudios para la obtención de ladrillos a partir de lodos, el caso más conocido es el de la compañía Buenaventura, quienes realizaron el diseño y elaboración de ladrillos a partir de los lodos de empozamiento del proceso metalúrgico.

La hidratación del cemento, se produce cuando se mezcla el cemento con H_2O los silicatos y aluminatos se hidratan, dando lugar una masa rígida y clara conocida con el nombre de cemento endurecido. Existen dos teorías de hidratación la De Chatelier, y la Micaselis [2].

La primera hidratación de chatelier está admitida para la hidratación de fases intersticiales y la formación de portlandita. Por su parte la teoría de Micaelis, denominada teoría coloidal está considerada para la hidratación de los silicatos de calcio.

Cuando se da lugar a la etapa de cristalización para formar un cristal de C_2S (di silicato de calcio), esta etapa se caracteriza por estar en contacto con el

agua, lo cual da lugar a que se forme inmediatamente alrededor de este grano, una capa de hidratos primarios más pobres en cal que el C_2S . De esta manera, al alcanzarse el límite crítico de solubilidad de la portlandita esta precipita y la solución se empobrece en calcio.

Dos factores influyen decididamente en la velocidad de hidratación: la finura de las partículas y la temperatura, puesto que la reacción tiene lugar a través de las superficies en contacto con la solución una mayor finura del cemento, y por tanto un aumento en la superficie específica, tiende a acelerar la hidratación.

Microencapsulación con sílice [2]

Es un proceso de tratamiento para metales pesados y contaminantes orgánicos, que trata en forma efectiva efluentes, aguas y otros líquidos y también residuos sólidos, suelos, sedimentos y relaves contaminados.

Convierte los metales pesados a una forma inerte segura mediante el recubrimiento con sílice y es particularmente efectivo para arsénico, cadmio, mercurio, cobre, plomo, zinc y cromo.

Proceso de microcristalización de los metales pesados [2]

Para establecer las condiciones de estabilización de los metales pesados a través de la microcristalización con el cemento andino que se caracteriza por poseer el silicato di y tri cálcico, este componente del cemento logra micro cristalizar a los metales pesados presentes en el relave.

Debido a la presencia de silicio (Si_2O) en este tipo de relaves, el proceso de microcristalización es más efectivo, pues al entrar en esta nueva estructura cristalina se van formando silicatos y carbonatos en forma de arcillas que en el tiempo favorecen la consistencia del ladrillo.

Uso del cemento en el proceso de microcristalización [2]

Cuando se mezcla el cemento con H_2O los silicatos y aluminatos se hidratan, dando lugar una masa rígida y clara conocida con el nombre de cemento endurecido. Según Chatelier, y la Micaselis, la primera está admitida para la hidratación de fases intersticiales y la formación de portlandita, mientras que hay controversias sobre sus aplicaciones en el caso de silicatos.

La cristalización es un proceso de tratamiento para metales pesados y contaminantes orgánicos, que trata en forma efectiva a los metales pesados en residuos sólidos contaminados. Convierte los metales pesados a una forma inerte segura mediante el recubrimiento con sílice y es particularmente efectivo para arsénico, cadmio, mercurio, cobre, plomo, zinc y cromo.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Mediante el presente artículo, se busca dar solución a la problemática ambiental minera de las relaveras de gran volumen, tal como el depósito de relaves "Alianza", que esta ubicada en el Distrito de Ticapampa, cuyas dimensiones son de grandes proporciones, 750 X 200 metros con una altura máxima de 19 metros, ocupando un volumen de 5 millones de toneladas métricas de relaves [2]. Es por ello, que el depósito de relaves "Alianza" constituye un pasivo ambiental minero, desde que la compañía minera "The Anglo French Silver Minino Co", inició operaciones en 1912, hasta la actualidad, puesto que la relavera tiene 98 años de existencia que contamina el medio ambiente.

Asimismo, la relavera de la compañía minera "Alianza", constituye un problema ambiental, puesto que tiene una ubicación no adecuada y cuya operación sólo fue posible por alimentar los relaves por distintos puntos alternados y camuflar los rebales y deslizamientos de bordes por la corriente del caudaloso Río Santa, al que muchas veces se vertió relave de manera directa [3].

Es en ese sentido, que es importante promover la remediación de los pasivos ambientales mineros o mitigar hasta reducir el volumen de la relavera de la Compañía Minera Alianza, puesto que causa la contaminación del cuerpo de agua de la cuenca del río Santa, debido a la existencia de drenaje de la relavera que se determina por la variación de pH de la escorrentía superficial proveniente de éstos relaves, cuyo pH da un valor casi neutro, lo cual no indica que no exista movilidad de los metales pesados en el cuerpo de agua del río Santa, y prueba de ello se da por el alto contenido de metales pesados en este cuerpo de agua.

Asimismo, la interacción de relave con la cuenca del río Santa establece una interrelación Agua-Sedimento y/o relave en la cuenca superior del río Santa, que promueve la contaminación por sólidos y efluentes de las relaveras.

Como se sabe, este tipo de interacción promueve la generación de Drenaje Ácido de Roca (DAR). Es por ello, que los relaves y las rocas de mina son

probablemente las mayores fuentes del DAR en la mayoría de asentos mineros de la parte alta del Río Santa.

Por su parte, la contaminación ambiental química de una relavera principalmente ocurre como la movilización de metales pesados semejante a la alteración o desgaste debido a los procesos atmosféricos de materiales inorgánicos sólidos bajo condiciones exogénicas.

Por ello, es importante señalar que se debe **caracterizar y establecer procesos capaces de inmovilizar metales pesados de relaves y desechos de mina abandonados**, los cuales no sólo dependen de la física y química de los cuerpos hídricos, sino también y principalmente sobre la mineralogía de los cuerpos de la mena y rocas que lo hospedan, de tal manera que los efectos de contaminación son mejor descritos cuando cada elemento tóxico puede ser referido a fases mineralógicas específicas [4].

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El estudio involucra el estudio del reuso del relave como un agregado de construcción para fabricar ladrillos y baldosas así como la determinación de una metodología de trabajo que permita el establecimiento de técnicas estándares de la fabricación de ladrillos y baldosas.

Para el Desarrollo del proyecto, se tuvo en cuenta los siguientes materiales:

Materiales

- Relave
- Cemento
- Cal
- Agua destilada
- Malla Serie Tyler N.º 200
- Espátula
- Balde
- Molde para ladrillos
- Molde para baldosas
- Badilejo.

Pruebas experimentales

Cabe resaltar que se establecerá la siguiente metodología experimental, que a continuación se describirá:

- Procedimiento para la obtención de agregados de construcción a partir de relaves mineros polimetálicos.
- Procedimiento para la fabricación de ladrillos y baldosas a partir del agregado de construcción.

Procedimiento para la obtención del agregado de construcción

El proceso para la obtención del agregado de construcción, comprende los siguientes pasos:

- Caracterizar y determinar la calidad del relave, lo cual involucra los siguientes pasos:
 - Caracterizar geoquímicamente el relave;
 - Analizar granulométricamente;
 - Caracterizar físicoquímica;
 - Analizar químicamente;
 - Encapsular los metales pesados en el relave, preparando una mezcla con una proporción en peso del relave que representa del 70 al 90% del peso total del relave a encapsular, cemento que representa del 9 al 16% en peso del total del relave a encapsular, cal que representa del 1 al 10% en peso del total del relave a encapsular; agregar agua hasta obtener una mezcla coloidal y finalmente secar la mezcla.

• Caracterización geoquímica del relave

Tabla 1. Caracterización geoquímica del relave in situ.

Muestra	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd
P-190	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
	26.9	5.99	>10000	200	0.5	11	0.76	0.5

Muestra	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	K	La	Mg
P-190	ppm	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	%
	3	13	112	6.53	10	2	10	0.51

Muestra	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb
P-190	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm
	564	1	0.15	1	680	4970	1.67	221

Muestra	Sc	Sr	Th	Ti	Tl	U	V	W	Zn	Au
P-190	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	7	69	< 20	0.24	< 10	< 10	77	10	225	0.514

• Análisis granulométrico

El relave es de naturaleza polimetálica sulfurada, con alto contenido de metales pesados de cobre, plomo, zinc, hierro, cadmio, arsénico.

La granulometría del relave se divide en dos tamaños; por un lado se tiene un tamaño de partícula fina, de 74 micrones, y por otro, un tamaño de partícula gruesa, de 100 micrones, donde el relave posee una humedad con un valor de 10%; de esta manera, el tamaño de grano y el porcentaje de humedad son considerados como las condiciones óptimas del relave para poder someterlo a las pruebas de elaboración de agregados de construcción para la fabricación de ladrillos y baldosas.

• Caracterización físicoquímica

- Caracterización mineralógica del relave polimetálico de flotación de Ticapampa por microscopía electrónica de barrido.

La caracterización se emplea para determinar la forma de cristalización, así como el grado de asociación de las diferentes especies minerales que se encuentran en las muestras del relave polimetálico de flotación.

La caracterización mineralógica por microscopía electrónica de barrido se realizó a las muestras de relave, que indicaron la presencia de altos contenidos de sulfuros tales como: galena, esfalerita, pirita.

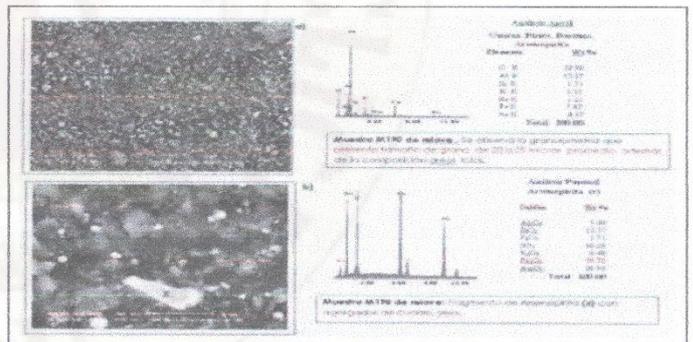


Figura 1. Caracterización mineralógica de relave por microscopía electrónica de barrido

- Caracterización mineralógica del relave polimetálico de flotación por difracción de rayos X.

Se ha realizado los análisis por difracción de rayos X y microscopía electrónica de muestra de los relaves, determinándose la siguiente mineralogía:

Tabla 2. Caracterización mineralógica del relave polimetálico de flotación por difracción de rayos X.

Mineral	Fórmula	%
Cuarzo	SiO_2	80.82
Muscovita	$\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	5.15
Jarosita	$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	4.11
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3.45
Diáspora	AlOOH	2.79
Paligorskita	$(\text{Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	1.75
Clorita	$(\text{Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_6$	1.21
Anhidrita	CaSO_4	0.71

El análisis de difracción de rayos X, realizada a los puntos de muestreo, indicó un alto contenido de sílice cuyos valores se encuentran en los rangos entre 80.82-91.27%, así como presencia de yeso, y silicatos hidratados tal como, la muscovita; todos éstos minerales, facilitan el posterior proceso de encapsulamiento de metales pesados.

Procedimiento para la fabricación de ladrillos y baldosas a partir del agregado de construcción

El proceso para la fabricación de baldosas y ladrillos a partir del agregado de construcción comprende:

- Proporcionar los moldes convencionales para los ladrillos y baldosas de acuerdo al tamaño y forma requeridos.
- Preparar una mezcla homogénea con una proporción en:
 - Peso de los gruesos del agregado de construcción que representa entre 14 al 70% del peso total de la mezcla,
 - Cemento que representa del 40 al 70% del peso total de la mezcla,
 - Cal que representa del 1 al 10% en peso del total del mezcla y
 - Finos del agregado de construcción que representa del 10 al 22% del peso total de la mezcla.



Figura 2. Mezcla seca del agregado.

- Agregar agua hasta obtener una mezcla homogénea.



Figura 3. Mezcla homogénea con agua.

- Verter en cada molde correspondiente; la mezcla obtenida en los pasos anteriores.

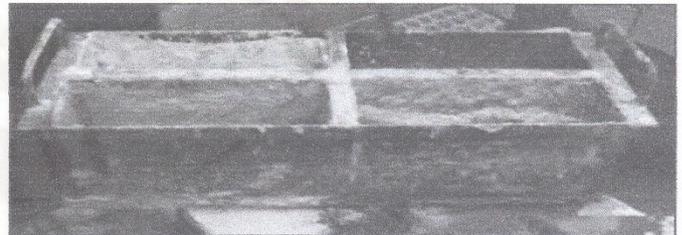


Figura 4. Molde de ladrillo con mezcla homogénea de agregado de construcción.



Figura 5. Molde de baldosa con vertido de la mezcla homogénea húmeda.

- e) Curar (secar) el ladrillo o baldosa en condiciones de temperatura ambiente por un periodo de 26 a 30 días.



Figura 6. Ladrillo fabricado a partir de relave empleado como agregado de construcción.



Figura 7. Baldosa artesanal fabricado a partir de relave empleado como agregado de construcción.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de este estudio se centran en la presentación de la Metodología Experimental del Procedimiento para la obtención de agregados de construcción a partir de relaves mineros polimetálicos y el Procedimiento para la fabricación de ladrillos y baldosas a partir del agregado de construcción.

A continuación se mostrarán los diagramas de flujo que resumen esta metodología experimental de ambos procedimientos.

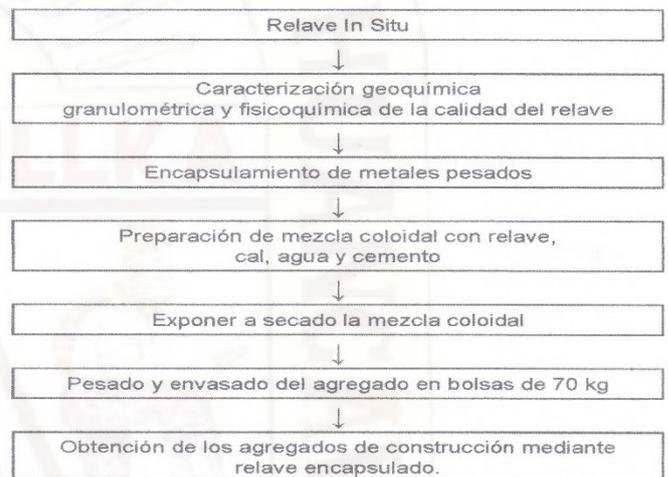


Figura 8. Esquema del proceso de obtención de los agregados de construcción.

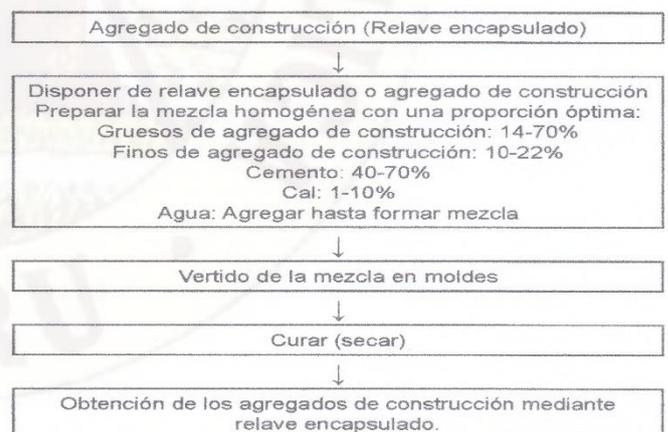


Figura 9. Esquema de fabricación de ladrillos o baldosas a partir de agregados de construcción.

CONCLUSIONES

Respecto de la calidad del agregado de construcción, mediante diversas pruebas de toxicología y aplicando la metodología 3111-EPA, 3113-EPA y 3114-EPA, se estableció que el producto final, que es el agregado de construcción obtenido a partir de los relaves mineros polimetálicos, no es contaminante.

Como se sabe, esta característica se ha comprobado debido a la estabilidad fisicoquímica que se ha logrado mediante la técnica de la microencapsulación de los metales pesados en la matriz del agregado obtenido, luego del proceso del tratamiento del relave polimetálico con silicato di y tricálcico de los cementos portland tipo I, tipo II, tipo V.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lutz H. Benner, Wilhelm W. Coldewey. "New Methods for Handling of Tailings". International Mining and Environment Congress: Clean Technology: Third Millennium Challenge. 12th-16th, July 1999, Lima-Perú.
- [2] Romero B. Alfonso, Flores Ch. Silvana. "Manual de Reutilización de Pasivos Ambientales Mi-

neros del Proceso de Flotación de Minerales", Abril-2010, Lima-Perú.

- [3] Jara F. María Antonieta, "Distribución de Metales Pesados en Agua y Sedimentos y sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del río Santa". Tesis presentada en la Universidad Nacional de Ingeniería para obtener el grado de Magíster en Ciencias con Mención en Minería y Medio Ambiente. Junio 2003, Lima-Perú.

AGRADECIMIENTOS

Mediante el proyecto de Investigación Multidisciplinario 2007, denominado "REUTILIZACIÓN DE PASIVOS MINEROS ABANDONADOS EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA-ANCASH", con código N° 071601041, se agradece al Consejo Superior de Investigaciones por el apoyo financiero brindado al proyecto de investigación al igual que a la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, y al apoyo brindado a la Escuela de Ingeniería de Minas, por el préstamo de las Instalaciones de Laboratorio de Investigaciones Multidisciplinarias.