



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Relave de mina de oro y hierro como sustituto del agregado fino para mejorar
las propiedades físicas y mecánicas del concreto

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniera civil

AUTORES

Furlong Goicochea, Sandra Cristina

ORCID: 0000-0002-9314-0111

Ventocilla Sanchez, Katherine Rosmery

ORCID: 0000-0002-1065-7220

ASESORA

Chavarría Reyes, Liliana Janeth

ORCID: 0000-0002-1759-2132

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de autores

Furlong Goicochea, Sandra Cristina

DNI: 72440570

Ventocilla Sanchez, Katherine Rosmery

DNI: 73419655

Datos de asesor

Chavarría Reyes, Liliana Janeth

DNI: 25481792

Datos del jurado

JURADO 1

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

JURADO 2

Donayre Córdova, Oscar

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-5142-3789

JURADO 3

Torres Chung, César Roberto

DNI: 41182279

ORCID: 0000-0002-3212-2817

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Dedico esa tesis a mis padres, Fernando y Zoila por su apoyo incondicional. A la vida por permitirme dar este gran paso profesional. A Enzo y Bonnie por ser mi motivo de seguir adelante. A mis abuelos Alipio y Elsa por inculcarme buenos valores. A Javier por ser mi soporte y un gran compañero. A Sandra por acompañarme desde el inicio de la carrera.

Ventocilla Sanchez, Katherine Rosmery

A mis padres por siempre apoyarme, a Ibis por su incomparable compañía, a Michifuz por estar a mi lado en mis madrugadas y nunca abandonarme, a Valeria, Sofia, Nath, y Angie por estar en mis momentos más complicados, a Julia y Cathalina por enseñarme que la vida universitaria es más allá del estudio, a Katherine por ser la primera amiga que hice en la carrera.

Furlong Goicochea, Sandra Cristina

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a nuestra alma mater, la Universidad Ricardo Palma, por habernos brindado un sinfín de conocimientos; a la ingeniera Liliana Chavarría por ser nuestra guía; a nuestros padres, hermanos, mascotas y familia por darnos el apoyo que necesitábamos para seguir adelante.

Furlong Goicochea, Sandra Cristina

Ventocilla Sanchez, Katherine Rosmery

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.1.1. Problema y la importancia.....	1
1.1.2. Árbol del problema (Causas — Problema — Consecuencias)	2
1.2. Formulación del problema.	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos.	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1. Objetivo general.	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Delimitación de la investigación.....	4
1.4.1. Geográfica.	4
1.4.2. Temporal.	4
1.4.3. Temática.	4
1.4.4. Muestral.....	4
1.5. Justificación del estudio.	4
1.5.1. Conveniencia.....	5
1.5.2. Relevancia social.....	5
1.5.3. Aplicaciones prácticas.....	5
1.5.4. Utilidad metodológica.	6
1.6. Importancia del estudio.	6
1.6.1. Nuevos conocimientos.	6
1.6.2. Aporte.....	6
1.7. Limitaciones del estudio.	6
1.7.1. Metodológicos o prácticos.	6

1.7.2. Medidas para la recolección de los datos.....	6
1.7.3. Obstáculos en la investigación.....	7
1.8. Alcances.....	7
1.9. Viabilidad del estudio.....	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Marco histórico.....	8
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema.....	9
2.2.1. Investigaciones internacionales.....	9
2.2.2. Investigaciones nacionales.....	13
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	16
2.3.1. Relave minero.....	16
2.3.2. Módulo de finura.....	18
2.3.3. Diseño de mezcla.....	19
2.4. Definición de términos básicos.....	22
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis.....	25
CAPÍTULO 3: SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	26
3.1. Hipótesis.....	26
3.1.1. Hipótesis general.....	26
3.1.2. Hipótesis específicas.....	26
3.2. Sistema de variables.....	26
3.2.1. Definición operacional.....	26
3.2.2. Definición operacional.....	27
3.2.3. Operacionalización de las variables.....	28
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA.....	29
4.1. Método de la investigación.....	29
4.2. Tipo de investigación.....	29
4.3. Nivel de investigación.....	29
4.4. Diseño de la investigación.....	30

4.5. Población y muestra.....	30
4.5.1. Población.....	30
4.5.2. Muestra.....	31
4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos.....	33
4.6.1. Instrumento de recolección de datos	33
4.6.3. Descripción de procesamiento de análisis.....	34
CAPÍTULO 5: PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	35
5.1. Resultados de la investigación.....	35
5.2. Análisis y contrastación de hipótesis según resultados.....	72
DISCUSIÓN.....	81
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
ANEXOS.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición elemental de relave de mina de oro.....	17
Tabla 2. Composición química de relave de mina de hierro.....	17
Tabla 3. Resultados de ensayo de módulo de fineza de relave.....	18
Tabla 4. Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos.....	19
Tabla 5. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.....	19
Tabla 6. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.....	20
Tabla 7. Asentamiento Máximo y Mínimo según tipo de construcción.....	20
Tabla 8. Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes asentamientos.....	21
Tabla 9. Relación A/C a los 28 días.....	21
Tabla 10. Peso del Agregado grueso por unidad de Volumen del Concreto Tamaño.....	22
Tabla 11. Operacionalización de las variables.....	28
Tabla 12. Composición química de relave de mina de oro.....	36
Tabla 13. Relación A/C y % de SP.....	36
Tabla 14. Resultados de ensayo de compresión.....	37
Tabla 15. Resistencia específica $F'c=350 \text{ Kg/cm}^2$	38
Tabla 16. Parámetros físicos químicos del relave.....	39
Tabla 17. Resumen de resultados de ensayo de compresión.....	40
Tabla 18. Resultados de ensayo a la compresión a los 7 días.....	41
Tabla 19. Resultados de ensayo a la compresión a los 14 días.....	42
Tabla 20. Resultados de ensayo a la compresión a los 28 días.....	43
Tabla 21. Porcentaje alcanzado respecto al patrón (Resistencia a la compresión).....	44
Tabla 22. Comparación de autores para objetivo 1.....	45
Tabla 23. Componentes químicos del relave de hierro.....	45
Tabla 24. Resultados de absorción de agua de las escorias de acero.....	45

Tabla 25. Proporciones de mezcla de concreto.....	46
Tabla 26. Resistencia a la compresión 7 días y 28 días.....	47
Tabla 27. Diseño de mezcla de concreto.....	51
Tabla 28. Compresión del concreto a los 3, 7, 28 y 90 días (kg/cm ²).....	51
Tabla 29. Diseño de mezcla de concreto.....	54
Tabla 30. Compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días (kg/cm ²).....	54
Tabla 31. Composición química del relave.....	57
Tabla 32. Resumen de diseño de mezcla del concreto para $f'c = 210$ kg/cm ²	57
Tabla 33. Resumen de resultados de resistencia a la compresión.....	58
Tabla 34. Comparación de autores para objetivo 2.....	58
Tabla 35. Resultados de ensayo de resistencia a la tracción.....	59
Tabla 36. Resultados del ensayo de tracción a los 28 días.....	60
Tabla 37. Comparación de autores para objetivo 3.....	61
Tabla 38. Diseño de mezcla de concreto.....	61
Tabla 39. Resistencia a la tracción del concreto.....	61
Tabla 40. Diseño de mezcla de concreto.....	62
Tabla 41. Tracción del concreto.....	63
Tabla 42. Comparación de autores para objetivo 4.....	63
Tabla 43. Resultados de ensayo de asentamiento para $f'c = 175$ y $f'c = 210$ kg/cm ²	64
Tabla 44. Resultados de ensayo de asentamiento del concreto.....	65
Tabla 45. Resultados del ensayo de asentamiento del concreto.....	66
Tabla 47. Ensayo de Slump.....	67
Tabla 48. Elementos químicos contenidos en el relave de hierro.....	68
Tabla 49. Ensayo de Slump.....	69
Tabla 50. Composición química de los residuos de hierro.....	69
Tabla 51. Propiedades físicas del hierro residual.....	70
Tabla 52. Ensayo de Slump.....	70

Tabla 53. Asentamiento del Concreto (Pulg.) - 210 kg/cm ²	71
Tabla 54. Comparación de autores para objetivo 6.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problemas.....	2
Figura 2. Mapa conceptual.....	25
Figura 3. Resultado de ensayo de compresión.....	37
Figura 4. Resistencia específica $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	39
Figura 5. Comparación de resultados de resistencia a la compresión a los 7 días.....	41
Figura 6. Comparación de resultados de resistencia a la compresión a los 14 días.....	42
Figura 7. Comparación de resultados de resistencia a la compresión a los 28 días.....	43
Figura 8. Porcentaje alcanzado respecto al patrón.....	44
Figura 9. Compresión del concreto a los 7 y 28 días de la muestra 1, 2, 3 y 4.....	48
Figura 10. Compresión del concreto a los 7 y 28 días de la muestra 5, 6, 7 y 8.....	48
Figura 11. Compresión del concreto a los 7 y 28 días de la muestra 9, 10, 11 y 12.....	49
Figura 12. Compresión del concreto a los 7 y 28 días de las muestras 13, 14, 15 y 16.....	49
Figura 13. Compresión del concreto a los 7 días de todas las muestras.....	50
Figura 14. Compresión del concreto a los 28 días de todas las muestras.....	50
Figura 15. Compresión del concreto a los 3 días.....	52
Figura 16. Compresión del concreto a los 7 días.....	52
Figura 17. Compresión del concreto a los 28 días.....	53
Figura 18. Compresión del concreto a los 90 días.....	53
Figura 19. Compresión del concreto a los 7 días.....	55
Figura 20. Compresión del concreto a los 14 días.....	55
Figura 21. Compresión del concreto a los 28 días.....	56
Figura 22. Resultados de resistencia a la compresión $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$	58
Figura 23. Resultados de resistencia a la tracción.....	59
Figura 24. Comparación de resultados de resistencia a la tracción a los 28 días.....	60
Figura 25. Tracción del concreto.....	62
Figura 26. Flexión del concreto.....	63

Figura 27. Resultados de ensayo de asentamiento del concreto.....	64
Figura 28. Resultados de ensayo de asentamiento del concreto.....	65
Figura 29. Comparación de resultados de ensayo de asentamiento del concreto.....	66
Figura 30. Asentamiento del concreto fresco en prueba de slump.....	68
Figura 31. Asentamiento del concreto fresco en prueba de slump.....	69
Figura 32. Asentamiento del concreto fresco en prueba de slump.....	70
Figura 33. Resultados de asentamiento del concreto.....	71
Figura 34. Comparación de autores de objetivo 1.....	73
Figura 35. Comparación de autores de objetivo 2.....	75
Figura 36. Comparación de autores de objetivo 3.....	76
Figura 37. Comparación de autores de objetivo 4.....	77
Figura 38. Comparación de autores de objetivo 5.....	79
Figura 39. Comparación de autores de objetivo 6.....	80

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo principal determinar el porcentaje óptimo de reemplazo de relave minero como sustituto del agregado fino para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto, así como objetivos específicos, determinar el porcentaje óptimo de reemplazo de relave minero y su influencia con respecto a la resistencia a la compresión, tracción, trabajabilidad y fluidez, tanto en relave minero de hierro como relave minero de oro.

La presente tesis fue documental, bibliográfica y descriptiva, de método deductiva, de orientación aplicada, enfoque cuantitativo, tipo descriptiva y explicativa, nivel descriptivo, y diseño no experimental, debido a la coyuntura presente COVID-19.

Conforme se fue desarrollando la presente tesis, se obtuvo como resultados que un reemplazo de 13% de relave de oro aumenta la resistencia a la compresión, un reemplazo de 23% de relave de hierro aumenta la resistencia a la compresión, un reemplazo de 15% de relave de oro aumenta la resistencia a la tracción, un reemplazo de 30% de relave de hierro aumenta la resistencia a la tracción, y el aumento de relave de oro y hierro no mejora ni contribuye la trabajabilidad y fluidez de la mezcla.

Finalmente, se logró contrastar las hipótesis 1, 2, 3, 4, 5 y 6 en las cuales se demostró que el incremento de la resistencia a la compresión y tracción es directamente proporcional al aumento del relave de oro y hierro hasta cierto porcentaje.

Palabras Clave: Concreto, relave de hierro, relave de oro, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, trabajabilidad y fluidez.

ABSTRACT

This thesis aimed to determine the optimal percentage of replacement of mining tailings as a replacement for fine aggregate to improve the physical-mechanical properties of concrete, as well as specific objectives, determine the optimal percentage of mining tailings replacement and its influence with respect to compressive strength, traction, workability and fluidity, both in iron mining tailings and gold mining tailings.

This thesis was documentary, bibliographic and descriptive, with a deductive method, applied orientation, quantitative approach, descriptive and explanatory type, descriptive level, and non-experimental design, due to the current COVID-19 situation.

As this thesis was developed, the results obtained were that a 13% replacement of gold tailings increases the compressive strength, a 23% replacement of iron tailings increases the compressive strength, a 15% replacement of gold tailings increases the tensile strength, a 30% replacement of iron tailings increases the tensile strength, and the increase in gold and iron tailings does not improve or contribute to the workability and flowability of the mix.

It will be better to contrast hypotheses 1, 2, 3 and 4 in which it will be developed that the increase in compressive and tensile strength is directly proportional to the increase in gold and iron tailings up to a certain percentage.

Keywords: Iron tailings, gold tailings, compressive strength, tensile strength, workability, fluidity.

INTRODUCCIÓN

La minería, al igual que la construcción, es considerada una de las actividades económicas más importantes y uno de los generadores de más desarrollo en nuestro país, sin embargo, también ha sido un punto inquietante por la alta contaminación que produce. En la industria minera, la problemática que presenta es el adecuado almacenamiento y conservación de los desechos de los procesos mineros que producen millones de soles de gastos, los cuales son llamados presas de relave, puesto que estos son los que contienen las altas cantidades de químicos posterior a los procesos pasados para la extracción de minerales. Pero, es el colapso de las presas de relave lo que produce las altas contaminaciones provenientes del sector minero al exceder su capacidad técnica generada por las lluvias y entre otros factores lo que genera que las poblaciones aledañas padezcan enfermedades por envenenamientos, por consumo de metales en sus cultivos y agua. Entonces, es adecuado relacionar como el desperdicio de una actividad tan importante, puede ser útil para el mejoramiento en otro sector igual de necesario en el país dándole un segundo uso al utilizarlo como sustituto del agregado fino en el concreto.

La presente tesis permite extender el conocimiento de los relaves mineros como reemplazo parcial a total del agregado fino en mezclas del concreto, puesto que desarrolla una opción distinta donde busca economizar y mejorar el rendimiento, introduciendo una nueva forma de reutilizar materia y aportando una estrategia nueva en la industria de la construcción. Se estudia la mejora de las propiedades físico – mecánicas del concreto seco y fluido con la incorporación de relave minero de oro y hierro, estudiando su resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, trabajabilidad y fluidez.

Esta investigación consta de cinco capítulos. El primero presenta el planteamiento del problema, junto con la formulación del problema, objetivos, delimitaciones, justificaciones e importancia. El segundo capítulo describe el marco teórico, el cual cuenta con una amplia información bibliográfica recopilada y estudiada a fin de procesar los resultados estudiados. El tercer capítulo consta del sistema de hipótesis, el cual contiene el sistema de variables. El cuarto capítulo, la metodología, el cual describe el método de investigación, tipo, nivel, diseño, así como población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y la descripción de procesamiento de análisis. Finalmente, el quinto capítulo, se presenta el análisis de resultados mostrando el efecto de la investigación, su análisis y contratación. La tesis concluye con discusión, conclusiones y recomendaciones logradas en este trabajo.

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

1.1.1. Problema y la importancia.

El Perú es un país con una gran representación de parte de la industria minera. Según el ingeniero Enrique Garay en una cita hecha por BNAMERICA (García, 2022), la minería representa el 10% del PBI, siendo el 60% de las exportaciones totales del país en el año 2021. A su vez, y por estragos posteriores a la pandemia, se espera que la minería sea uno de los impulsores económicos en la recuperación postpandemia según el Ministerio de Energía y Minas, esperando que su PBI aumente un 14% más en el 2022.

Dando, en producción, resultados óptimos y una estabilidad económica necesaria, la minería ha ayudado al desarrollo del país y a la estabilidad financiera, generando también puestos de trabajo y mejorando el estilo de vida de una gran parte de la población.

Sin embargo, la minería también ha producido un impacto negativo en diversos sectores de la sierra del Perú, siendo entre ellos la minería informal y las compañías mineras que no tienen un plan de impacto ambiental eficaz en lo que podemos encontrar: la contaminación ambiental, enfermedades en poblaciones vulnerables con poco acceso a hospitales de primer nivel, destroz de especies únicas del país y cambio en el ecosistema, el mal manejo de los desechos de la minería y el no tener un correcto plan de contingencia con ellos ha causado que muchos se alcen en protesta, siendo un impedimento y golpe económico para el Perú.

En el río Cora la que, en el distrito de Chojata, Moquegua, en el sur del Perú, se mostró que 25 de 26 niños contenían niveles altos de arsénico en su sangre, por el consumo de agua contaminada por el mal manejo de desechos que el proyecto minero Florencia Tucari de Aruntani SAC. según el análisis hecho por Roberth Orihuela, donde ganado y cultivos desaparecieron en un lapso de diez años por la contaminación de esta empresa.

Otro caso es el de los niños de Simón Bolívar en Cerro de Pasco, donde los niños presentaron una alta concentración de plomo en sangre y generaron anemia después de la contaminación hecha por el tajo Raúl Rojas hecho por la compañía Volcán. Citando la publicación hecha en ojo público sobre el caso y

referente al comentario del Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades: “La exposición al plomo es un problema sanitario importante para la población [de Cerro de Pasco] cercana a los depósitos de minerales”. (Centro Nacional de Epidemiología, 2022)

Teniendo en cuenta que la minería representa un gran avance económico para el país, pero a su vez es el origen de gran contaminación, el presente estudio propone usar el relave minero, considerado un deshecho, como un reemplazo parcial del agregado fino para un uso sostenible en el sector de la construcción.

1.1.2. Árbol del problema (Causas — Problema — Consecuencias)

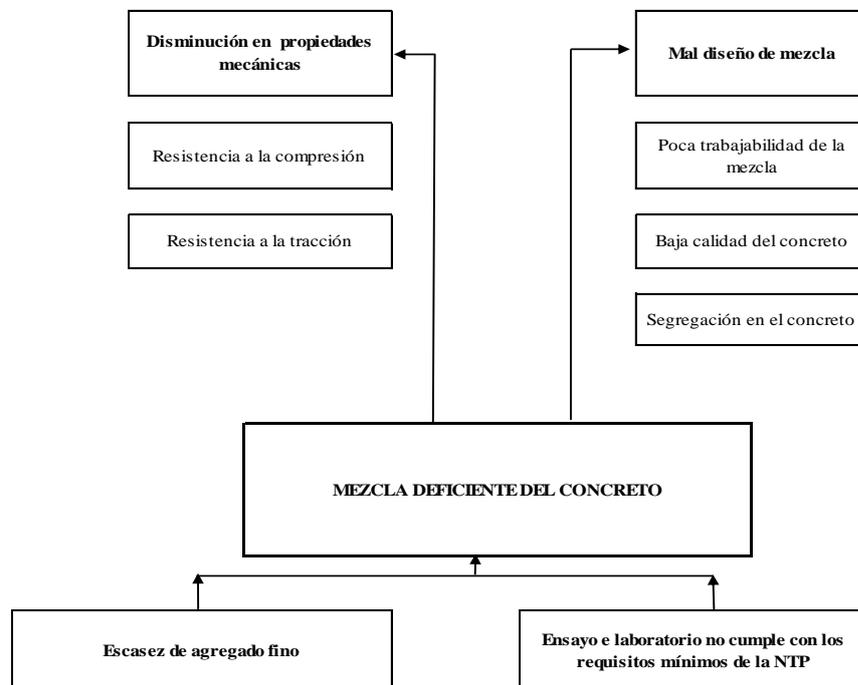


Figura 1. Árbol de problemas

Fuente: Elaboración propia

1.2. Formulación del problema.

1.2.1. Problema general.

¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de oro y hierro como sustituto del agregado fino mejora las propiedades físico-mecánicas del concreto?

1.2.2. Problemas específicos.

- a. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de oro como sustituto del agregado fino incrementa en la resistencia a la compresión del concreto?
- b. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino incrementa en la resistencia a la compresión del concreto?
- c. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de oro como sustituto del agregado fino incrementa en la resistencia a la tracción del concreto?
- d. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino incrementa en la resistencia a la tracción del concreto?
- e. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de oro como sustituto del agregado fino influye en la trabajabilidad y fluidez del concreto?
- f. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino influye en la trabajabilidad y fluidez del concreto?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

Determinar el porcentaje óptimo de relave de oro y hierro como sustituto del agregado fino para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto.

1.3.2. Objetivos específicos.

- a. Determinar el porcentaje óptimo del relave de oro como sustituto del agregado fino para aumentar la resistencia a la compresión del concreto.
- b. Determinar el porcentaje óptimo del relave de hierro como sustituto del agregado fino para aumentar la resistencia a la compresión del concreto.
- c. Determinar el porcentaje óptimo del relave de oro como sustituto del agregado fino para aumentar la resistencia a la flexión del concreto.

- d. Determinar el porcentaje óptimo del relave de hierro como sustituto del agregado fino para aumentar la resistencia a la flexión del concreto.
- e. Determinar el porcentaje óptimo del relave de oro como sustituto del agregado fino para mejorar la trabajabilidad y fluidez del concreto.
- f. Determinar el porcentaje óptimo del relave de oro como sustituto del agregado fino para mejorar la trabajabilidad y fluidez del concreto.

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Geográfica.

La investigación se centra en el Perú y cuenta con diversas fuentes de estudio experimental de laboratorio de tecnología del concreto.

1.4.2. Temporal.

La presente investigación se centra en un periodo de mayo - noviembre del año 2022.

1.4.3. Temática.

La presente investigación plantea un estudio para determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto simple usando un porcentaje de relave minero como reemplazo del agregado fino, a fin de identificar el porcentaje óptimo en la cual la resistencia del concreto alcance un punto ideal para poder ser considerado un reemplazo favorable en el diseño de mezcla.

1.4.4. Muestral.

La muestra de estudio de la presente investigación son los estudios de diseños de mezcla con porcentajes de agregado de relave minero y sus ensayos de propiedades físicas y mecánicas realizados en los artículos y tesis de referencia.

1.5. Justificación del estudio.

En los últimos años, la industria de la construcción ha buscado diversos métodos para que, mientras mayor sean sus avances, se obtenga un mejor material constructivo priorizando siempre el impacto ambiental y el entorno donde vivimos. Es ello por lo que el uso de fibras y material reciclado se ha convertido en una medida alternativa y viable para la preservación por el cual actualmente se intenta preferir.

De igual forma, la minería es uno de los sectores con mayor impacto en el Perú, tanto de forma económica como social y ambiental. Su presencia en la serranía peruana ha generado diversos debates sobre qué tan viable es tener una presencia tan imponente de ellos, puesto que la contaminación y desechos que producen resultan altamente dañinos. Los relaves mineros son un foco de contaminación, no solo terrestre, sino hídrico.

La gran existencia de este material poco llamativo hace atractiva la idea de evaluar un beneficio donde se pueda emplear el uso de material de relave minero dentro de la construcción, puesto que los altos costos que los materiales tienen fuera de la costa generan un sobre costo en las construcciones. A su vez, el uso sostenible de este material evita que se genere más contaminación.

1.5.1. Conveniencia.

Esta investigación sirve como un preámbulo ante el uso de relave minero como reemplazo parcial del agregado fino en los diseños de mezcla de concreto en las construcciones andinas del Perú, y su influencia en las propiedades físicas y mecánicas del concreto simple. Su conveniencia será una base para futuras investigaciones donde se pueda asegurar la calidad del concreto reutilizando materiales que actualmente son considerados desperdicio.

1.5.2. Relevancia social.

Con la presente investigación se plantea mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto simple con un reemplazo parcial del agregado fino ya que se experimenta una escasez de este principal e importante material de construcción por lo que en esta tesis se propone una alternativa económica y eco amigable de reutilización del relave.

1.5.3. Aplicaciones prácticas.

Su aplicación práctica está en poder ser una medida viable en construcciones urbanas del Perú, por la alta presencia de mineras y la cantidad de relaves existentes. Como un reemplazo parcial del agregado fino, se optimiza costos y se mejora la resistencia del concreto.

1.5.4. Utilidad metodológica.

La tesis cuenta con diversos artículos y tesis experimentales recolectados de la base de datos académica de la universidad que dan fe de resultados óptimos.

1.6. Importancia del estudio.

1.6.1. Nuevos conocimientos.

La investigación expone el rol que cumple el relave minero y su desempeño en el diseño de mezcla para así mejorar de forma positiva las propiedades del concreto. En las propiedades mecánicas con respecto a la compresión, tracciones y flexión; en las propiedades físicas con respecto a la permeabilidad y elasticidad. Esta tesis es de utilidad para otras investigaciones como fuente de información en las que se puedan basar y exponer los beneficios que aporta al concreto simple y que en un futuro pueda ser implementado en edificaciones estructurales.

1.6.2. Aporte.

Con la tesis se realiza la demostración que el relave minero, como sustituto del agregado fino en el diseño de mezcla, aporta cuantiosos beneficios en las propiedades físicas y mecánicas ya que en la investigación se hará una comparación de diversas investigaciones experimentales con muestras de residuos mineros proveniente de minas de oro y hierro.

1.7. Limitaciones del estudio.

1.7.1. Metodológicos o prácticos.

La presente investigación cuenta con artículos y tesis experimentales que dan fe de resultados óptimos. Debido a la coyuntura mundial del COVID 19, se ha impedido una aplicación práctica, siendo únicamente la información recolectada de diversas fuentes aprobadas lo que da su veracidad.

1.7.2. Medidas para la recolección de los datos.

En los artículos y tesis recopilados se tiene sus respectivos formatos de acuerdo al ensayo que se realizó en cada laboratorio, en la presente investigación se hizo uso de instrumentos como manuales, normas, artículos científicos, conferencias y libros para tener mejores resultados de los cuales serán utilizados para

incrementar el conocimiento en el presente plan, ya que debido a esta coyuntura mundial debido a la covid-19 la mejor herramienta son los motores de búsqueda académicas como Alicia, ProQuest, E-Libro, ACM, Knovel y entre otros repositorios universitarios nacionales e internacionales.

1.7.3. Obstáculos en la investigación.

El obstáculo principal en esta investigación reside en la imposibilidad de poder ser trabajada de forma práctica debido a la situación actual a nivel mundial por pandemia. Al ser una tesis documentaria, nos encontramos limitados sobre investigación que otros autores han hecho según sus estudios y sus datos, sin adquirir nuestros propios valores. De igual forma, otro obstáculo es la obtención de datos de parte de mineras y sus relaves, puesto que se imposibilita la obtención de un relave y su evaluación en laboratorio.

1.8. Alcances.

Con la presente tesis se quiere dar a conocer el porcentaje óptimo del relave minero en el diseño de mezcla del concreto simple como un sustituto del agregado fino ya que este material se encuentra de manera abundante en el Perú, además, de aportar diversos beneficios al concreto como una mayor resistencia e impermeabilidad al ser una materia altamente alcalina.

1.9. Viabilidad del estudio.

El proyecto es una investigación cuantitativa y completa sobre el reemplazo parcial del agregado fino con relave minero en el diseño de mezcla del concreto para mejorar las propiedades físicas y mecánicas, además, de tener un impacto ambiental positivo. Se cuenta con acceso de información de la base de datos académica de la Universidad Ricardo Palma para la búsqueda de diversos artículos científicos y tesis nacionales e internacionales con resultados de laboratorio de tecnología del concreto óptimos.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

La historia documentada de la minería en el Perú data de la conquista por Pizarro en 1535. A través del Viejo y Nuevo Mundo en ese entonces, el oro era extraído por reducción directa (fundición) de minerales excepcionalmente ricos, pero principalmente por amalgamación con mercurio... se empleaba molinos de mineral impulsados por caballos para moler el mineral... Desde el punto de vista ambiental, la cantidad de roca chancada y de desmonte fue pequeña y se hicieron esfuerzos para recuperar y conservar el mercurio, el cual era casi tanpreciado como el mismo mineral. Sin embargo, grandes cantidades de mercurio permanecen distribuidas alrededor de la ubicación de las viejas minas de plata en el Perú y constituyen un serio riesgo ambiental aún hoy día. (MINEM, 2007)

Actualmente, todos los tipos de explotación minera tienen en común la extracción y concentración (beneficio) de uno o varios minerales provenientes de la corteza terrestre. Para tal fin, la molienda constituye una de las actividades más importantes y a la vez más costosas del proceso de beneficio de un mineral. Como resultado de la molienda y beneficio, posterior a extraer los metales objetivo, se producen partículas residuo, desde muy finas (tamaño arcilla y limo) hasta tamaño arena fina. El conjunto de estas partículas se denomina “relaves” o “colas”. (Félix, Rodríguez Bala Buch, Possan, & Carrazedo, 2018)

Febres (2019) menciona que: En 1864 se escucha por primera vez la utilización de las relaveras mineras. Fue entonces cuando el presidente de Filadelfia, deciden utilizar este material estéril (relave) para rellenar construcciones antiguas con amenaza de hundimiento de suelo. Este suceso tuvo éxito y fue aplicado a varias minas de carbón en los EE. UU. con el fin de controlar los hundimientos de suelos, ya en los años 1884 se utiliza como material para controlar incendios en diferentes minas de Pennsylvania. Esta idea se difundió en el mundo y es entonces cuando unos ingenieros europeos llevan y aplican en varias minas europeas. Ya en los años 90 fue llevado a Sudáfrica y aplicas en pequeña minería. Como aplicaciones este material relavera se utilizó en las siguientes prácticas: como relleno hidráulico, material contraincendios, como material de afirmado. (Company, 1866-1927)

El relave es un deshecho de mina que se produce en grandes cantidades y que contiene frecuentemente sustancias tóxicas en altas concentraciones (Guía para evaluar EIAs de

proyectos mineros, 2010). En china, la escasa reutilización y las grandes reservas de relaves de hierro han dado lugar a una serie de problemas ambientales y sociales. En los últimos años, la utilización integral de los relaves ha recibido una atención considerable, especialmente la recuperación de hierro y otros metales de los relaves, que es un proceso bien reconocido debido a los beneficios económicos sustanciales. (Cheng, Zhang, Zhao & Bao, 2010).

El empleo de relaves en la construcción ha sido una expansión progresiva, tomando lugar como una medida de sostenibilidad ambiental. Se sabe que la minería a pequeña escala o minería informal es un oficio que se ha desempeñado desde la antigüedad, principalmente en países en vía de desarrollo, que se caracteriza por un uso mínimo de maquinaria y tecnología, lo que hace que, por esta implementación tan rudimentaria, se generen gran contaminación en los suelos, aguas subterráneas y personas de las regiones mineras (Arias Torres, 2021). En base a este hecho, la implementación de reciclaje con el residual minero en el sector constructivo se volvió una alternativa para disminuir el impacto ambiental, usado mayoritariamente como relleno, pero con múltiples ensayos donde ha sido implementado de material cementante.

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. Investigaciones internacionales

Cerón y Gutiérrez (2019) propusieron el uso de relaves provenientes de una minera de agregados para la elaboración de unidades de mampostería perforada de concreto como reemplazo porcentual del cemento, donde evaluaron el comportamiento físico de cuatro de los diseños de mezcla propuestos. A su vez, el proyecto contaba con cuatro fases metodológicas donde se contemplaban la caracterización fisicoquímica del relave, el diseño de mezclas, el análisis del comportamiento mecánico de las mezclas con reemplazo por medio de ensayos de resistencia a la compresión y absorción de agua, y un análisis económico donde se definió el porcentaje de ahorro que representaba el reemplazo de cemento por el relave en el costo total del bloque. En la investigación de Cerón y Gutiérrez los resultados fueron óptimos, puesto que los cuatro diseños de mezcla con reemplazo de relave presentaron niveles, en la mayoría de los casos, por encima del 90% en comparación con el diseño patrón en su desempeño mecánico. Hubo también una disminución en el porcentaje de absorción de los bloques del 31%, y un ahorro en los costos de producción de hasta el 41%,

concluyendo que el uso de relave como reemplazo del concreto para la creación de mampostería era viable y podía ser aplicado tanto en mampostería estructural como no estructural.

Batelka (2015) propuso el uso de relave de carbón como reemplazo de agregado fino para la producción de hormigón, utilizando el principio de autocombustión de lote de la parrilla aglomerante para transformar el relave de carbón en agregado artificial. Se buscó evaluar la producción, optimización, utilización y un análisis económico sobre el uso de un agregado convencional. El autor logró optimizar el proceso de autocombustión a un punto conveniente y almacenamiento del árido artificial, así como demostrar que el nuevo agregado es óptimo para fabricar un hormigón de construcción, superando el límite de 50 MPa, y aplicable a condiciones aún más duras. A su vez, el hormigón presentó un peso volumétrico más bajo y mejores propiedades de flexión a un hormigón convencional. En la investigación de Batelka, se menciona que el principal hallazgo es que este nuevo árido es térmicamente estable y de calidad relativamente alta en el límite de 5 MPa, con el que se puede fabricar hormigón con buenos resultados incluso en el campo. A su vez, se menciona que el balance económico preliminar del proceso de producción permite un retorno rápido de inversión, lo que genera rentabilidad para una producción en masa.

Silva (2021) tuvo como objetivo evaluar si la heterogeneidad de los relaves de mineral de hierro (MDI) influían en la propiedad de los micro hormigones cuando los relaves se aplicaban como adición en la mezcla. Recolectó cuatro tipos distintos de relave de MDI de distintas minas, los cuales fueron agregados a micro concretos en contenidos de 40% con relación de masa de cemento. Los relaves poseían términos químicos y características físicas y mineralógicas similares, por lo que podían comprobar su homogeneidad. Se moldearon probetas para comprobar su homogeneidad mecánica, microestructural e indicador de durabilidad. Los resultados demostraron que los MDI funcionaron como partículas de rellenos de poros, favoreciendo el mantenimiento y mejora de las propiedades. Mejoraron la resistencia mecánica, aumentaron la rigidez y redujeron la porosidad, así como darle una mayor durabilidad y una carbonatación reducida. La dureza y el módulo de indentación de la matriz cementosa aumentaron de igual forma. Finalmente, Silva concluye la importancia del uso de los MDI como un subproducto industrial en la

construcción civil como una solución a los impactos ambientales asociados a los residuos.

Janadi (2021), previamente desarrollando una caracterización mineralógica y física de los relaves, así como una caracterización de la aplicación de la prueba de doble punzonado y la prueba de micro Deval de la roca estéril triturada, desarrolló mezclas de hormigón y mortero sustituyendo la arena y agregados con relave minero fino de cinco minas distintas ubicadas en Quebec. Se aplicó pruebas de laboratorio, entre las que estuvo la prueba de compresión uniaxial, prueba de pulso ultrasónico y resistividad eléctrica sobre cilindros de concreto a 28 y 56 días de curado, y únicamente la prueba de compresión uniaxial sobre cubos de mortero a los 7, 14 y 28 días de curado. En los resultados del estudio, se mostró que la sustitución total de agregado por mortero dio una buena resistencia mecánica. Los resultados a la resistencia a la compresión no confinada fueron de 15.4 MPa, 21.5 MPa, 25.7 MPa, 22.1 MPa y 26.3 MPa respectivamente para las mezclas Westwood, Casa Berardi, LaRonde, Malartic y Goldex a los 56 días de curado. Hubo observaciones microscópicas en los hormigones s Goldex, Westwood y de control mostraron que la microestructura de la matriz cementosa cambia con la variación en la fuente de los residuos incorporados. Esta variación en los resultados se vio afectada por la mineralogía y el tamaño de partícula de cada tipo de relave utilizado.

Khan (2021) tuvo como objetivo la evaluación de la resistencia a la tracción por división y resistencia a la flexión del hormigón del geo polímero, donde se investigó utilizando el método de tracción indirecta brasileño y a la resistencia a la flexión. Usó una prueba de curvatura semicircular junto con una correlación de imagen digital, y así desarrolló una nueva configuración experimental para el nuevo material. Utilizó hidróxido de sodio en concentraciones molares de 8M, 10M y 12M con una proporción de agua/relave de 20% y ensayo de probeta de 7, 14 y 28 días de curado. Los especímenes se mantuvieron en el horno a 75° durante 24 horas iniciales y posterior sellado y curado a temperatura ambiente. En sus resultados, la resistencia a la tracción por hendimiento aumentó con el aumento de la concentración molar de hidróxido de sodio, donde la muestra de 12M fue la mayor con 1.8 MPa. La resistencia a la tracción se mantuvo dentro del rango de 10% a 12% de la compresión, mientras que la resistencia a la flexión promedio fue de 1.7MPa.

Silva (2019) propuso como objetivo la sustitución parcial de agregado fino por relave de manganeso en proporción de 15%, 20%, 25% y 30% traídos de la amazonia oriental para la fabricación de hormigón estructural sin el uso de aditivo superplastificante, con el fin de comprobar la influencia de los residuos de manganeso en la trabajabilidad de la mezcla. Para la fabricación del hormigón, se realizó previamente la homogenización del agregado con los residuos de manganeso con el fin de mejorar la mezcla del hormigón. Se realizaron los ensayos de cono de Abraham, resistencia mecánica, absorción de agua y análisis microestructural para las muestras de concreto con y sin relaves para poder hacer su comparativo. En resultado, se observó que el relave de manganeso es un material fino con una alta superficie específica que exige un aumento en la cantidad de agua en las mezclas, cuando se compara con la mezcla de control (sin relave). A su vez, se verificó que hubo una reducción en las propiedades mecánicas del concreto con relaves debido a la demanda de agua añadida, sin embargo, la absorción de agua fue igual a la referencia.

Martins (2019) tuvo como objetivo la evaluación del comportamiento mecánico del hormigón producido con relave minero de cobre. Su investigación constó de cuatro muestras: una muestra base de hormigón sin adición de relaves, y otras tres con 15%, 30% y 45% de sustitución de agregado fino, además de dos variaciones en la relación de agua/cemento. Se realizó ensayos en estado fresco para evaluar a influencia del rechazo en las propiedades plásticas del hormigón, y en estado seco las pruebas a los 7 y 28 días para la resistencia a la compresión axial, tracción, compresión diametral, flexión y módulo de elasticidad. Los resultados que se obtuvieron fueron significativamente variables respecto a la muestra base, según el programa ANOVA, el cual se usó como base estadística. Los resultados mostraron que las muestras con sustitución de relaves obtuvieron buenos resultados, aumentando significativamente tanto la resistencia a la tracción como la resistencia a la compresión del concreto cuando se compara con series de referencia en las mismas condiciones, viendo viable el uso de relave de cobre como reemplazo de agregado ante la mejora del hormigón, y una mayor sustentabilidad.

2.2.2. Investigaciones nacionales

Condori (2018) planteó la evaluación de la influencia del uso de material de desechos de procesos mineros en reemplazo del agregado fino en las propiedades físicas y mecánicas del concreto: la consistencia, contenido de aire atrapado, resistencia a la compresión, tracción, flexión y módulo de elasticidad. Para ello, elaboró testigos cilíndricos y testigos prismáticos, usando un reemplazo de 0, 25%, 50%, 75% y 100% de relave como agregado fino. Los resultados obtenidos reflejaron que el uso de material de desechos de procesos mineros era factible únicamente en un porcentaje menor al 25%, ya que la consistencia y contenido del aire tocaron su pico máximo. Así mismo, la resistencia a compresión, flexión y módulo de elasticidad se redujeron mínimamente, pero esto no representa un descarte total puesto que no conforma más allá del 2%, presentando una resistencia mayor al 95%. El autor concluyó que el reemplazo de agregado fino con relave minero mejoró las propiedades físicas del concreto, y no afectó significativamente sus propiedades mecánicas. Así mismo, recomendó un uso menor al 25%, y su empleo en construcción de concreto simple ya que no se realizó estudio químico del relave para un concreto armado.

Carcahuamaca y Coras (2019) tuvieron como problema general el cómo influye el relave minero como componente del agregado fino para elaborar concreto mayor a $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, y su objetivo fue determinar la influencia del relave minero como componente del agregado fino para elaborar un concreto mayor a $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$. Para ello, se desarrollaron un total de 96 testigos, donde se concluyó que el empleo de relave minero como reemplazo de agregado fino mejoró las propiedades del concreto en un porcentaje de 10% y 25% respectivamente, cumpliendo con las normas E.60 y la ASTM C39. A su vez, se concluyó que un uso mayor al 50% de relave como reemplazo de agregado fino resulta perjudicial y no cumple con los parámetros de resistencia requerida.

Saavedra (2019) en su tesis de investigación Resistencia de un concreto permeable $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ sustituyendo 5%, 10% y 15% de relave por agregado fino, en Huaraz en Perú: Presentó como opción el reemplazo del agregado fino en porcentaje de 5%, 10% y 15% con relave, con el fin de elaboración de concreto permeable de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$. Evaluó cuatro tipos distintos de mezclas, tomando en cuenta las Normas Técnicas Peruanas y el ACI

522R-10. Los diseños de mezclas tuvieron en cuenta el porcentaje de vacíos, la relación a/c y el tipo de agregado grueso. Los resultados mostraron que el mejor porcentaje de sustitución de agregado fino resultó ser 5%, con un aumento de 2.55% de resistencia a la compresión por encima del diseño patrón. Con los testigos de 10% y 15%, la resistencia disminuyó drásticamente, con un 39.76% y 53.57%. Respecto a la permeabilidad, los testigos de 15% obtuvieron una infiltración de 1.42 cm/seg, concluyendo que la sustitución por 5% es la óptima para concreto permeable.

Romero y Salinas (2020) analizaron el uso de relave minero como sustituto de agregado fino en distintas proporciones, la cual fue dosificada por la empresa CONCRETOS MOLDEADOS SAC., para la elaboración de adoquines tipo II. Los porcentajes fueron de 5%, 10%, 25% y 50%, para un diseño $f'c=380 \text{ kg/cm}^2$, y una dosificación patrón sin adición de relave minero, los cuales fueron evaluados a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado. De igual forma, los adoquines tuvieron ensayos de absorción, densidad y variación dimensional. Los resultados obtenidos mostraron que a en adiciones menores al 10%, la resistencia cumplía con el mínimo exigido por la norma NTP.399. 611. Finalmente, realizaron un análisis de costos unitarios para una dosificación del 10% de relave, demostrando su viabilidad y recomendando su uso.

Huerta y Roldan (2021) analizaron como influyó el relave como reemplazo en porcentaje de 6%, 12%, 25% y 50% del agregado fino, comparando con una muestra control. Los resultados obtenidos mostraron que el mejor porcentaje es 12% en compresión, y 50% en asentamiento. De igual forma, verificaron que el relave minero representa un material alternativo aprovechable y apto para el uso de concreto, y que mejora sus propiedades manteniéndose dentro de los rangos permisibles.

López y Trejo (2021) plantearon como objetivo conocer la influencia del relave sobre las propiedades físico-mecánicas de un concreto $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ al sustituir el agregado fino en porcentajes de 5% y 10%. Se realizaron ensayos para el campo, ensayos para calcular la alcalinidad, y probetas para calcular la compresión. Los resultados obtenidos mostraron un asentamiento de 2.5" en el concreto control, mientras los concretos experimentales en 5% y 10% un asentamiento de 3" y 3.5". La resistencia a la compresión se realizó a los 7, 14

y 28 días de curado, concluyendo que un reemplazo de 5% es el ideal para un concreto de $f'c = \text{kg/cm}^2$

Saavedra y Beingolea (2019) tuvieron como objetivo el elaborar un concreto de alta resistencia (280 kg/cm^2 , 350 kg/cm^2 y 450 kg/cm^2 respectivamente), reutilizando material de relave y material de socavón de mina. En sus resultados, lograron que los concretos de alta resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y 350 kg/cm^2 estuvieran dentro de los parámetros, sin embargo, el concreto de $f'c = 450 \text{ kg/cm}^2$ no mantuvo resultados óptimos, esto debido al exceso de humedad que presentó el relave y el tiempo estipulado para el secado, el cual fue demasiado corto, lo cual terminó por exigir un mayor tiempo a lo convencional.

Cárdenas (2019) propuso el uso de relave polimetálico de la Ex Unidad Minera Mercedes 3 para la fabricación de unidades de albañilería, donde hizo una dosificación de material de relave y posterior desarrollo de mezclas siguiendo el método ACI. Se hicieron dos diseños de mezclas distintos. Entre los ensayos, realizó prueba de toxicidad de relave, prueba mecánica de resistencia a la compresión y ensayos de relave como agregado. Concluyó que un punto importante resultó ser el nivel de toxicidad del relave, así como un análisis de costos de bloques de concreto y su comparativo con bloques usando relave.

Suarez (2022) tuvo como objetivo el determinar el comportamiento del concreto al adicionarle relave minero, donde se hizo ensayos de contenido de húmedo, granulometría de los materiales agregados, ensayos peso volumétrico, agregados grueso, agregado fino, densidad relativa relave según las especificaciones técnicas (ASTM C39), método ACI. Se adicionó relave minero en proporción de 5%, 15% y 25% respectivamente, con un curado de 7, 14 y 28 días. Los resultados de las roturas dieron números favorables y una trabajabilidad en un nivel estimado, y se observó también que el relave actuó como un acelerante de fraguado de concreto y dio una buena resistencia. El autor concluye que en Perú no se usa aún relave minero como reemplazo de agregados, sin embargo, recomienda su uso, puesto que da resultados favorables y beneficia el reciclaje de materiales considerados de desperdicio.

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. Relave minero.

Roca finamente molida de diferente clasificación debido al uso de reactivos químicos y zona mineral de la que ha sido extraída. En esta investigación se trabajó con relave de mina de oro y hierro.

Romero y Salinas (2020) afirman: “El relave son residuos que se producen a través del proceso para la obtención de los minerales. 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.” (p.38)

✓ Análisis granulométrico del relave

Se utilizó la norma NTP 339.128 para conocer el tamaño de las partículas de relave además de verificar si cumplía con las condiciones para sustituir al agregado fino.

Para obtener el análisis granulométrico del relave se procedió al siguiente procedimiento en la tesis de Suárez (2022):

Se sacó una muestra de peso 6 kg para tamizar y analizar la medición y gradación del relave para así conocer sus propiedades mecánicas, además, de obtener el cálculo del peso retenido en cada uno de tamices en una escala granulométrica.

Teniendo listo los equipos y materiales se realizó el ensayo de tamizado con la muestra de relave en el cual se echó la muestra en los tamices y se procedió a zarandear tapando la parte superior para no perder muestra. Luego, se realizaron movimiento de lado a lado y en forma circular para que la muestra esté en constante movimiento hasta lograr terminar el ensayo de tamizado.

Después, se procedió a sacar el relave retenido en cada tamiz para poder pesarlo y observando que no haya ninguna partícula de relave atorado.

Por finalizado, se calculó los porcentajes retenidos y que pasan en cada malla. (Suarez, 2022)

✓ Composición química del relave: En las investigaciones realizaron ensayos de laboratorio para conocer la composición elemental del relave de oro (Tabla 1) y de hierro (Tabla 2). Es importante ya que al ser considerado un desperdicio minero tóxico y conociendo su composición se puede saber qué tipo de Cemento Portland es el ideal para la mezcla del concreto.

Tabla 1.

Composición elemental de relave de mina de oro.

Parámetros	Resultado (%)
Perdida de ignición	1.08
CaO	6.1
MgO	3.68
Fe ₂ O ₃	6.7
Al ₂ O ₃	3.85
Na ₂ O	0.078
K ₂ O	0.285
CuO	0.01
MnO	0.077
ZnO	0.011
NiO	0.006
Cr ₂ O ₃	0.008
PbO	0.007
SiO ₂	71.6
Cl-	0.07
SO ₄	0.036
CN	BDL*(D.L1.0)

Fuente: (Ramalinga, Sindhu, & Vignesh, 2015)

Tabla 2.

Composición química de relave de mina de hierro.

Composición química del relave	
Contenido	Porcentaje (%)
Cuarzo (SiO ₂)	70.4
Pirita (FeS ₂)	4.45
Moscovita (K, Ca, Na) (Al, Mg, Fe) ₂	8.6
Clorita (Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	3.8
Calcita (CO ₃ Ca)	1.72
Yeso	2.8
Diopsido (CaMg, Al) (Si, Al ₂ O ₆) y Arsenopirita (FeAsS)	2.4

Fuente: (Huerta & Roldan, 2021)

2.3.2. Módulo de finura

El módulo de fineza representa el tamaño promedio de las partículas del agregado fino. En la norma ASTM C-33 el agregado fino no debe tener un valor no menor a 2.3 ni mayor a 3.1, ya que si el valor es inferior al ya mencionado se considera un agregado muy fino e inconveniente para la mezcla del concreto por lo que necesita más consumo de cemento. Si el valor es mayor a 3.1 se considera un agregado muy grueso por lo que resulta inadecuada para la mezcla ya que hace una tendencia a que el concreto sea segregable. El módulo de fineza se calcula con la suma de porcentajes acumulados retenidos en la malla N°4, 8, 16, 30, 50, 100 todo dividido entre 100. En la tabla 3 se representará los resultados de un ensayo de módulo de fineza de relave minero recuperado de Romero y Salinas (2020)

Tabla 3.

Resultados de ensayo de módulo de fineza de relave

AGREGADO FINO				
TAMIZ		PESO RETENIDO		MATERIAL PASANTE
ABERTURA		Retenido %	Acumulado %	
PULGADA	mm			
3/4	19.05	0	0	
1/2	12.7	0	0	
3/8	9.525	0	0	100
N. °4	4.75	4.8	4.8	95.2
N. °8	2.36	12.9	17.7	82.3
N. °10	2	8.1	25.8	74.2
N. °16	1.19	9.6	35.4	64.6
N. °30	0.6	16.3	51.7	48.3
N. °40	0.42	6.5	58.1	41.9
N. °50	0.3	15.4	73.6	26.4
N. °80	0.18	8.1	81.7	18.3
N. °100	0.15	7.8	89.5	10.5
N. °200	0.074	6.1	95.6	4.4
FONDO		4.4	100	0
Módulo de fineza			2.73	

Fuente: (Romero & Salinas, 2020)

2.3.3. Diseño de mezcla

Método ACI

El comité 211 del ACI ha desarrollada un procedimiento de diseño de mezcla bastante simple, el cual, mediante tablas presentadas por este método de diseño, permite la obtención de valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica de un concreto. (López, 1992 como se citó en Condori, 2018)

Procedimiento y secuencia del diseño de mezcla por el método ACI 211.1

- Resistencia a la compresión promedio (f'_{cr})

Se debe de tener en conocimiento con que f'_c se trabajará en el diseño de mezcla y la desviación estándar.

Tabla 4.

Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos.

Número de ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra (+)
Menos de 15	Utilizar Tabla Z
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

Fuente: (NormaE.060, 2009)

Tabla 5.

Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

Resistencia especificada a la compresión, kg/cm ²	Resistencia promedio requerida a la compresión kg/cm ²
$f'_c \leq 350$	$f'_{cr} = f'_c + 1.34s$
	$f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 35$
$f'_c > 350$	$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s$
	$f'_{cr} = 0,90 f'_c + 2,33 s$

Fuente: (NormaE.060, 2009)

Tabla 6.

Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

Resistencia especificada a la compresión, kg/cm ²	Resistencia promedio requerida a la compresión, kg/cm ²
$f'c < 210$	$f'cr = f'c + 7,0$
$210 \leq f'c \leq 350$	$f'cr = f'c + 8,5$
$f'c > 350$	$f'cr = 1,1 f'c + 5,0$

Fuente: (NormaE.060, 2009)

- Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso
- Selección del asentamiento según la estructura

Tabla 7.

Asentamiento Máximo y Mínimo según tipo de construcción.

Tipo de construcción (Pulg)	Máxima	Mínima
Zapatillas y Muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, calzaduras y subestructura de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	3"	1"

Fuente: (NormaE.060, 2009)

- Determinación del volumen unitario de agua de diseño

Tabla 8.

Cantidades aproximadas de agua de amasado para diferentes asentamientos.

Slump	Tamaño máximo de agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin Aire Incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-----
% Aire arrapado	3	3	2	1.5	1	0.50	0.30	0.20
Concreto con aire Incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-----
% de Aire Incorporado en función del grado de exposición								
Normal	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Moderada	8	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Extrema	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Fuente: (ASTM C33-03)

- Determinación de la relación A/C por $f'c$ a los 28 días

Tabla 9.

Relación A/C a los 28 días

f'c a 28 días (kg/cm ²)	Relación Agua/Cemento vs f'c.	
	Relación Agua/Cemento en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
450	038	-----
400	042	-----
350	047	039
300	054	045
250	062	053
200	070	061
150	080	071

Fuente: (ASTM C33-03)

- Factor Cemento (FC)

Se determina dividiendo el volumen unitario de agua entre la relación A/C. Después, el resultado se divide entre el peso de una bolsa de cemento (42.5 kg)

$$FC = \frac{\text{Volumen unitario del agua}}{a/c}$$

- Determinación del contenido del agregado grueso

Tabla 10.

Peso del Agregado grueso por unidad de Volumen del Concreto Tamaño

Tamaño máximo nominal del A.G.	Volumen del agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de C°, para diversos módulos de finura (b/bo)			
	2.4	2.6	2.8	3.0
3/8" - 9.5 mm.	0.5	0.48	0.45	0.44
1/2" - 12.5 mm.	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4" - 19 mm.	0.66	0.64	0.62	0.6
1" - 25 mm.	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2" - 37.5 mm.	0.75	0.73	0.71	0.69
2" - 50.0 mm	0.78	0.76	0.74	0.72
3" - 75.0 mm	0.82	0.8	0.78	0.76
6" - 150 mm	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: (ASTM C33-03) (b/bo = Resultante de la división del peso seco del agregado grueso requerido por la unidad cubica de concreto entre el peso unitario seco y varillado del agregado grueso (kg/m³))

- Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso

$$\text{Volumen Absoluto} = \sum \left(\frac{\text{Materiales}}{P.Ex \times 1000} \right)$$

- Determinación del volumen absoluto del agregado fino

$$\text{Volumen absoluto AF} = 1.00 - \text{Volumen Absoluto}$$

- Determinación del peso seco del agregado fino

$$\text{Volumen absoluto AF} = 1.00 - \text{Volumen Absoluto}$$

- Determinación de los valores de diseño del cemento, agua de diseño, aire, agregado fino y grueso.

2.4. Definición de términos básicos

Concreto

El concreto es el principal compuesto en la industria de la construcción, está compuesto por la mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso, agua, aire y aditivos. En estado endurecido adquieren la resistencia necesaria según el diseño requerido según la Norma Técnica peruana y Norma E. 060.

Diseño Patrón

Espécimen que sigue un método de diseño y que no contiene ni aditivos, ni fibras, o cualquier material que no sea cemento, agua, aire, agregado fino y grueso. Sirve para realizar comparaciones, en esta investigación se utilizó el diseño patrón para comparar los resultados de los ensayos sin relave y con relave.

Resistencia a la compresión

Es una de las principales características mecánicas del concreto en estado endurecido. Mide la capacidad mecánica del cemento a soportar una fuerza externa de compresión. Es una de las más importantes propiedades, se expresa en Kg/cm². En el laboratorio se determina mediante: Ensayo de compresión en probetas cúbicas de 5 cm de lado (con mortero cemento-arena normalizada): NTP 334. 051 (98). Se prueba a los 1, 3, 7 y 28 días. (Torre, 2004)

Resistencia a la tracción

La determinación de la resistencia a tracción indirecta por el método brasileño consiste en la aplicación de carga de compresión diametralmente. Para realizar el ensayo se toma como referencia la norma MTC E – 708 del manual de ensayo de materiales.

Trabajabilidad

Es la consolidación, facilidad de colocación de la mezcla, el grado de resistencia a la segregación y su acabado en estado fresco. Además, al momento de su transporte los materiales utilizados para el concreto no deben separarse. (Kosmatka et al., 2004)

Asentamiento

Se mide mediante el cono de Abrams como medida de la consistencia y humedad del concreto. Indica la fluidez de la mezcla, su trabajabilidad y su consistencia.

Consistencia

Es el grado de humedecimiento de la mezcla y depende de la cantidad de agua que se usó en la mezcla. (Abanto, 2009)

Dosificación del concreto

Una buena dosificación logra que la trabajabilidad y consistencia permitan colocar el concreto dentro del encofrado fácilmente sin presentar segregación ni exudación excesiva. (RNE, 2021)

Alcalinidad

La alcalinidad en el concreto se debe al alto contenido de concentraciones de óxidos de calcio, sodio y potasio soluble que se encuentran ubicadas en los poros microscópicos. Los componentes anteriormente mencionados forman hidróxidos

alcalinos al entrar en contacto con el agua para así crear un pH óptimo (12 a 13), haciendo que el concreto proteja al acero de la corrosión al formar una capa protectora para el refuerzo. (Félix et al, 2018)

Aditivos químicos

Generalmente los aditivos se encuentran de forma líquida y se emplean para ajustar el tiempo de fraguado, reducción de agua en la mezcla, para aumentar la trabajabilidad e incluir de forma intencional el aire. (Kosmatka et al., 2004)

- Aditivo superplastificante. Se usa para aumentar la fluidez del concreto y disminuir la relación a/c.

Segregación del concreto

Se entiende por segregación del concreto a la distribución no homogénea de sus componentes ya que de ellas se obtienen grandes repercusiones en el comportamiento mecánica y en su durabilidad. Es por lo que la distribución del cemento y los agregados son una parte fundamental en el diseño de mezcla. (Benito, Parra, Valcuende, Miñano, & Rodríguez, 2015)

Resistencia del concreto

“La resistencia del concreto no puede probarse en condición plástica, por lo que el procedimiento acostumbrado consiste en tomar muestras durante el mezclado las cuales después de curadas se someten a pruebas de compresión” (Abanto, 2009)

Propiedades físicas del concreto

“Las propiedades físicas del cemento se pueden determinar mediante algunos ensayos sobre el cemento puro, la pasta de cemento o el mortero, y generalmente se realizan en laboratorios tanto de fábricas como de clientes con el fin de asegurarse que este material cumpla con lo establecido en la norma NTC 121 y posea la calidad deseada.” (Silva, 2018)

Propiedades mecánicas del concreto

“Es la propiedad que hace posible que este soporte la carga que va a ir encima de él. Gracias a esta cualidad, este no se deforma permanentemente ni se agrieta. En las propiedades mecánicas podemos encontrar la resistencia a la tracción, compresión, flexión, cortadura y torsión.” (Aceros Arequipa, 2020)

2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

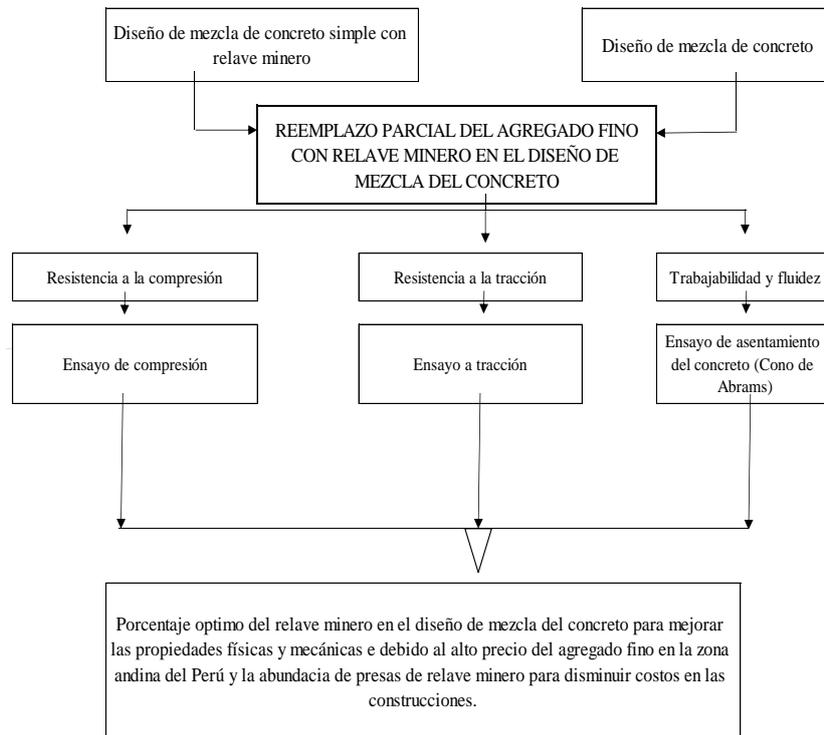


Figura 2. Mapa conceptual

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 3: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Al determinar el porcentaje óptimo del relave minero de oro y hierro como sustituto del agregado fino en el diseño de mezcla del concreto mejoran las propiedades físicas y mecánicas.

3.1.2. Hipótesis específicas

- a. Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto del agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto.
- b. Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto.
- c. Analizando el porcentaje óptimo de relave de mina de oro como sustituto del agregado fino para aumentar la resistencia a la tracción.
- d. Analizando el porcentaje óptimo de relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino para aumentar la resistencia a la tracción.
- e. Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto del agregado fino mejora la trabajabilidad y fluidez del concreto.
- f. Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino mejora la trabajabilidad y fluidez del concreto.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Definición operacional

3.2.1.1. Variable dependiente

Relave minero

“Los relaves son los materiales/minerales molidos de desecho sin interés económico (generalmente) que producen las plantas concentradoras de flotación de diferentes minerales. La disposición de relaves se basa en el Decreto Supremo 024-2016-EM, las normas de Osinergmin y la OEFA” Heiner Bueno citado en Rumbo Minero (2017)

3.2.1.2. **Variable independiente**

i. Propiedades mecánicas

“Es la propiedad que hace posible que este soporte la carga que va a ir encima de él. Gracias a esta cualidad, este no se deforma permanentemente ni se agrieta. En las propiedades mecánicas podemos encontrar la resistencia a la tracción, compresión, flexión, cortadura y torsión.” (Aceros Arequipa, 2020)

ii. Propiedades físicas

“Las propiedades más relevantes del cemento son: la finura, la fluidez o consistencia normal, la densidad, la resistencia a la compresión, la expansión, los tiempos de fraguado y el fraguado rápido.” (Silva, 2018)

3.2.2. Definición operacional

3.2.2.1. **Variable dependiente**

Relave minero

Material sólido desechable finamente molido que producen las plantas concentradoras de minerales, minas, que para triturarlas utilizan procesos mecánicos y químicos y transformarlos en agregado fino para así extraer el mineral o metal de piedra. Este desecho no tiene valor económico por lo que se desechan en presas de relave por su contenido tóxico.

3.2.2.2. **Variable independiente**

Propiedades mecánicas

La resistencia ha sido verificada con sus respectivos ensayos de laboratorio obtenido a partir de diferentes investigaciones pasadas, determinando su resistencia a la compresión y tracción

Propiedades físicas

En la investigación se recopiló datos de la influencia del relave en el diseño de mezcla del concreto en su trabajabilidad y fluidez.

3.2.3. Operacionalización de las variables

Tabla 11.

Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Escala
V.D. Relave minero	“Los relaves son los materiales/minerales molidos de desecho sin interés económico (generalmente) que producen las plantas concentradoras de flotación de diferentes minerales. La disposición de relaves se basa en el Decreto Supremo 024-2016-EM, las normas de Osinergmin y la OEFA” Heiner Bueno citado en Rumbo Minero (2017)	Material sólido desechable finamente molido que producen las plantas concentradoras de minerales, minas, que para triturarlas utilizan procesos mecánicos y químicos y transformarlos en agregado fino para así extraer el mineral o metal de piedra. Este desecho no tiene valor económico por lo que se desechan en presas de relave por su contenido tóxico.	Composición química del relave	Porcentaje de concentración	Mina de oro Mina de hierro	Porcentaje (%)	Ordinal
			Granulometría del relave	Tamaño Máximo Nominal	Malla N°200	mm	Ordinal
				Módulo de fineza	$\frac{\sum \% \text{RETENIDO ACUMULADO}}{100}$	Número	Ordinal
			Dosificación del relave	Porcentajes de sustitución	0%, 5%, 7%, 10%, 12% entre otros.	Porcentaje (%)	Ordinal
V.I. Propiedades mecánicas del concreto	“Es la propiedad que hace posible que este soporte la carga que va a ir encima de él. Gracias a esta cualidad, este no se deforma permanentemente ni se agrieta. En las propiedades mecánicas podemos encontrar la resistencia a la tracción, compresión, flexión, cortadura y torsión.” (Acero Arequipa, 2020)	La resistencia ha sido verificada con sus respectivos ensayos de laboratorio obtenido a partir de diferentes investigaciones pasadas, determinando su resistencia a la compresión, tracción y flexión	Endurecido	Resistencia	Compresión	Kg/cm2	Ordinal
					Tracción	Kg/cm2	Ordinal
Propiedades físicas del concreto	“Las propiedades más relevantes del cemento son: la finura, la fluidez o consistencia normal, la densidad, la resistencia a la compresión, la expansión, los tiempos de fraguado y el fraguado rápido.” (Silva, 2020)	Las propiedades físicas se pueden identificar por medio de la observación o mediciones. En la investigación se recopiló datos como actúa el relave en el diseño de mezcla del concreto en su permeabilidad, modulo de elasticidad y trabajabilidad.	Fresco	Trabajabilidad Fluidez Consistencia	Ensayo de asentamiento	Pulgadas	Ordinal

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

La investigación presenta un estudio documental, bibliográfico y descriptivo. Documental ya que se ha obtenido información en la cual se hizo un análisis e interpretación de lecturas a partir de textos, libros, artículos y entre otros. Bibliográfico ya que se obtuvo material existente enfocado en la investigación. Es descriptivo ya que se realizó un análisis, descripción y clasificación de la población a investigar.

4.1. Método de la investigación

La metodología con la que se trabaja esta investigación es deductiva ya que se basa en dar conclusiones a través de investigaciones recolectadas como artículos científicos, tesis, conferencias, revistas científicas, publicaciones técnicas y múltiples normativas utilizadas por especialistas. Este método es de utilidad ya que se resolvió el planteamiento del problema, especialmente el capítulo 3 al comprobar las hipótesis de la presente tesis, así como también de las conclusiones.

El tipo de orientación es aplicada ya que la investigación tiene como objetivo analizar la mejora de las propiedades mecánicas y físicas del concreto al tener un reemplazo parcial del agregado fino con relave minero.

El tipo de enfoque es cuantitativo ya que nos basamos en una recolección de datos con medición expresados en cálculos y gráficos estadísticos.

El instrumento de recolección de datos es retro lectivo ya que utilizamos como de estudio artículos experimentales finalizados.

4.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva y explicativo ya que se realizó una recopilación de resultados de laboratorio que busca describir la influencia del uso de relave minero como sustituto del agregado fino en las propiedades del concreto; además, se analizó el efecto del aditivo superplastificante en la trabajabilidad del concreto.

De esta manera se puede realizar una presentación explicando los resultados con gráfica de barras y tablas de análisis de resultados.

4.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación corresponde a uno descriptivo ya que se estudia las características de la población a partir de los resultados obtenidos de estudios recolectados para la presente tesis. Además, permitió cuantificar la variable dependiente al analizar las características del relave minero y su influencia en el diseño de mezcla para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

4.4. Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación es no experimental, puesto que no se realizó una manipulación física de las variables y se atinó a la recolección de datos hechas en otras investigaciones que fueron de diseño experimental, las cuales proveyeron información para el estudio y así poder desarrollar un análisis entre el conjunto de resultados.

Según el número de mediciones es longitudinal ya que se realizaron ensayos de resistencia con probetas de diferentes edades (7, 14 y 28 días) según lo indicado en la Norma E.060.

Según la cronología de las observaciones, es retrospectiva ya que se recolectaron datos de resultados experimentales obtenidos de diversas bases de datos académicas.

Según el estudio del diseño es de tipo cohortes ya que la investigación se basa en la comparación de diversas muestras de relave obtenidas de diferentes tipos de minas para así observar las nuevas características que tendrán los diseños de mezclas.

4.5. Población y muestra

4.5.1. Población

La población en esta investigación está en la recolección de diversos artículos y su comparación, donde se discute los resultados experimentales obtenidos en cada una de ellas. Los resultados obtenidos en estas investigaciones son de carácter experimental.

(Ramalinga et al, 2015) En la investigación trabajaron con relave de mina de oro teniendo un diseño patrón ($a/c= 0.45$) y porcentaje de reemplazo de relave de 10%, 20%, 30% ($a/c= 0.45$) y 100% ($a/c= 0.60$).

(Suarez, 2022) En la investigación trabajó con relave de mina de oro teniendo un diseño patrón y porcentajes de reemplazo de relave de 5%, 15% y 25% para una resistencia de 350 kg/cm².

(Condori, 2018) En la investigación se trabajó con el promedio de 2 muestras del mismo diseño de mezcla añadiendo relave de mina de oro teniendo un diseño patrón y porcentaje de reemplazo de relave (0, 25, 50, 75 y 100%).

(Chen, Gao, Jin & Zou, 2019) En la investigación trabajaron con relave de mina de hierro y escoria de acero, teniendo una muestra patrón, reemplazo de relave de 20, 40 y 60% para el agregado fino y reemplazo de escoria de acero de 20, 40 y 60% para agregado grueso.

(Jiang, Wang, Chen, Ruan, & Li, 2018) En la investigación trabajaron con relave de mina de hierro teniendo un diseño patrón como control y cantidades de reemplazo de agregado fino en 10, 20, 30, 40 y 50% por relave de hierro.

(Dhanabal & Sushmitha, 2021) En la investigación trabajaron un diseño patrón de control y 4 diseños de mezcla en las cuales utilizaron diferentes proporciones de relave de hierro y polvo de vidrio, teniendo como porcentaje de relave de hierro 30%.

(Fernández, Huerta, & León, 2021) En la investigación trabajaron con un diseño patrón y porcentajes de reemplazo de relave de hierro de 6, 12, 25 y 50%.

(Prajwal, Ranjith, Sagar M, & Shivaraja, 2019) En la investigación trabajaron un diseño patrón y con porcentajes de reemplazo de relave de mina de oro de 5, 10, 15, 20 y 25%.

(Cruz & Supo, 2022) En la investigación trabajaron con un diseño patrón y con porcentajes de reemplazo de relave de mina de oro 5, 10 y 15%.

(Karolina & Gaol, 2020) En la investigación se trabajó con un diseño patrón y con porcentajes de reemplazo de relave de hierro de 15 y 25%.

(Zainab Z. & Enas A., 2007) En la investigación se trabajó con un diseño patrón y con porcentajes de reemplazo de relave de hierro de 10, 15 y 20%.

(Huerta & Roldan, 2021) En la investigación se trabajó con un diseño patrón para una resistencia de 210 kg/cm² y con porcentajes de reemplazo de relave de hierro de 6, 12, 25, 50%.

4.5.2. Muestra

Para esta investigación, se recopilaron tesis nacionales e internacionales en las cuales se realizaron ensayos de laboratorio usando relaves mineros como reemplazo de agregados, en proporciones distintas para comprobar cuál es el porcentaje más efectivo. Los datos fueron seleccionados y colocados en gráficas para poder ser comparadas entre sí.

(Ramalinga et al, 2015) Los autores realizaron ensayos experimentales con relave de la Mina de oro Hutti, India. Los especímenes fueron moldes de cubos de acero estándar de 150 mm de alto, teniendo en total 45 muestras preparadas según la normativa IS: 2250-1990 (7). Para el ensayo de resistencia a la compresión y tracción se utilizó la normativa india IS: 516-1989 (7). Se realizó el ensayo de asentamiento del concreto según la norma india IS 7320 (1974).

(Suarez, 2022) El autor realizó ensayo experimental con relave de oro de la Mina Atacocha. Los especímenes se ensayaron en los días 1, 3, 7, 14 y 28 días para el ensayo de resistencia a la compresión según la norma ASTM C-39/C39M para una resistencia de 350 kg/cm².

(Condori, 2018) Se realizó la extracción de relave y socavón de la Mina La Rinconada. Para realizar el ensayo de compresión destructivo en los 7, 14 y 28 días. Los especímenes fueron moldes cilíndricos de 14.84 cm de diámetro.

(Chen, Gao, Jin & Zou, 2019) Los autores realizaron ensayos de laboratorio con relave de mina de hierro y escoria de acero. El ensayo de resistencia a la compresión se realizó a los 7 y 28 días con 3 muestras por cada diseño procediendo a calcular un promedio.

(Jiang, Wang, Chen, Ruan, & Li, 2018) los autores realizaron ensayos experimentales con muestras de relave de hierro reemplazando al agregado fino y ceniza volante. Las edades de prueba fueron 3, 7, 28 y 90 días. Se realizó ensayo a la compresión y tracción.

(Dhanabal & Sushmitha, 2021) Los autores realizaron 4 diseños de mezcla, donde variaron la proporción de uso de relave de hierro y polvo de vidrio. El ensayo a la compresión y tracción se ensayó a los 7, 14 y 28 días. Añadir que se realizó el ensayo de asentamiento del concreto en la prueba de slump.

(Fernández, Huerta, & León, 2021) Los autores realizaron ensayos de experimentales con relave de mina de hierro ubicada en la provincia de Huaraz. El agregado fino y grueso fue extraído de la cantera Río Santa Tacllan. Para realizar el ensayo de compresión a los 7, 14 y 28 días realizando un diseño de mezcla para $f'c=210$ kg/cm².

(Prajwal, Ranjith, Sagar M, & Shivaraja, 2019) Los autores realizaron ensayos experimentales con relave de mina de oro extraídas de una mina del país India. Para realizar el ensayo de resistencia a la tracción según la norma india IS: 516-1989. Se realizó el ensayo de asentamiento del concreto según la norma india IS 7320 (1974).

(Cruz & Supo, 2022) Los autores realizaron ensayos experimentales con relave de mina de oro extraídas de la mina La Rinconada. Para realizar el ensayo de asentamiento según la NTP 339.035 y ASTM C143.

(Karolina & Gaol, 2020) Los autores realizaron ensayos experimentales con relave de mina de hierro para realizar el ensayo de asentamiento en la prueba de slump según la norma ASTM C143.

(Zainab Z. & Enas A., 2007) Los autores realizaron ensayos experimentales con relave de mina de hierro y clasificando su composición química y física para realizar el ensayo de asentamiento en la prueba de slump según la norma ASTM C143.

(Huerta & Roldan, 2021) Los autores realizaron ensayos experimentales con relave de mina de hierro de la provincia de Huaraz para realizar el ensayo de asentamiento en la prueba de slump según la norma ASTM C143.

4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

4.6.1. Instrumento de recolección de datos

Los instrumentos utilizados para una correcta recopilación de datos fueron ensayos de laboratorios de diversas investigaciones actuales no mayores a 5 años, Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú y normas internacionales.

En las investigaciones estudiadas se recolectaron utilizaron los siguientes instrumentos como guías:

- ASTM C143 método de determinación del asentamiento del concreto,
- IS 7320 (1974) para realizar el ensayo de asentamiento (Slump)
- IS 516 (1989) para realizar los ensayos de compresión y tracción,
- ASTM C39/C39M-01 para realizar los ensayos de compresión en especímenes cilíndricos de concreto,
- IS 8112-1989 para especificaciones de cemento portland de grado ordinario,
- IS 2250 (1990) para los diseños de mezcla,
- y normas nacionales como la NTP 339.035.

4.6.2. Métodos y técnicas

Los métodos y técnicas utilizados para la presente tesis fueron ensayos de laboratorios ya que se busca medir el efecto del relave en la resistencia del concreto, muestras de laboratorio de relave para determinar su composición química y concluir el tipo de cemento ideal a utilizar, fórmula para determinar

el módulo de elasticidad y pruebas de cono de Abrams para determinar su trabajabilidad con el aditivo superplastificante

4.6.3. Descripción de procesamiento de análisis

Usando los resultados recopilados en los ensayos de laboratorios de tesis y artículos de diversas investigaciones, se pudo dar a conocer cuál era el porcentaje adecuado de relave minero en reemplazo de agregado fino para un mejoramiento mecánico y físico del concreto endurecido.

Para un adecuado procesamiento de datos, se realizó diversas lecturas de tesis y artículos de investigación, así como participación a conferencias y cursos. Se hizo uso de los programas enseñados en el curso de titulación de la Universidad Ricardo Palma.

CAPÍTULO 5: PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.1. Resultados de la investigación

En base a la recopilación de datos, se puede establecer que el reemplazo del relave minero como sustituto del agregado fino en el concreto presenta diversos resultados que se puede deber a su origen, porcentaje y composición química que presenta. Es por ello, que la presente investigación ha realizado una recopilación de estudios experimentales que incluyen ensayos de laboratorio para medir la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, composición química del relave y asentamiento, teniendo como principales objetivos ayudar en la disminución de la contaminación minera debido a rebalse de presas de relave y encontrar una vida útil para este desperdicio minero.

Cabe resaltar que la información recopilada es de carácter experimental y de ámbito nacional e internacional, por lo que se ha desarrollado una comparación entre los resultados de cada estudio.

Analizando el porcentaje óptimo de relave de mina de oro como sustituto del agregado fino para aumentar la resistencia a la compresión.

Investigación 1: Use of Gold Mine Tailings in Production of Concrete- A Feasibility Study

Materiales:

- a. Tipo de cemento: Se utilizó Cemento Portland conforme a normativa india IS:8112-1989 (3)
- b. Depósito de Relave: Se extrajo relave de la Mina de oro Hutti, India y se analizó su composición química, los resultados se pueden observar en la Tabla 12.

Tabla 12.

Composición química de relave de mina de oro

Parámetros	Resultado (%)
Perdida de ignición	1.08
CaO	6.1
MgO	3.68
Fe ₂ O ₃	6.7
Al ₂ O ₃	3.85
Na ₂ O	0.078
K ₂ O	0.285
CuO	0.01
MnO	0.077
ZnO	0.011
NiO	0.006
Cr ₂ O ₃	0.008
PbO	0.007
SiO ₂	71.6
Cl-	0.07
SO ₄	0.036
CN	BDL*(D.L1.0)

Fuente: (Ramalinga et al., 2015)

- c. Aditivo: Se utilizó aditivo superplastificante, en la Tabla 13 se puede observar el porcentaje que se utilizó para cada espécimen. (SP=Superplastificante)

Tabla 13.

Relación A/C y % de SP

Porcentaje de reemplazo de relave (%)	A/C	% de SP
Diseño Patrón	0.45	0.5
100%	0.6	2.5
10%	0.45	0.5
20%	0.45	0.5
30%	0.45	0.5

Fuente: (Ramalinga et al., 2015)

d. Tipo de ensayo: Ensayo destructivo según la norma IS: 2250-1990 (7)

Método de ensayo: Se realizó el ensayo a la compresión con moldes de cubos de acero estándar de 150 mm de alto. Se compactaron en tres capas por lo que se utilizó un vibrador de aguja para eliminar burbujas de aire de los moldes. En total, se tienen 45 especímenes que se prepararon según la normativa india IS: 516-1989 (7) y se ensayó la resistencia de compresión a los 7, 14 y 28 días. Los resultados obtenidos son el promedio de los 3 especímenes ensayados y los resultados se pueden observar de forma resumida en la Tabla 14 y graficado en la Figura 3.

Tabla 14.

Resultados de ensayo de compresión

Porcentaje de reemplazo de relave (%)	Ensayo a la compresión (kg/cm ²)		
	7 días	28 días	56 días
Diseño Patrón	309	405	489
10%	297	415	526
20%	291	387	514
30%	271	358	464
100%	69	75	90

Fuente: (Ramalinga et al., 2015)

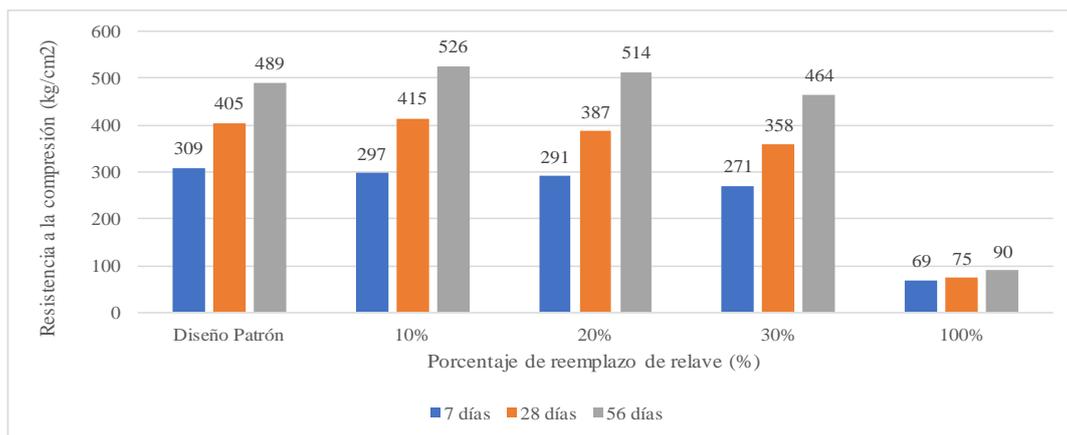


Figura 3. Resultado de ensayo de compresión

Fuente: (Ramalinga et al., 2015)

Investigación 2: Relave minero como agregado del concreto en el diseño de mezcla en $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ al 5%, 15%, 25 % en el centro poblado de Chicrin – 2021.

Materiales:

- a. Tipo de cemento: Se utilizó Cemento Portland Tipo I.
- b. Depósito de Relave: Se extrajo relave de la Mina Atacocha.
- c. Aditivo: No se incluyó aditivo
- d. TMN del AG y AF: Se utilizó grava (Agregado grueso) de 1", ¾", ½", 3/8" y 4", agregado fino y relave minero.
- e. Tipo de ensayo: Ensayo destructivo según la norma ASTM C-39/C39M

Método de ensayo: El autor realizó el ensayo de compresión según la norma ASTM C-39/C39M. Los resultados obtenidos son el promedio de cada TMN de los especímenes ensayados y los resultados se pueden observar en la Tabla 15. Para una resistencia de 350 kg/cm^2 se realizó el ensayo en los días 1, 3, 7, 14 y 28. En la Figura 4 se puede observar una comparación de los resultados con respecto al patrón.

Tabla 15.

Resistencia específica $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$.

Edad	Concreto Patrón (kg/cm ²)	Concreto con relave al 5% (kg/cm ²)	Concreto con relave al 15% (kg/cm ²)	Concreto con relave al 25% (kg/cm ²)
1	187	140	181	227
3	234	269	266	263
7	264	284	282	279
14	311	332	304	325
28	405	412	423	412

Fuente: (Suarez, 2022)

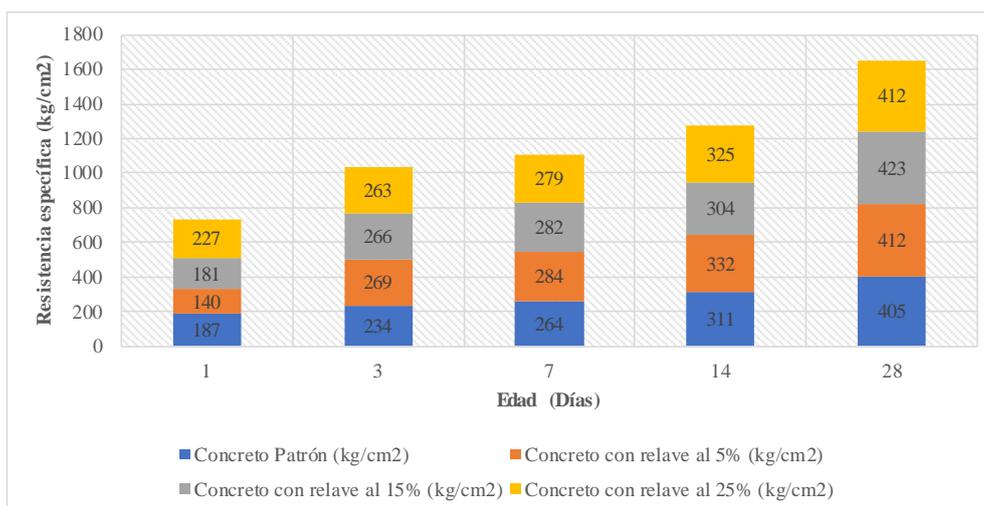


Figura 4. Resistencia específica $f'_c=350$ kg/cm²

Fuente: (Suarez, 2022)

Investigación 3: Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto con el uso de material de desechos de procesos mineros, procedentes de la mina La Rinconada en reemplazo del agregado fino.

Materiales:

- Tipo de cemento: Se utilizó Cemento Portland Tipo IP de marca RUMI
- Depósito de Relave: Se realizó la extracción de relave de la Mina La Rinconada.
- Depósito de Socavón: Se realizó la extracción de socavón de la Mina La Rinconada.
- Composición química del relave: Se realizó un ensayo de laboratorio para conocer la composición química del relave, los resultados se pueden observar en la Tabla 16.

Tabla 16.

Parámetros físicos químicos del relave

Parámetros Físicoquímicos	Unidad	Resultados
Potencial de Hidrogeno	Ph	8.15
Cloruro	Ppm	126.48
Sulfatos	Ppm	80.48
Sales Solubles	Ppm	316.45
Conductividad Eléctrica	Micro S/Cm	632.58
Carbonatos		Negativo

Fuente: (Condori, 2018)

- e. Aditivo: No se incluyó aditivo.
- f. Agregado fino y grueso: Extraído de la cantera Maravillas

Método de ensayo: El autor realizó especímenes cilíndricos reemplazando el agregado fino con relave minero, en porcentajes 0, 25, 50, 75 y 100%, y con un diseño patrón sin relave para realizar el ensayo de compresión destructivo. Los resultados para los días: 7 (Tabla 18 y Figura 5), 14 (Tabla 19 y Figura 6) y 28 (Tabla 20 y Figura 7).

En la Tabla 17 se puede observar un resumen de los resultados de las tablas anteriormente mencionadas, se sacó un promedio entre R1 y R2 para cada ensayo de cada día correspondiente.

Tabla 17.

Resumen de resultados de ensayo de compresión

DISEÑO DE MEZCLA	PROPORCIONES DE AF+RELAVE	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD (Días)
1	100% AF + 0% RELAVE	160	7
		173	14
		222	28
2	75% AF + 25% RELAVE	153	7
		165	14
		220	28
3	50% AF + 50% RELAVE	127	7
		141	14
		201	28
4	25% AF + 75% RELAVE	118	7
		139	14
		170	28
5	0% AF + 100% RELAVE	92	7
		132	14
		162	28

Fuente: (Condori, 2018)

Tabla 18.

Resultados de ensayo a la compresión a los 7 días

DISEÑO DE MEZCLA	PROPORCIONES DE AF+RELAVE	REPLICA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	F °C PROMEDIO
1	100% AF + 0% RELAVE	R1	161	160
		R2	159	
2	75% AF + 25% RELAVE	R1	149	153
		R2	159	
3	50% AF + 50% RELAVE	R1	116	127
		R2	138	
4	25% AF + 75% RELAVE	R1	115	118
		R2	120	
5	0% AF + 100% RELAVE	R1	87	92
		R2	97	

Fuente: (Condori, 2018)

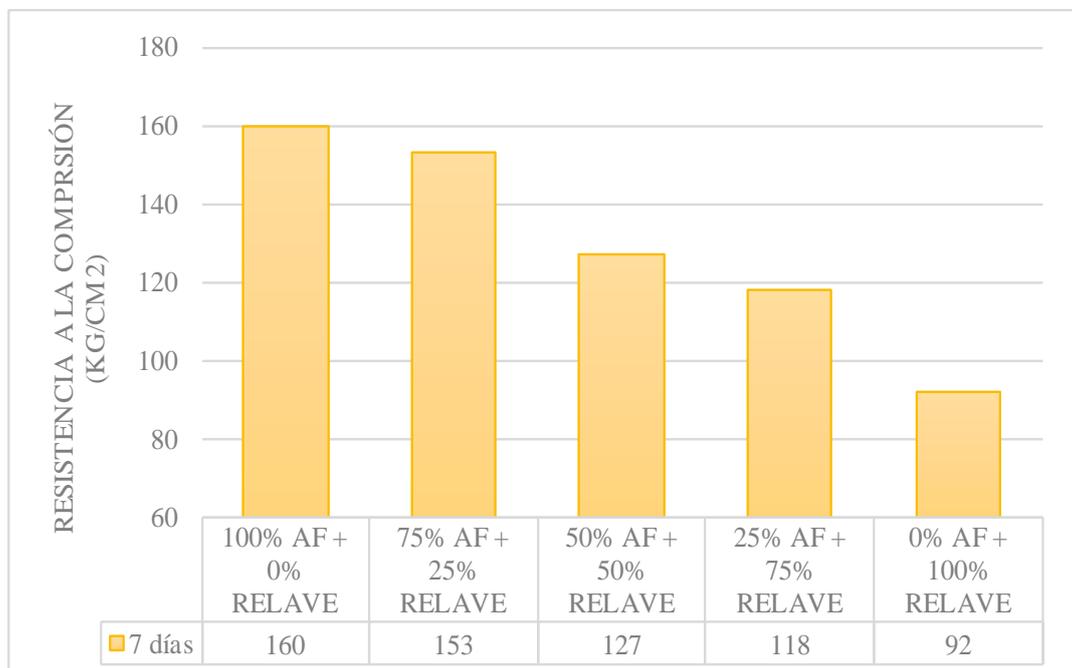


Figura 5. Comparación de resultados de resistencia a la compresión a los 7 días

Fuente: (Condori, 2018)

Tabla 19.

Resultados de ensayo a la compresión a los 14 días

DISEÑO DE MEZCLA	PROPORCIONES DE AF+RELAVE	REPLICA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	F °C PROMEDIO
1	100% AF + 0% RELAVE	R1	173.1	173.31
		R2	173.51	
2	75% AF + 25% RELAVE	R1	157.7	165.32
		R2	172.93	
3	50% AF + 50% RELAVE	R1	139.38	140.91
		R2	142.44	
4	25% AF + 75% RELAVE	R1	142.21	139.16
		R2	136.11	
5	0% AF + 100% RELAVE	R1	124.08	132.27
		R2	140.45	

Fuente: (Condori, 2018)

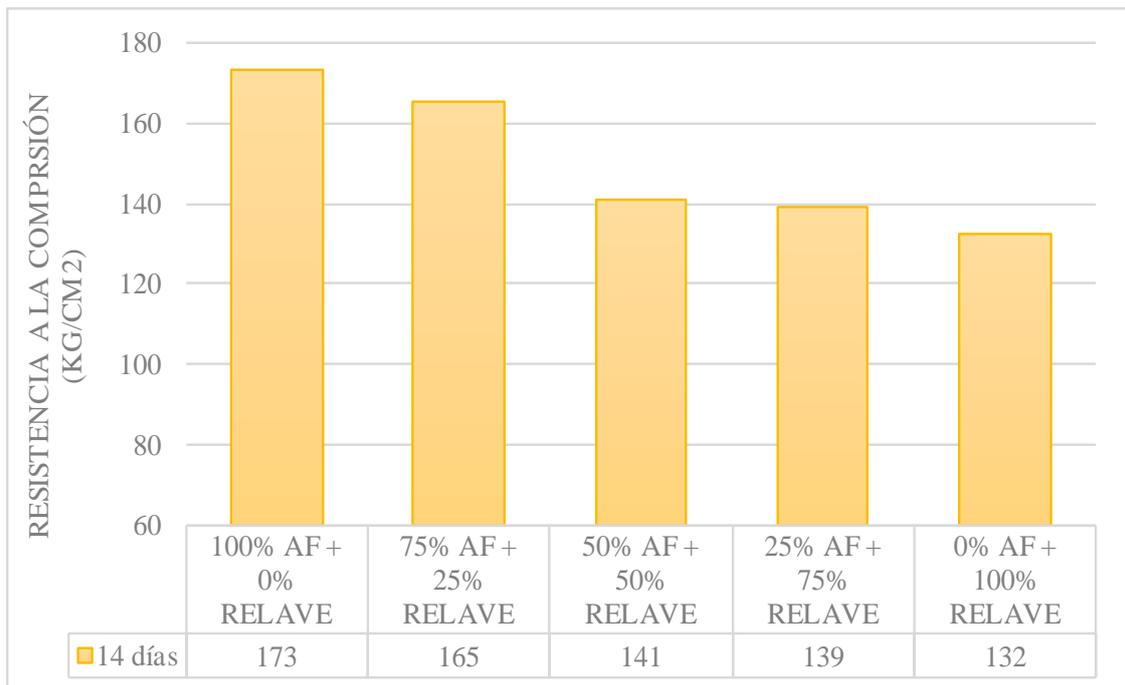


Figura 6. Comparación de resultados de resistencia a la compresión a los 14 días

Fuente: (Condori, 2018)

Tabla 20.

Resultados de ensayo a la compresión a los 28 días

DISEÑO DE MEZCLA	PROPORCIONES DE AF+RELAVE	REPLICA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	f'c PROMEDIO
1	100% AF + 0% RELAVE	R1	222	221.51
		R2	221.01	
2	75% AF + 25% RELAVE	R1	220.97	220.15
		R2	219.32	
3	50% AF + 50% RELAVE	R1	197.29	200.52
		R2	203.75	
4	25% AF + 75% RELAVE	R1	167.9	170.27
		R2	172.64	
5	0% AF + 100% RELAVE	R1	156.09	162.41
		R2	168.72	

Fuente: (Condori, 2018)

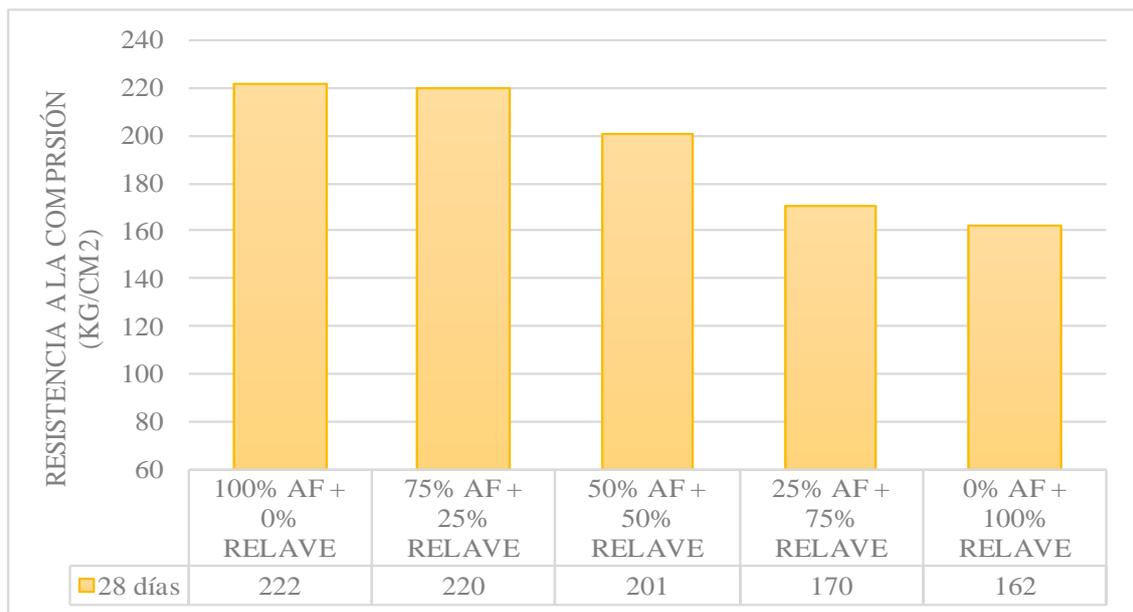


Figura 7. Comparación de resultados de resistencia a la compresión a los 28 días

Fuente: (Condori, 2018)

En la Tabla 21 se puede observar el porcentaje que alcanzó cada diseño de mezcla con relave con respecto al diseño patrón y en la Figura 8 su comparación grafica.

Tabla 21.

Porcentaje alcanzado respecto al patrón (Resistencia a la compresión)

DISEÑO DE MEZCLA	PROPORCIONES DE AF+RELAVE	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO AL PATRÓN (%)
1	100% AF + 0% RELAVE	222	100
2	75% AF + 25% RELAVE	220	99
3	50% AF + 50% RELAVE	201	91
4	25% AF + 75% RELAVE	170	77
5	0% AF + 100% RELAVE	162	73

Fuente: (Condori, 2018)

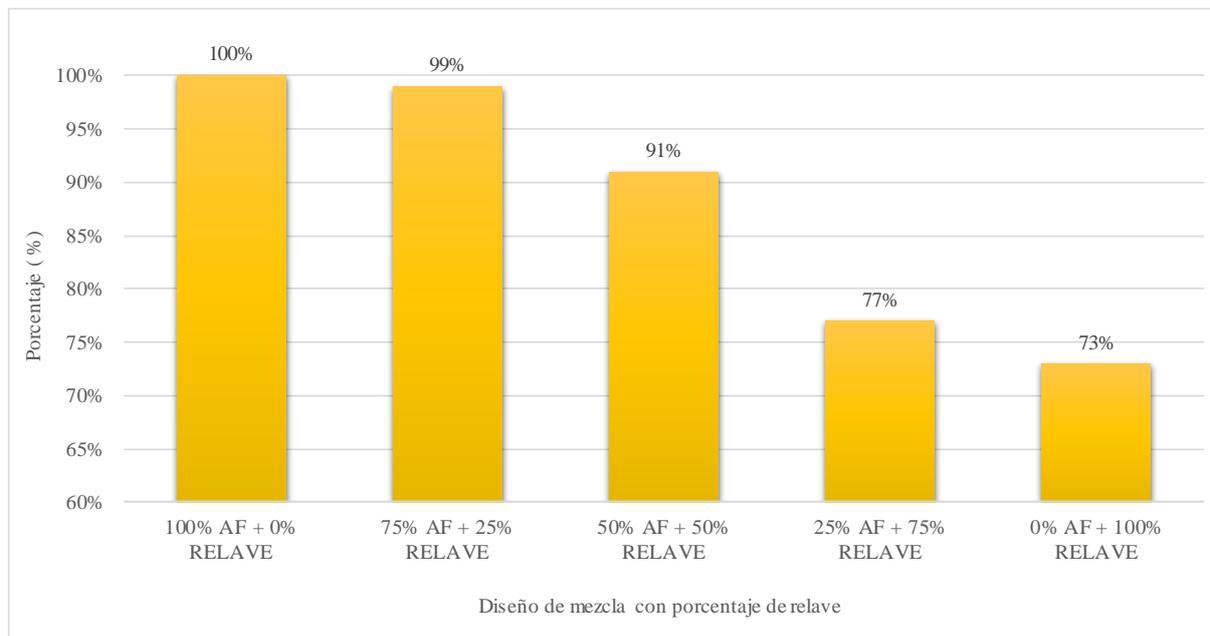


Figura 8. Porcentaje alcanzado respecto al patrón

Fuente: (Condori, 2018)

Para el resultado del objetivo 1 se realizó una comparación de autores que se puede observar en la tabla 22.

Tabla 22.

Comparación de autores para objetivo 1

Autor	Diseño patrón (kg/cm ²)	Porcentaje ideal (%)	Resistencia a la compresión debido al porcentaje ideal (kg/cm ²)
Ramalinga et al	405	10%	415
Suarez	405	15%	423
Condori	222	25%	220

Fuente: Elaboración propia

Analizando el porcentaje óptimo de relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino para aumentar la resistencia a la compresión.

Investigación 1: “Experimental Study on Volume Deformation of Iron Tailing-steel Slag Aggregate Concrete”.

Los autores realizaron una evaluación química del relave, como lo demuestra la Tabla 23. La composición química mostró que el relave de hierro contenía, mayoritariamente, SiO₂.

Tabla 23.

Componentes químicos del relave de hierro

Composición química	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	SO ₃
Contenido %	58.87	6.23	13.45	5.89	2.47	1.31

Fuente: (Chen, Gao, Jin, & Zou, 2019)

De igual forma, realizaron un ensayo de absorción de agua para las escorias de acero, como lo muestra la Tabla 24.

Tabla 24.

Resultados de absorción de agua de las escorias de acero

Número	Muestra después del secado (g)	Saturación de la muestra (g)	Absorción del agua (%)	Promedio absorción (%)
1	400	470	17.50	
2	400	472	18.00	17.75
3	400	471	17.75	

Fuente: (Chen et al., 2019)

El diseño de mezcla se realizó variando la proporción de relave de hierro y escoria de acero por muestra, teniendo una muestra patrón, reemplazo de 20, 40 y 60% de relave de hierro, reemplazo de 0, 20, 40, 60% de escorias de acero como lo muestra la Tabla 25.

Tabla 25.

Proporciones de mezcla de concreto

Grupo	Cantidad de material de hormigón por m ³ /kg					
	Agua	Cemento	Agregado fino	Relave de hierro	Piedra	Escoria de hierro
1. <i>OC</i>	190	422	536	-	1250	-
2. <i>I_{0%}S_{20%}C</i>	190	422	536	-	1000	250
3. <i>I_{0%}S_{40%}C</i>	190	422	536	-	750	500
4. <i>I_{0%}S_{60%}C</i>	190	422	536	-	500	750
5. <i>I_{20%}SC</i>	190	422	428.8	107.2	1250	-
6. <i>I_{20%}S_{20%}C</i>	190	422	428.8	107.2	1000	250
7. <i>I_{20%}S_{40%}C</i>	190	422	428.8	107.2	750	500
8. <i>I_{20%}S_{60%}C</i>	190	422	428.8	107.2	500	750
9. <i>I_{40%}SC</i>	190	422	321.6	214.4	1250	-
10. <i>I_{40%}S_{20%}</i>	190	422	321.6	214.4	1000	250
11. <i>I_{40%}S_{40%}</i>	190	422	321.6	214.4	750	500
12. <i>I_{40%}S_{60%}</i>	190	422	321.6	214.4	500	750
13. <i>I_{60%}SC</i>	190	422	214.4	321.6	1250	-
14. <i>I_{60%}S_{20%}</i>	190	422	214.4	321.6	1000	250
15. <i>I_{60%}S_{40%}</i>	190	422	214.4	321.6	750	500
16. <i>I_{60%}S_{60%}</i>	190	422	214.4	321.6	500	750

Fuente: (Chen et al., 2019) Nota: I=Relave de Hierro, S=Escoria de Hierro, C=Cemento.

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó a los 7 y 28 días, expresado en la Tabla 26. Se realizaron 3 muestras por cada diseño, y se calculó un promedio de ellas, los valores graficados en la Figura 9, Figura 10, Figura 11 y Figura 12. Se hizo un recopilado de todos los valores a los 7 días en la Figura 13, y a los 28 días en la Figura 14.

Tabla 26.

Resistencia a la compresión 7 días y 28 días

Símbolo	Tiempo	N-1 (kg/cm ²)	N-2 (kg/cm ²)	N-3 (kg/cm ²)	Promedio
1. OC	7d	469	467	496	477
	28d	671	673	665	670
2. I _{0%} S _{20%} C	7d	477	534	495	502
	28d	677	700	725	701
3. I _{0%} S _{40%} C	7d	473	469	467	470
	28d	640	655	626	640
4. I _{0%} S _{60%} C	7d	489	485	489	488
	28d	659	665	583	636
5. I _{20%} SC	7d	445	460	455	453
	28d	596	644	636	625
6. I _{20%} S _{20%} C	7d	460	459	449	456
	28d	598	622	587	602
7. I _{20%} S _{40%} C	7d	478	471	475	475
	28d	675	628	651	651
8. I _{20%} S _{60%} C	7d	457	452	465	458
	28d	593	630	612	612
9. I _{40%} SC	7d	434	449	434	439
	28d	620	649	626	632
10. I _{40%} S _{20%} C	7d	459	455	463	459
	28d	636	624	614	625
11. I _{40%} S _{40%} C	7d	459	443	457	453
	28d	573	551	549	557
12. I _{40%} S _{60%} C	7d	396	398	434	409
	28d	587	540	561	563
13. I _{60%} SC	7d	477	487	465	477
	28d	624	612	563	600
14. I _{60%} S _{20%} C	7d	496	494	487	492
	28d	620	636	628	628
15. I _{60%} S _{40%} C	7d	473	449	479	467
	28d	569	591	622	594
16. I _{60%} S _{60%} C	7d	465	463	481	470
	28d	581	522	589	564

Fuente: (Chen et al., 2019) Nota: I=Relave de Hierro, S=Escoria de Hierro, C=Cemento.

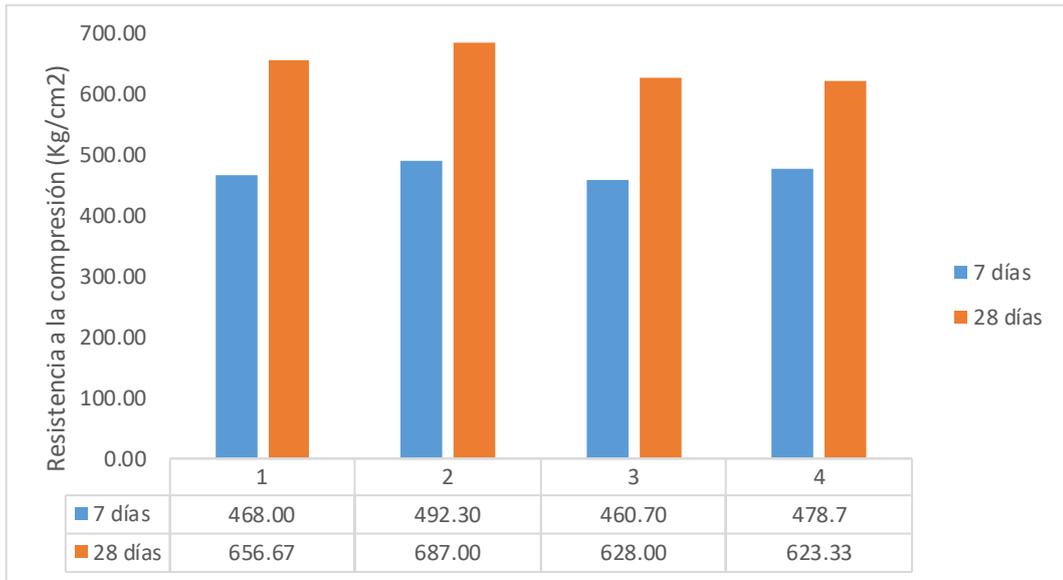


Figura 9. Compresión del concreto a los 7 y 28 días de la muestra 1, 2, 3 y 4.

Fuente: Elaboración propia.

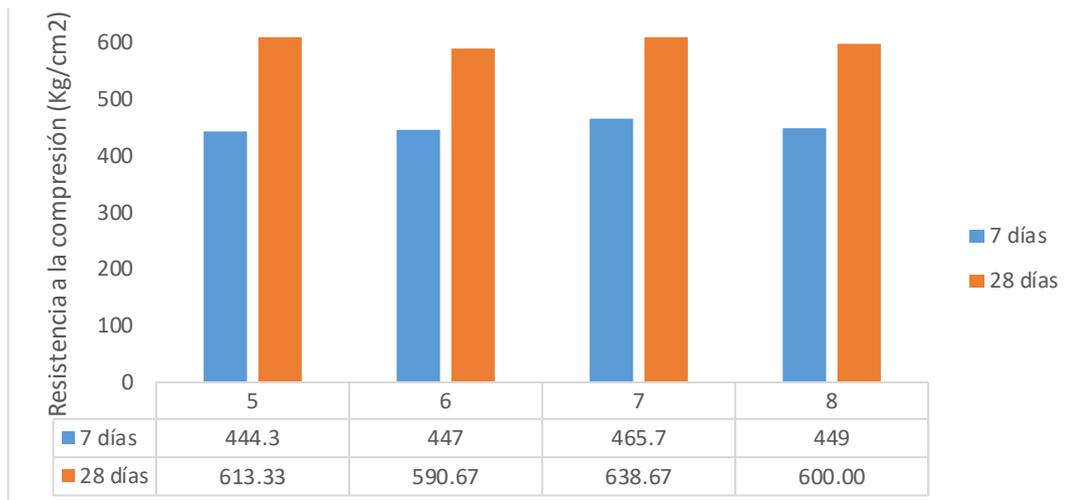


Figura 10. Compresión del concreto a los 7 y 28 días de la muestra 5, 6, 7 y 8.

Fuente: Elaboración propia.

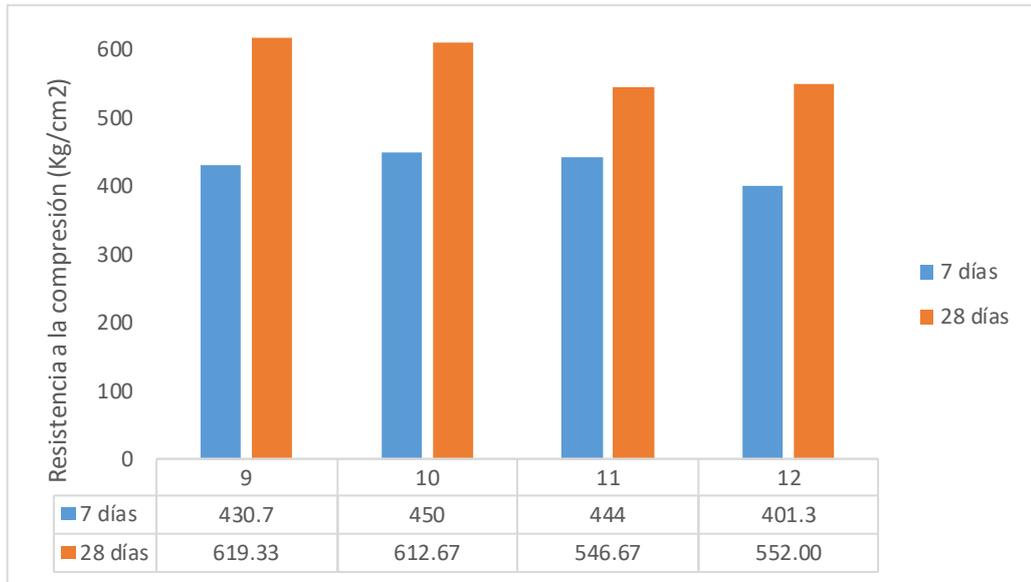


Figura 11. Compresión del concreto a los 7 y 28 días de la muestra 9, 10, 11 y 12.

Fuente: Elaboración propia.

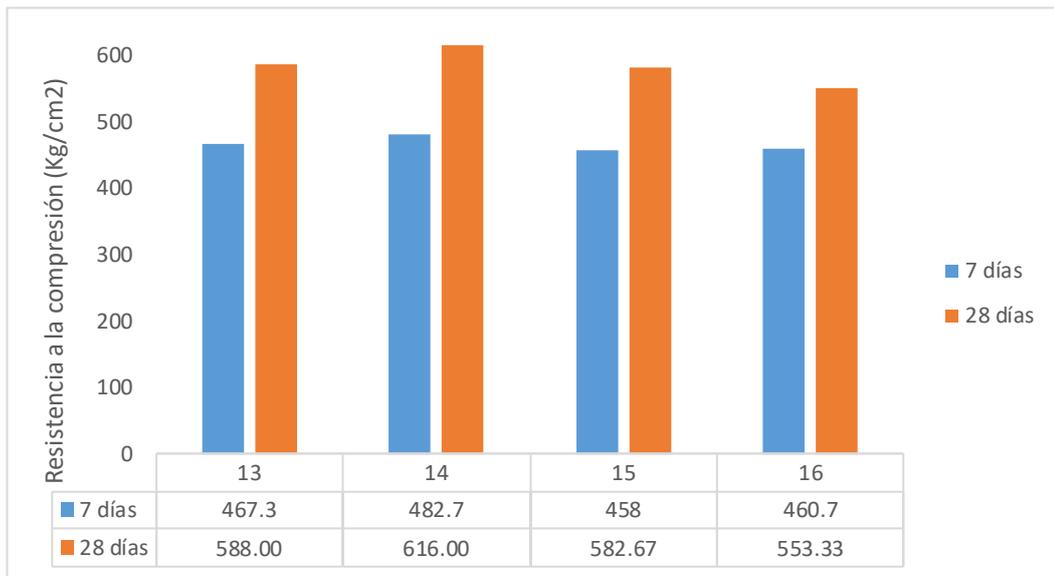


Figura 12. Compresión del concreto a los 7 y 28 días de las muestras 13, 14, 15 y 16.

Fuente: Elaboración propia.

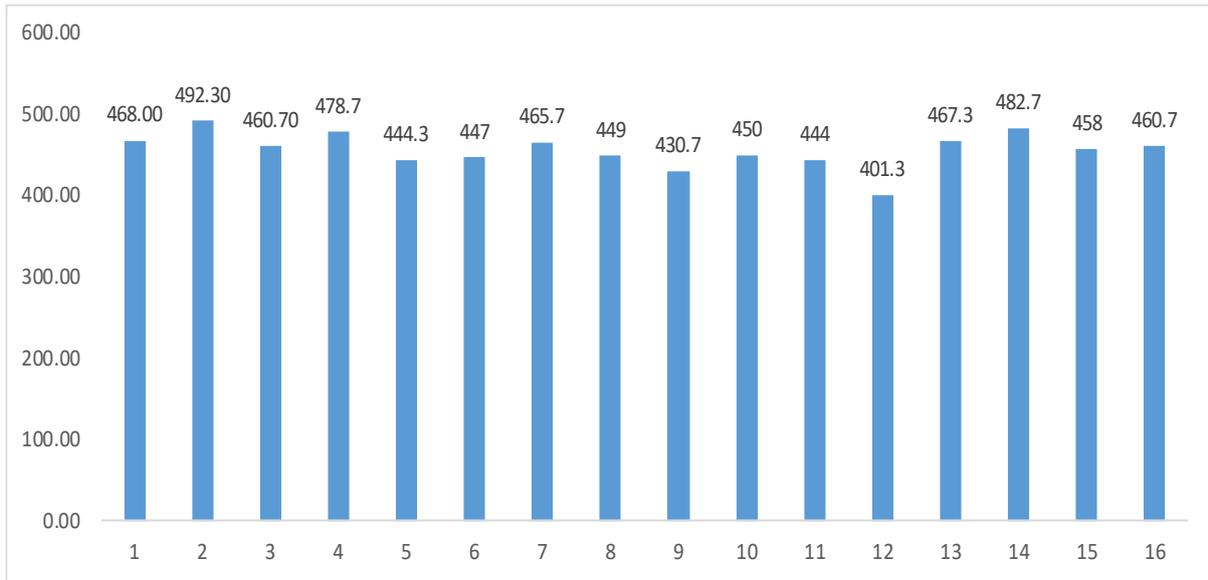


Figura 13. Compresión del concreto a los 7 días de todas las muestras.

Fuente: Elaboración propia.

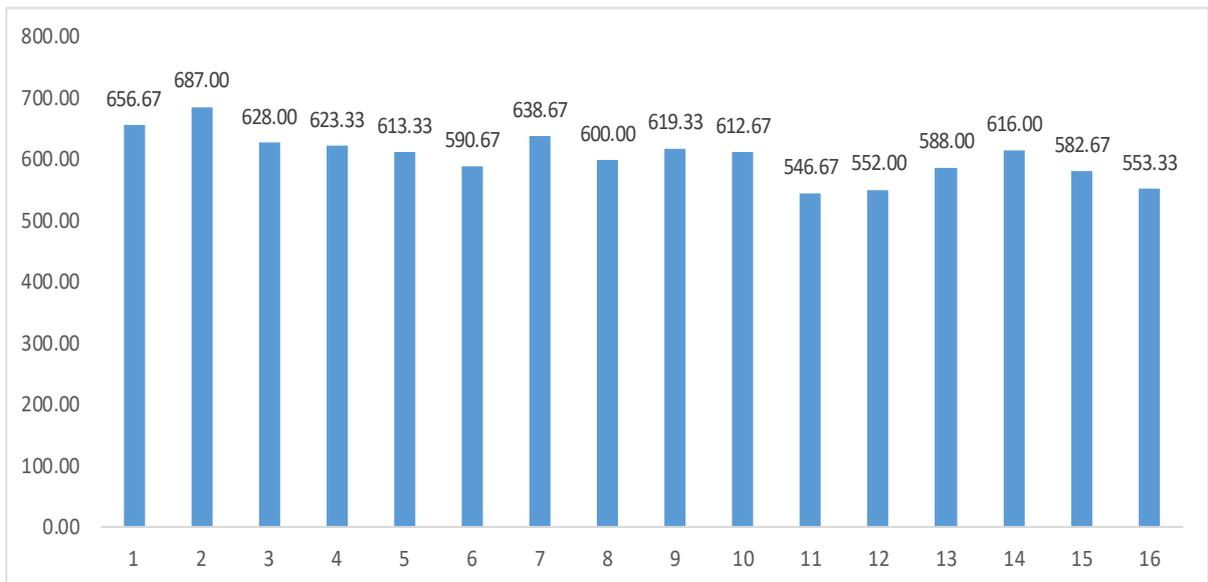


Figura 14. Compresión del concreto a los 28 días de todas las muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Investigación 2: “Preparations of composite concretes using iron ore tailings as fine aggregates and their mechanical behavior”.

Los autores realizaron un diseño de mezcla, teniendo un diseño patrón como control. En la Tabla 27, se muestra las cantidades usadas.

Tabla 27.

Diseño de mezcla de concreto

Prueba	Cemento (Gramos)	Ceniza Volante (Gramos)	Relave (Gramos)	NRS	CA	SP	A/C	Sp %
Patrón	367	53	0	672	1178	0.18	0.44	35.7
10 IOT	367	53	67.2	604.8	1178	0.18	0.44	35.7
20 IOT	367	53	134.4	537.6	1178	0.18	0.44	35.7
30 IOT	367	53	201.6	470.4	1178	0.18	0.44	35.7
40 IOT	367	53	268.8	403.2	1178	0.18	0.44	35.7
50 IOT	367	53	336	336	1178	0.18	0.44	35.7
60 IOT	367	53	403.2	268.8	1178	0.18	0.44	35.7

Fuente: (Jiang, Wang, Chen, Ruan, & Li, 2018)

Las cantidades de reemplazo fueron de 10, 20, 30, 40, 50 y 60% de relave de hierro respecto al agregado fino. La compresión fue hecha a los 3, 7, 28 y 90 días, expresado en la Tabla 28, y graficado en la Figura 15, Figura 16, Figura 17 y Figura 18.

Tabla 28.

Compresión del concreto a los 3, 7, 28 y 90 días (kg/cm²)

Prueba	3d	7d	28d	90d
Patrón	168	242	416	420
10 IOT	183	256	409	427
20 IOT	190	274	427	434
30 IOT	216	295	436	439
40 IOT	244	304	409	406
50 IOT	251	293	394	385
60 IOT	243	284	365	358

Fuente: (Jiang et al., 2018)

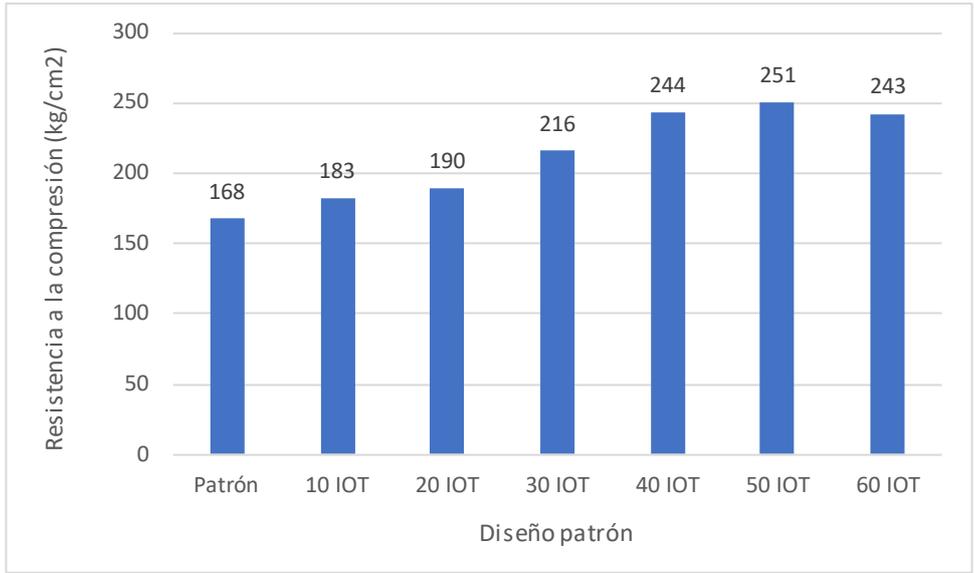


Figura 15. Compresión del concreto a los 3 días.

Fuente: Elaboración propia.

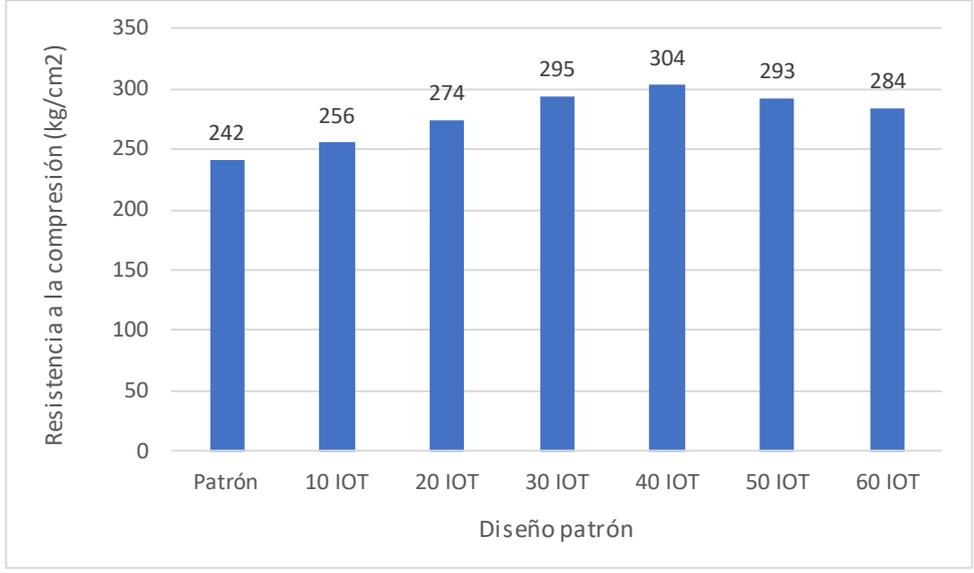


Figura 16. Compresión del concreto a los 7 días.

Fuente: Elaboración propia.

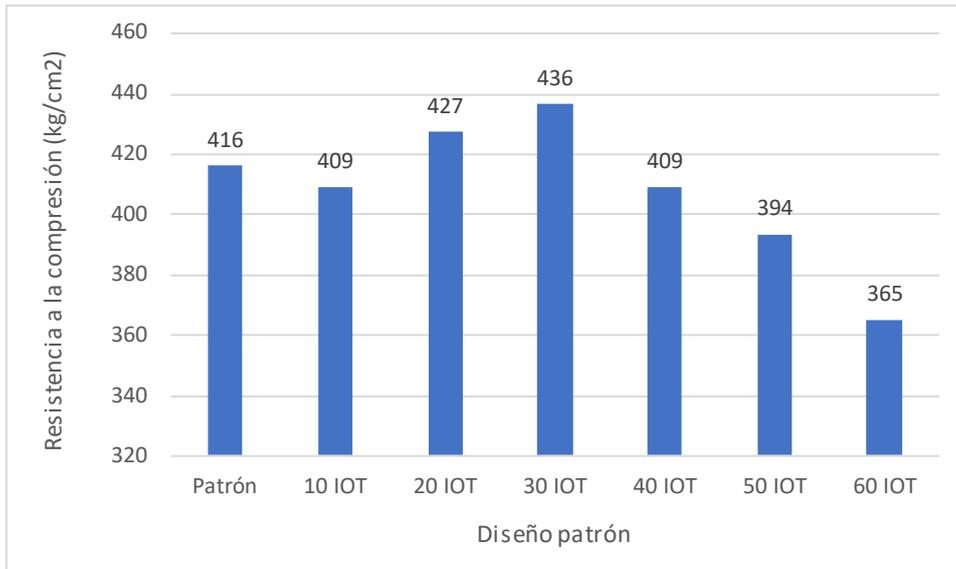


Figura 17. Compresión del concreto a los 28 días.

Fuente: Elaboración propia.

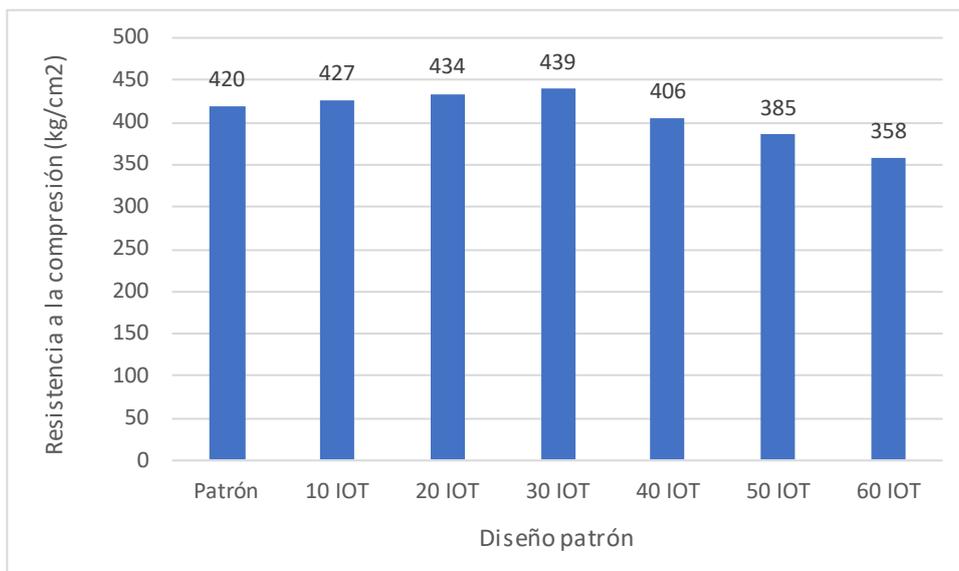


Figura 18. Compresión del concreto a los 90 días.

Fuente: Elaboración propia.

Investigación 3: “Effect of iron ore tailing and glass powder on concrete properties”.

Los autores realizaron 4 diseños de mezcla, donde variaron la proporción de uso de relave de hierro y polvo de vidrio. Tuvieron un diseño patrón para poder hacer una comparación, como lo muestra la tabla 29.

Tabla 29.

Diseño de mezcla de concreto

Grupo	Cemento (kg)	Polvo de vidrio (kg)	Agregado fino (kg)	Agregado grueso (kg)	Agua (kg)	Super plastificante	Porcentaje de relave de hierro %
Patrón	394	0	807.41	1156.28	157.6	7.88	0
Grupo 1	394	0	862.12	1156.28	157.6	7.88	30
Grupo 2	354.6	39.4	858.49	1151.4	157.6	7.88	30
Grupo 3	315.2	78.8	854.86	1146.53	157.6	7.88	30
Grupo 4	275.8	118.2	852.44	1143.28	157.6	7.88	30

Fuente: (Dhanabal & Sushmitha, 2021)

La compresión se realizó a los 7, 14 y 28 días. El reemplazo de relave de hierro fue de 30%, variando la proporción usada de polvo de vidrio. Los resultados se muestran en la Tabla 30, graficado en la Figura 19, Figura 20 y Figura 21.

Tabla 30.

Compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días (kg/cm²)

Grupo	7 días	14 días	28 días
Patrón	261	320	440
Grupo 1	382	418	510
Grupo 2	403	446	531
Grupo 3	316	367	479
Grupo 4	304	331	442

Fuente: (Dhanabal & Sushmitha, 2021)

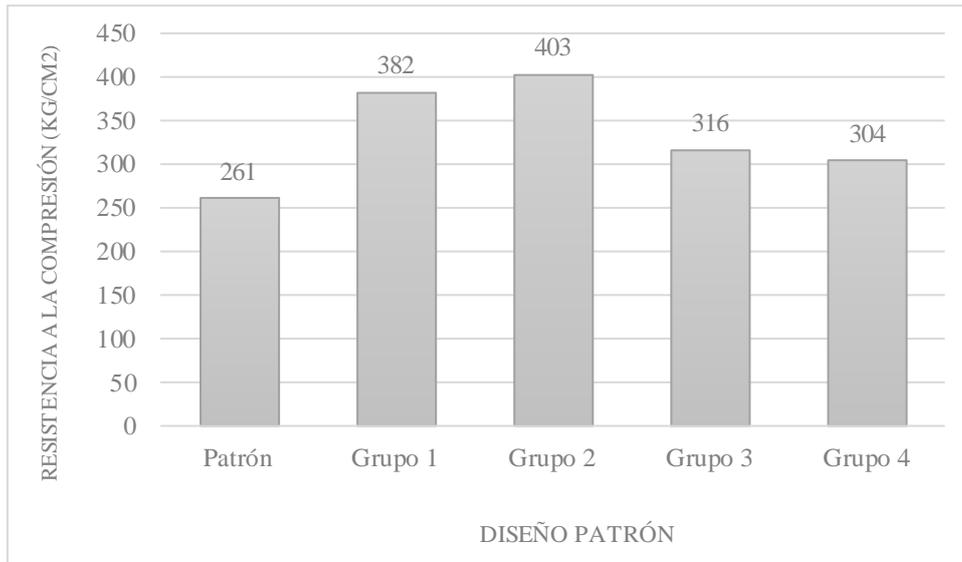


Figura 19. Compresión del concreto a los 7 días.

Fuente: Elaboración propia.

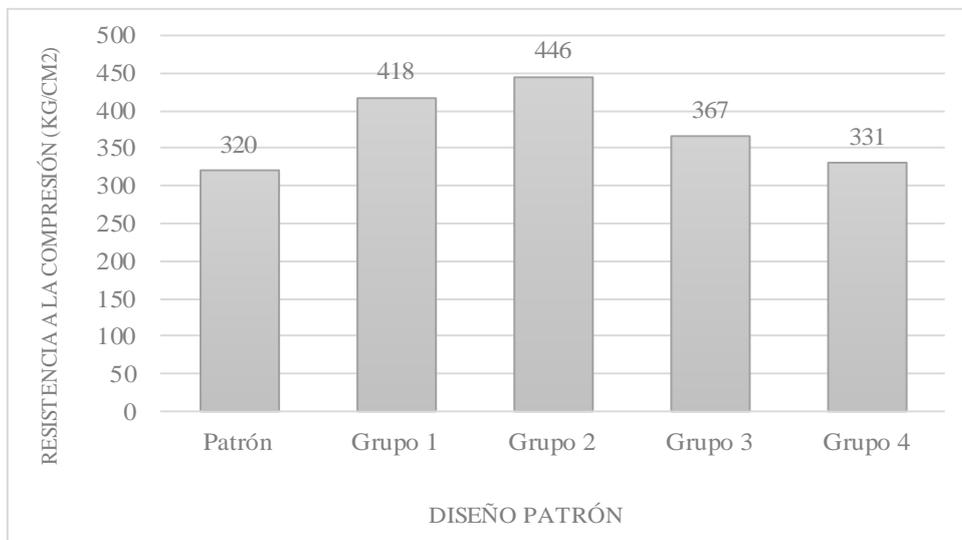


Figura 20. Compresión del concreto a los 14 días.

Fuente: Elaboración propia.

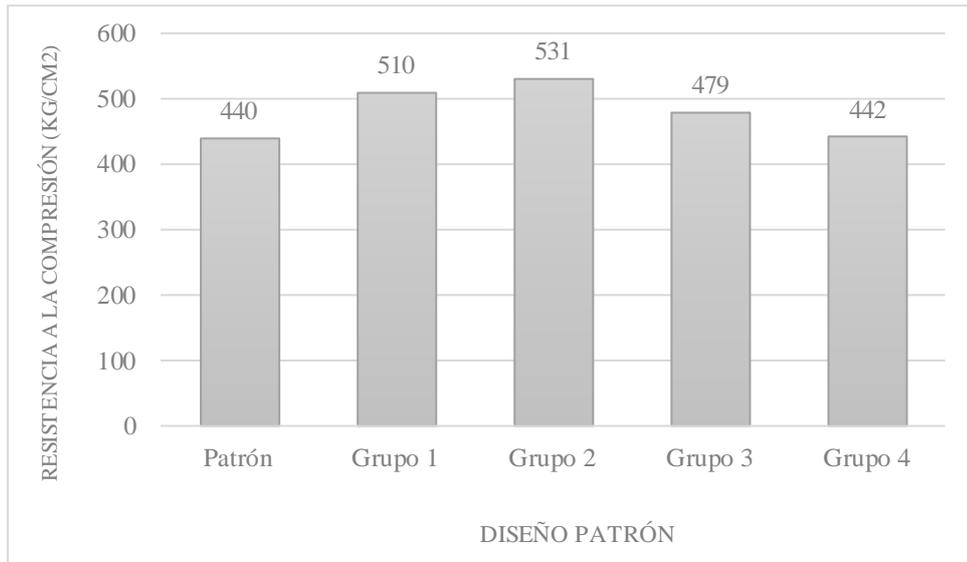


Figura 21. Compresión del concreto a los 28 días.

Fuente: Elaboración propia.

Investigación 4: Análisis de la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ aplicando relave minero, Huaraz 2021.

- a. **Tipo de cemento:** Se utilizó Cemento Portland Tipo I para el diseño de mezcla de los especímenes.
- b. **Agregado fino y grueso:** Extraídos de la cantera Río Santa Tacllan
- c. **Composición química el relave:** Se analizó la composición química del relave a través de un ensayo de laboratorio el cual dio por resultado los siguientes datos de la Tabla 31. Es importante conocer el contenido del relave para así determinar qué tipo de cemento se puede utilizar.

Tabla 31.

Composición química del relave

Contenido	Porcentaje (%)
Cuarzo (SiO ₂)	70.4
Pirita (FeS ₂)	4.45
Moscovita (K, Ca, Na) (Al, Mg, Fe) ₂	8.6
Clorita (Mg, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	3.8
Calcita (CO ₃ Ca)	1.72
Yeso	2.8
Diopsido (CaMg, Al) (Si, Al) ₂ O ₆) y Arsenopirita (FeAsS)	2.4

Fuente: (Fernández, Huerta, & León, 2021)

d. Método de ensayo: Se realizó la sustitución del agregado fino por relave minero en porcentajes de 0%, 6%, 12%, 25% y 50% para realizar el ensayo de compresión a los 7, 14 y 28 días. En la Tabla 32 se puede observar un resumen de las proporciones de materiales, en kilogramos, utilizadas para cada espécimen.

Tabla 32.

Resumen de diseño de mezcla del concreto para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

RESUMEN	$f'c$ (kg/cm ²)	Cemento (kg)	Agregado fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Agua (Litros)	Relave Minero (kg)
PATRON	210	8.25	19.88	15.08	4.57	-
	210 al 6%	8.25	18.68	15.08	4.57	1.19
F $f'c$ 210 kg/cm ²	210 al 12%	8.25	17.49	15.08	4.57	2.39
	210 al 25%	8.25	14.91	15.08	4.57	4.97
	210 al 50%	8.25	9.94	15.08	4.57	9.94

Fuente: (Fernández et al., 2021)

En la Tabla 33, se puede observar un resumen de los resultados, diseño patrón y con porcentajes de relaves, del ensayo de compresión para los días 7, 14 y 28. Adicional, se puede observar en la Figura 22, una comparación de los resultados.

Tabla 33.

Resumen de resultados de resistencia a la compresión

Edad	RM 0% f'c (kg/cm2)	RM 6% f'c (kg/cm2)	RM 12% f'c (kg/cm2)	RM 25% f'c (kg/cm2)	RM 50% f'c (kg/cm2)
7 días	152	159	160	151	147
14 días	193	201	207	190	185
28 días	231	242	249	218	202

Fuente: (Fernández et al., 2021)

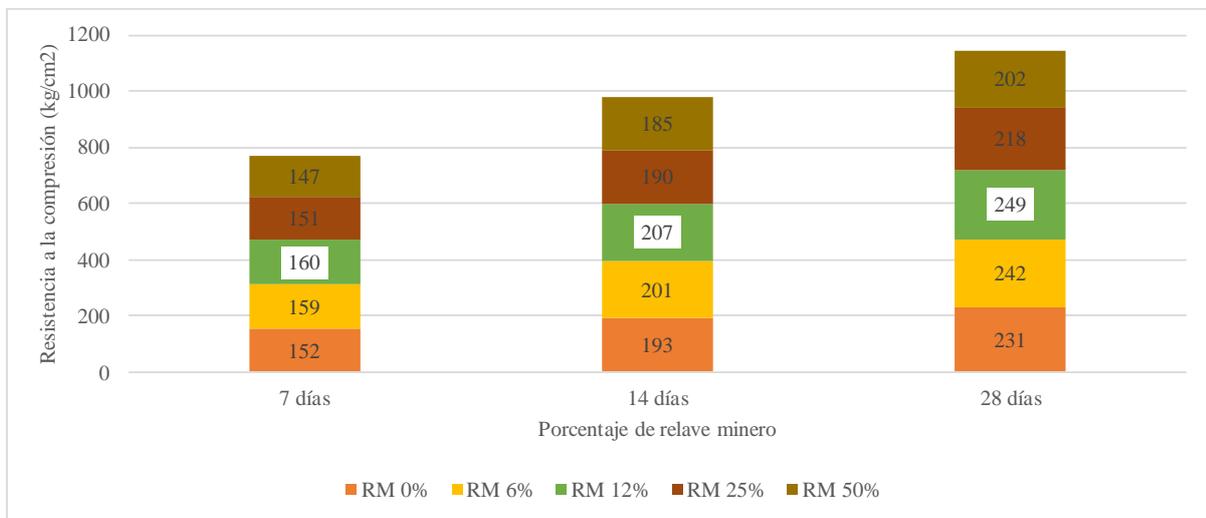


Figura 22. Resultados de resistencia a la compresión f'c 210 kg/cm2

Fuente: (Fernández et al., 2021)

Para el objetivo 2 se realizó la comparación de los autores en la Tabla 34.

Tabla 34.

Comparación de autores para objetivo 2.

Autor	Diseño patrón (kg/cm2)	Porcentaje ideal (%)	Resistencia a la compresión debido al porcentaje ideal (Kg/cm2)
(Jiajia, 2019)	670	20	690
(Jiang, 2019)	416	30	436
(Dhanabal, 2021)	258	30	530
(Huerta y Miguel, 2021)	231	12	249

Fuente: Elaboración propia

Analizando el porcentaje óptimo de relave de mina de oro como sustituto del agregado fino para aumentar la resistencia a la tracción.

Investigación 1: Use of Gold Mine Tailings in production of concrete a feasibility study

Método de ensayo: Se realizó ensayo de tracción destructivos y se prepararon los especímenes según la normativa india IS: 516-1989 para los 7, 14 y 28 días. Los especímenes con los que se trabajaron fueron: Diseño Patrón (0% de relave), 10%, 20%, 30% y 100% de relave como sustituto del agregado fino, se pueden observar los resultados en la Tabla 35 y una comparación entre ellos en la Figura 23.

Tabla 35.

Resultados de ensayo de resistencia a la tracción

Porcentaje de relave (%)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
Diseño Patrón	40	48	51
100%	17	21	29
10%	35	52	58
20%	46	57	61
30%	31	40	46

Fuente: (Ramalinga, Sindhu, & Vignesh, 2015)

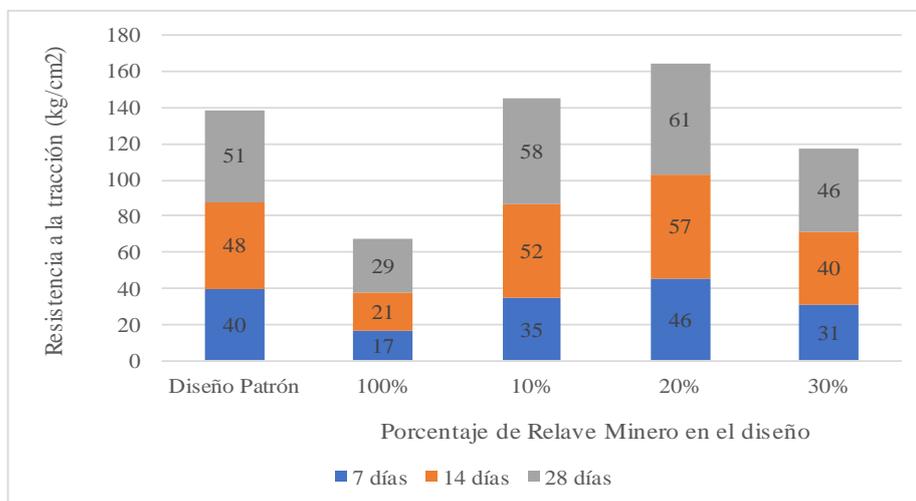


Figura 23. Resultados de resistencia a la tracción

Fuente: (Ramalinga et al., 2015)

Investigación 2: Partial Replacement of fine aggregates using gold mine tailings

Método de ensayo: Se realizó un ensayo de tracción destructivo y se prepararon los especímenes según la norma india IS:516-1989. En la Tabla 36, se puede observar los

resultados del ensayo por cada espécimen trabajado y en la Figura 24 se puede observar una comparación entre ellos.

Tabla 36.

Resultados del ensayo de tracción a los 28 días.

Porcentaje de Reemplazo (%)	Resistencia a la tracción (N/mm ²)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)
Patrón	5	56
5	6	60
10	7	67
15	6	66
20	5	54
25	6	57

Fuente: (Prajwal, Ranjith, Sagar M, & Shivaraja, 2019)

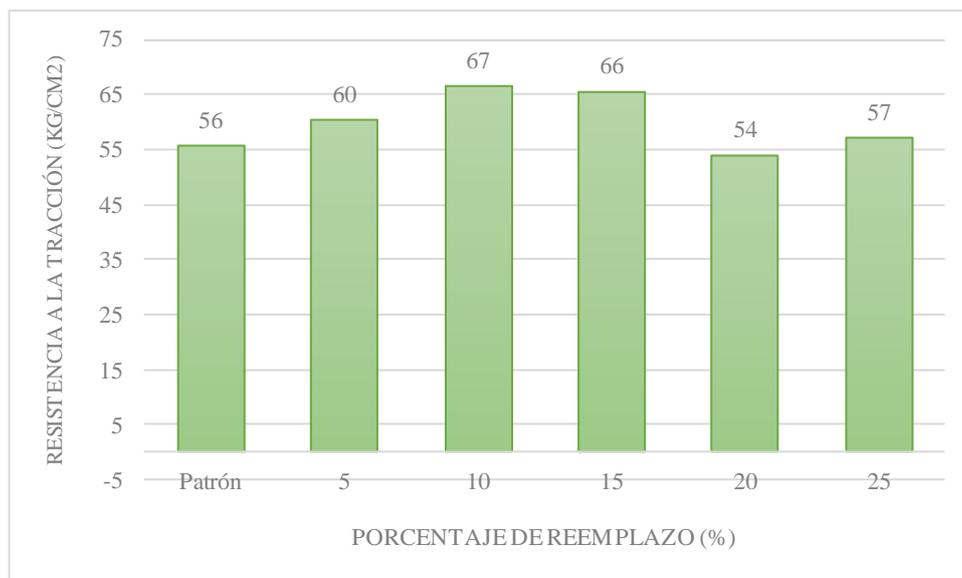


Figura 24. Comparación de resultados de resistencia a la tracción a los 28 días

Fuente: (Prajwal et al., 2019)

Para el objetivo 3 se realizó la comparación de los resultados de los diversos autores en la Tabla 37.

Tabla 37.

Comparación de autores para objetivo 3

Autor	Diseño patrón (kg/cm ²)	Porcentaje ideal (%)	Resistencia a la tracción debido al porcentaje ideal (Kg/cm ²)
(Ramalinga et al, 2022)	51	20	61
(Prajwal et al, 2019)	56	10	67

Fuente: Elaboración propia

Analizando el porcentaje óptimo de relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino para aumentar la resistencia a la tracción.

Investigación 1: “Preparations of composite concretes using iron ore tailings as fine aggregates and their mechanical behavior”.

El diseño de mezcla se mostró en la Tabla 38, realizando así su ensayo de tracción, como lo muestra la Tabla 39, graficado en la Figura 25.

Tabla 38.

Diseño de mezcla de concreto

Prueba	Cemento	Ceniza Volante	Relave	NRS	CA	SP	A/C	Sp%
Patrón	367	53	0	672	1178	0.18	0.44	35.7
10 IOT	367	53	67.2	604.8	1178	0.18	0.44	35.7
20 IOT	367	53	134.4	537.6	1178	0.18	0.44	35.7
30 IOT	367	53	201.6	470.4	1178	0.18	0.44	35.7
40 IOT	367	53	268.8	403.2	1178	0.18	0.44	35.7
50 IOT	367	53	336	336	1178	0.18	0.44	35.7
60 IOT	367	53	403.2	268.8	1178	0.18	0.44	35.7

Fuente: (Jiang et al., 2018)

Tabla 39.

Resistencia a la tracción del concreto

Prueba	Tracción kg/cm ²
Patrón	39
10 IOT	43
20 IOT	52
30 IOT	68
40 IOT	64
50 IOT	46
60 IOT	38

Fuente: (Jiang et al., 2018)

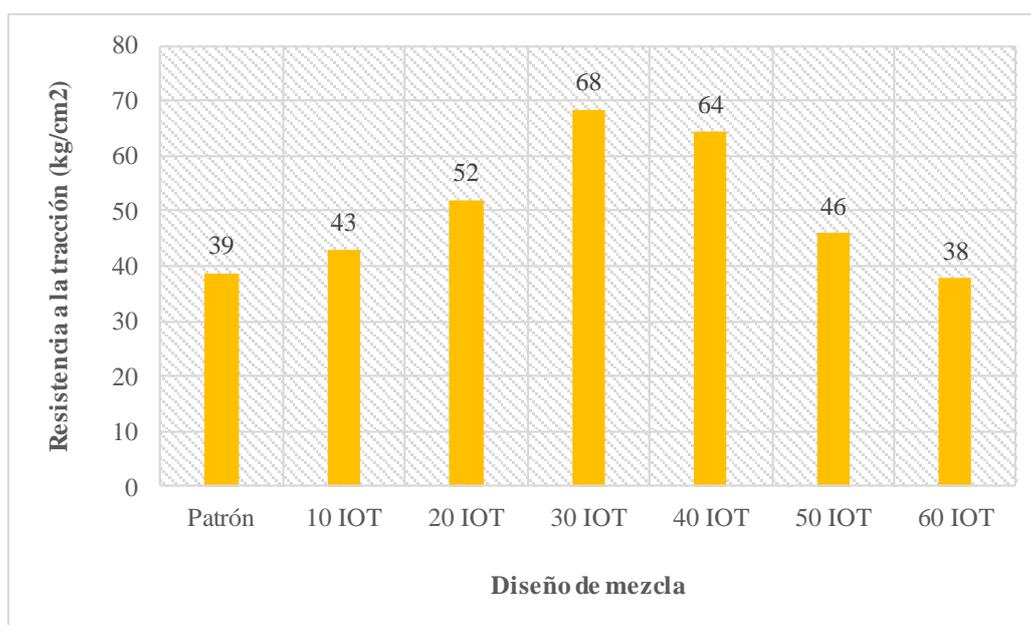


Figura 25. Tracción del concreto.

Fuente: Elaboración propia.

Investigación 2: “Effect of iron ore tailing and glass powder on concrete properties”.

El diseño de mezcla se mostró en la Tabla 40, realizando así su ensayo de tracción, como lo muestra la Tabla 41, graficado en la Figura 26.

Tabla 40.

Diseño de mezcla de concreto

Grupo	Cemento	Polvo de vidrio	Agregado fino	Agregado grueso	Agua	Super plastificante	Porcentaje de escoria de acero
Patrón	394	0	807.41	1156.28	157.6	7.88	0
Grupo 1	394	0	862.12	1156.28	157.6	7.88	30
Grupo 2	354.6	39.4	858.49	1151.4	157.6	7.88	30
Grupo 3	315.2	78.8	854.86	1146.53	157.6	7.88	30
Grupo 4	275.8	118.2	852.44	1143.28	157.6	7.88	30

Fuente: (Dhanabal & Sushmitha, 2021)

Tabla 41.

Tracción del concreto

Grupo	Tracción (kg/cm ²)
Patrón	38
Grupo 1	49
Grupo 2	51
Grupo 3	47
Grupo 4	45

Fuente: (Dhanabal & Sushmitha, 2021)

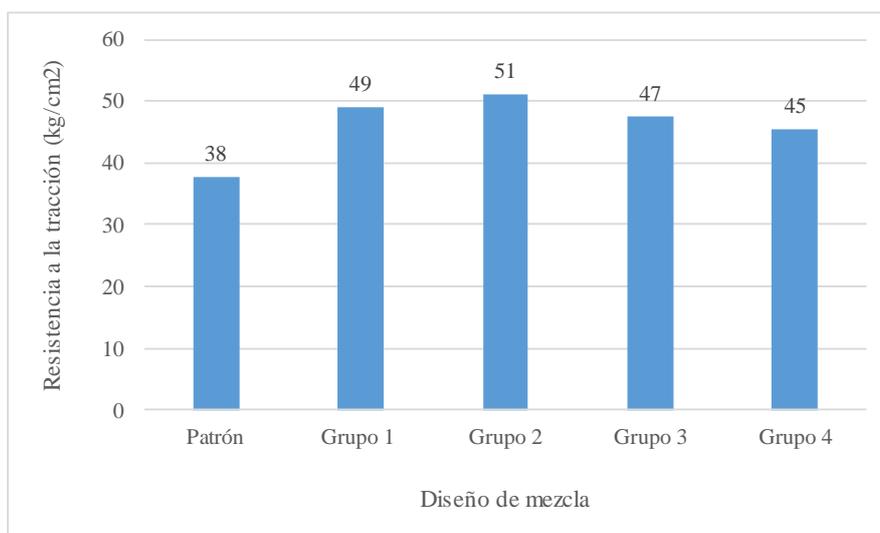


Figura 26. Flexión del concreto.

Fuente: Elaboración propia.

Para el objetivo 4, se realizó la comparación de los resultados de los autores en la tabla 42.

Tabla 42.

Comparación de autores para objetivo 4.

Autor	Diseño patrón (kg/cm ²)	Porcentaje ideal (%)	Resistencia a la tracción debido al porcentaje ideal (Kg/cm ²)
(Jiang et. al, 2019)	39	30%	68
(Dhanabal et. Al, 2021)	38	30%	51

Fuente: Elaboración propia

Analizando el porcentaje óptimo de relave de mina de oro como sustituto del agregado fino para mejorar la trabajabilidad y fluidez del concreto.

Investigación 1: Adición del relave minero para mejorar las propiedades del concreto $f'c=210$, $f'c=175$ para edificaciones en la Rinconada – Puno – 2021

Método de ensayo: Se realizó el ensayo de asentamiento del concreto según la NTP 339.035 y la norma ASTM C 143. Los resultados se pueden observar en la Tabla 43 y se realizó una comparación de los resultados en la Figura 27.

Tabla 43.

Resultados de ensayo de asentamiento para $f'c=175$ y $f'c= 210$ kg/cm²

Adición de relave minero (%)	Asentamiento (Pulg) $f'c=175$ kg/cm ²	Asentamiento (Pulg) $f'c=210$ kg/cm ²
Concreto Patrón	3.95	4
5%	4	4
10%	3.9	3.8
15%	3.6	3.5

Fuente. (Cruz & Supo, 2022)

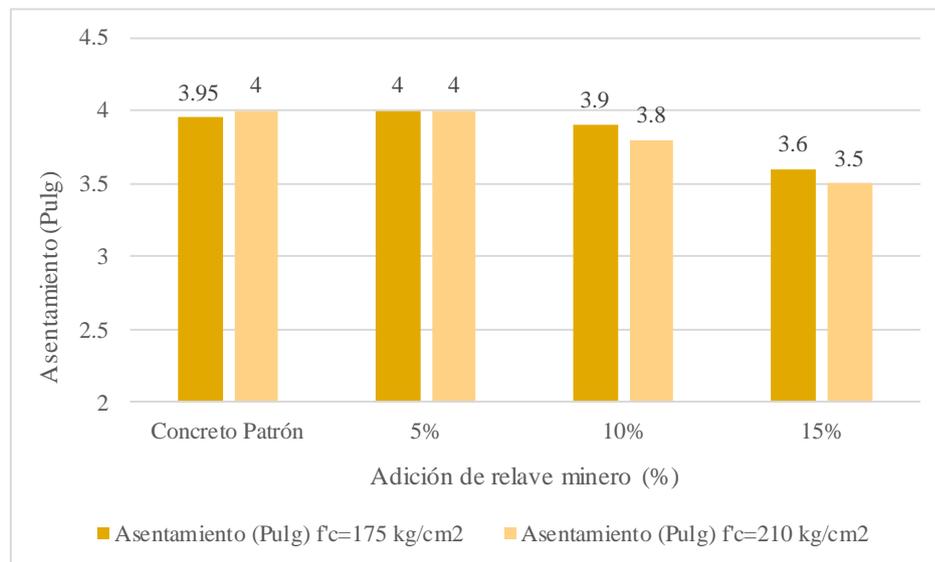


Figura 27. Resultados de ensayo de asentamiento del concreto

Fuente: (Cruz & Supo, 2022)

Investigación 2: Partial Replacement of fine aggregate using gold mine tailings

Método de ensayo: Se realizó el ensayo de asentamiento del concreto según la norma india IS 7320 (1974), los resultados se pueden observar en la Tabla 44 para los especímenes con los que se trabajó. En la Figura 28, se puede observar una comparación de los resultados.

Tabla 44.

Resultados de ensayo de asentamiento del concreto

Porcentaje de reemplazo de relave minero (%)	Asentamiento (mm)	Asentamiento (pulg)
0	50	1.97
5	45	1.77
10	45	1.77
15	40	1.57
20	35	1.38
25	35	1.38

Fuente: (Prajwal et al., 2019)

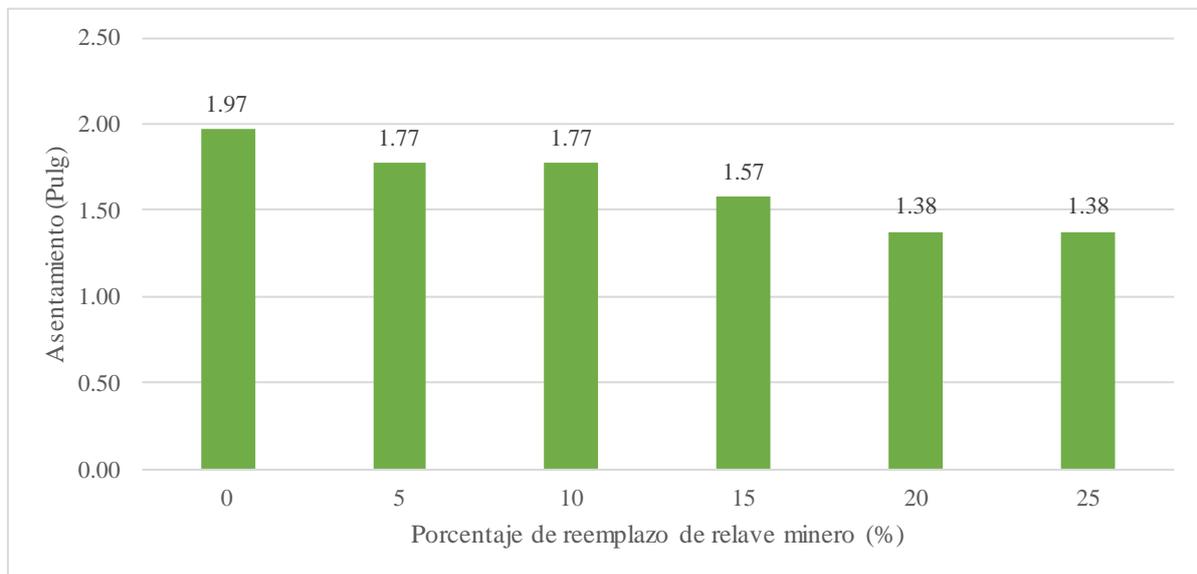


Figura 28. Resultados de ensayo de asentamiento del concreto

Fuente: (Prajwal et al., 2019)

Investigación 3: Effect of Workability of concrete due to partial replacement of natural sand in gold mine tailings.

Método de ensayo: Se realizó el ensayo de asentamiento del concreto según la normativa india IS 7320 (1974), los resultados se pueden observar en la Tabla 45. Además, se realizó una comparación de los resultados en la Figura 29.

Tabla 45.

Resultados del ensayo de asentamiento del concreto

Adición de relave minero (%)	Asentamiento (mm)	Asentamiento (pulg)	Factor de compactación
Concreto Patrón	84.33	3.32	0.91
100%	16.33	0.64	0.77
10%	63.60	2.50	0.91
20%	44.33	1.75	0.85
30%	22.60	0.89	0.77

Fuente: (Parthasarathi, Ramalinga, & Satyanarayanan, 2016)

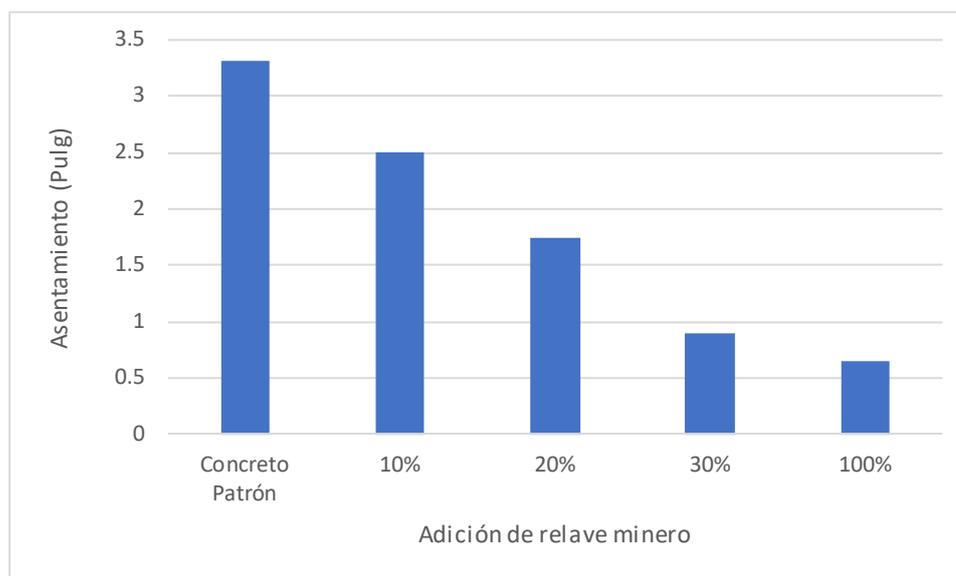


Figura 29. Comparación de resultados de ensayo de asentamiento del concreto.

Fuente: (Parthasarathi et al., 2016)

Para el objetivo 5, se realizó la comparación de resultados para los autores trabajados en la tabla 46.

Tabla 46.

Comparación de autores para objetivo 5

Autor	Diseño patrón (Pulg)	Porcentaje ideal (%)	Asentamiento del porcentaje ideal (Pulg)
(Cruz y Supo $f'c=175$ kg/cm ² , 2022)	4	5	4
(Cruz y Supo $f'c= 210$ kg/cm ² , 2022)	4	5	4
(Prajwal et al., 2019)	2	10	1.77
(Parthasarathi, Ramalinga, & Satyanarayanan, 2016)	3.32	10	2.5

Fuente: Elaboración propia

Analizando el porcentaje óptimo de relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar la trabajabilidad y fluidez del concreto.

Investigación 1: “Effect of iron ore tailing and glass powder on concrete properties”.

Los resultados del ensayo de Slump lo muestra la tabla 47, graficado en la Figura 30.

Tabla 47.

Ensayo de Slump

Grupo	Asentamiento (Pulg)
Patrón	1.77
Grupo 1	1.69
Grupo 2	1.61
Grupo 3	1.54
Grupo 4	1.50

Fuente: (Dhanabal & Sushmitha, 2021)

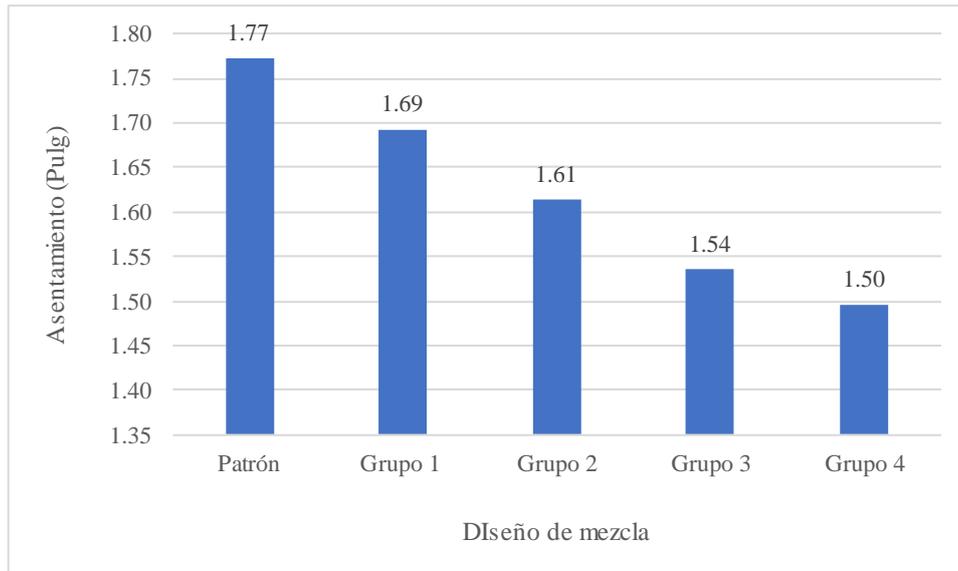


Figura 30. Asentamiento del concreto fresco en prueba de slump.

Fuente: Elaboración propia.

Investigación 2: “Comparison of the effect old steel slag usage as a fine aggregate against compressive strength and flexure on reinforced concrete with normal concrete”.

Los autores analizaron los elementos químicos contenidos en el relave de hierro utilizado, dando sus proporciones en la Tabla 48.

Tabla 48.

Elementos químicos contenidos en el relave de hierro

Elemento	Unidad	Resultado	Metodología
Lead (Pb)	Mg/kg	26.6	AAS
Cadmian (Cd)	Mg/kg	<0,003	AAS
Copper (Cu)	Mg/kg	97.5	AAS
Cromio (Cr)	Mg/kg	5353	AAS
Plata (Ag)	Mg/kg	<0.001	AAS
Selenium (Se)	Mg/kg	<001	AAS
Bario (Ba)	Mg/kg	817	AAS
Mercurio (Hg)	Mg/kg	0.38	AAS
Arsénico (As)	Mg/kg	0.21	AAS

(Karolina & Gaol, 2020)

El ensayo de Slump se hizo con un reemplazo del 0, 15 y 25% de relave de hierro correspondiente al agregado fino, sus resultados agrupados en la Tabla 49, graficado en la Figura 31.

Tabla 49.

Ensayo de Slump

Grupo	Asentamiento (Pulg)
R0%	4.72
R15%	4.33
R25%	3.94

Fuente: (Karolina & Gaol, 2020)

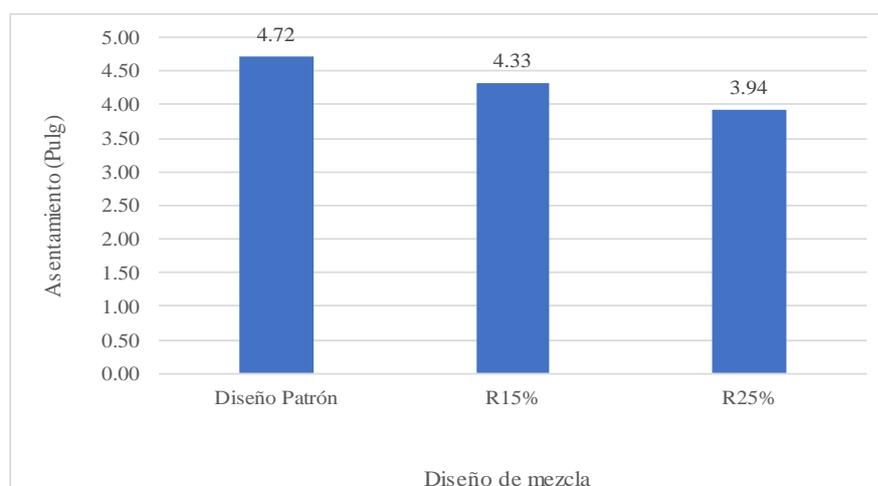


Figura 31. Asentamiento del concreto fresco en prueba de slump.

Fuente: Elaboración propia.

Investigación 3: “Reutilización de residuos de hierro como sustitución parcial de la arena en el hormigón”.

Los autores clasificaron la composición química del relave de hierro según sus dos mayores compuestos, mostrado en la tabla 50.

Tabla 50.

Composición química de los residuos de hierro

Compuestos	% (en peso)	Método de prueba
Fe ₂ O ₃	93.14	Titulación con dicromato de potasio usando difenilamina como indicador
Al ₂ O ₃	<0.03	Analizador de color automático

Fuente: (Zainab Z. & Enas A., 2007)

De igual forma, tabularon las propiedades físicas del hierro residual, según se muestra en la tabla 51.

Tabla 51.

Propiedades físicas del hierro residual

Propiedades	Límites
Módulo de finura	2.65
Gravedad específica	4.5
Densidad	1946.7
Color	Negro-gris

Fuente: (Zainab Z. & Enas A., 2007)

Para realizar el ensayo de asentamiento, se realizó un modelo control, y un reemplazo del 10%, 15% y 20% de relave de hierro, mostrado en la Tabla 52 y Figura 32.

Tabla 52.

Ensayo de Slump

Grupo	Asentamiento Pulg
R0%	2.95
R10%	2.85
R15%	2.83
R20%	2.72

Fuente: (Zainab Z. & Enas A., 2007)

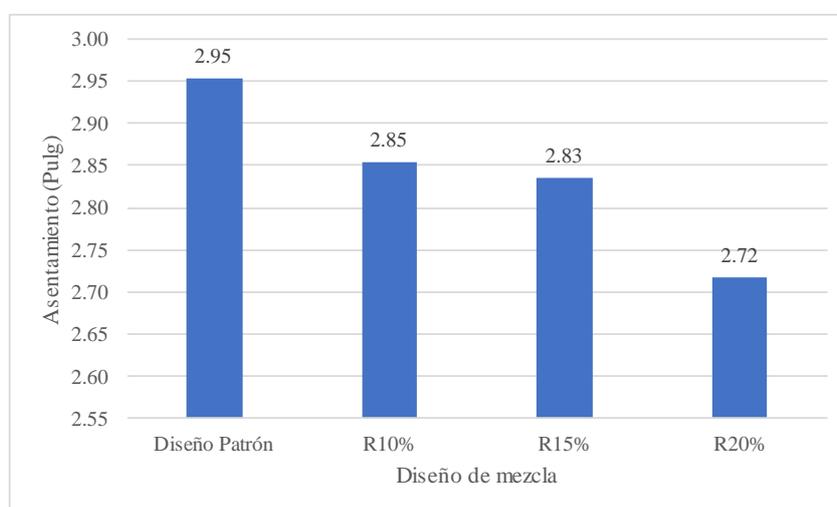


Figura 32. Asentamiento del concreto fresco en prueba de slump.

Fuente: Elaboración propia.

Investigación 4: Análisis de la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ aplicando relave minero, Huaraz 2021.

Método de ensayo: Se realizó la medición del asentamiento según la NTP 339.035 y la ASTM C143 con el cono de Abrams. En la Tabla 53 se puede observar los resultados de asentamiento

de los especímenes trabajados para una resistencia de 210 kg/cm². En la figura 33 se puede observar una comparación entre los especímenes con relave respecto al diseño patrón.

Tabla 53.

Asentamiento del Concreto (Pulg.) - 210 kg/cm²

Resistencia a la compresión	Concreto con relave	Asentamiento (Pulg.)	Propiedad
210 kg/cm ²	0% RM	3.32	Plástica
	6% RM	2.25	Seca
	12% RM	1.57	Seca
	25% RM	1.25	Seca
	50% RM	0.60	Seca

Fuente: (Huerta & Roldan, 2021)

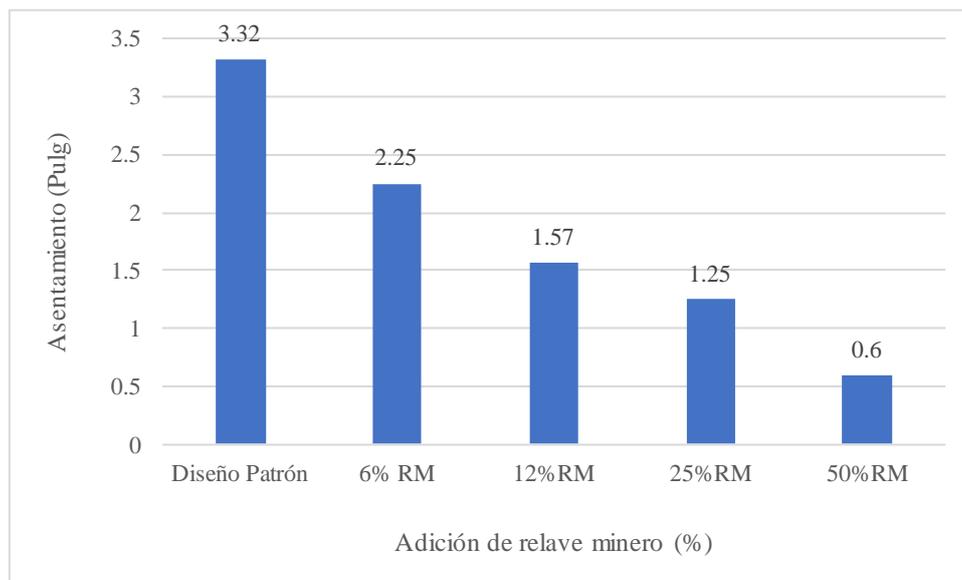


Figura 33. Resultados de asentamiento del concreto

Fuente: (Huerta & Roldan, 2021)

Para el objetivo 6, se realizó la comparación de los resultados de los autores trabajados en la Tabla 54.

Tabla 54.

Comparación de autores para objetivo 6

Autor	Diseño patrón (Pulg)	Porcentaje ideal (%)	Asentamiento del porcentaje ideal (Pulg)
(Dhanabal et. Al, 2021)	2	30	2
(Carolina et. Al, 2021)	4 5/7	15	4 1/3
(Zainab et. Al, 2007)	3	10	3
(Huerta y Miguel, 2021)	3.32	12	1.57

Fuente: Elaboración propia

5.2. Análisis y contrastación de hipótesis según resultados

Determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto del agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto.

Para poder considerar un porcentaje óptimo de relave de oro como sustituto del agregado fino, se consultaron informes de diversos investigadores, así como artículos y tesis. En base a ello, se planteó dos posibles hipótesis alternas.

H0: Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto del agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto.

H1: Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto del agregado fino disminuye la resistencia a la compresión del concreto.

Observaciones:

El primer investigador consultado (Ramalinga Reddy et al., 2016) realizó un ensayo de resistencia a la compresión con proporciones de relave en el diseño de mezcla: 0% (Diseño patrón), 10%, 20%, 30% y 100%. En la tabla 14, se indican los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, siendo para el diseño patrón: A los 7 días (309 kg/cm²), a los 28 días (405 kg/cm²) y a los 56 días (489 kg/cm²); para 10% de reemplazo dando los resultados ya que a partir de 20% los resultados tienden a disminuir. Con 10%: A los 7 días (297 kg/cm²), a los 28 días (415 kg/cm²) y a los 56 días (526 kg/cm²). Se puede analizar según los resultados mencionados que la arena reconstituida con un 10% de residuos de mina de oro a los 56 días tiende a aumentar un 52%.

El segundo investigador consultado (Suarez, 2022) realizó un ensayo de resistencia a la compresión utilizando grava de diversos tamaños (1", 3/4", 1/2", 3/8" y 4"). Para el diseño de mezcla con proporciones de relave se trabajaron con 5, 15 y 25 por ciento. En la tabla 15, se puede observar que los resultados de los ensayos a compresión de las muestras con relave, el

que supera la resistencia del concreto patrón es 15%. Teniendo como resultados para el concreto patrón: A 1 día (187 kg/cm²), a los 3 días (234 kg/cm²), a los 7 días (264 kg/cm²), a los 14 días (311 kg/cm²) y a los 28 días (405 kg/cm²); para 15%: A 1 día (181 kg/cm²), a los 3 días (266 kg/cm²), a los 7 días (282 kg/cm²), a los 14 días (304 kg/cm²) y a los 28 días (423 kg/cm²). Se puede analizar según los resultados mencionados que la resistencia a la compresión con 15% de sustitución de agregado fino por relave minero tiende a aumentar un 5%.

El tercer investigador consultado (Condori, 2018) realizó un ensayo con especímenes cilíndricos reemplazando el agregado fino con relave minero en porcentajes de 0, 25, 50, 75 y 100%. Se realizó el ensayo en los días 7, 14 y 28 días de las cuales se pudo observar que, con respecto al concreto patrón, los resultados de los especímenes con relave de 25% de sustitución tiende a tener valores más altos. Teniendo como resultados para concreto patrón: A los 7 días (160 kg/cm²), a los 14 días (173 kg/cm²) y a los 28 días (222 kg/cm²); para 25%: A los 7 días (153 kg/cm²), a los 14 días (165 kg/cm²) y a los 28 días (220 kg/cm²). Se puede analizar según los resultados mencionados que la resistencia a la compresión con 25% tiende a disminuir.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis H₀ según la comparación realizada en la Figura 34.

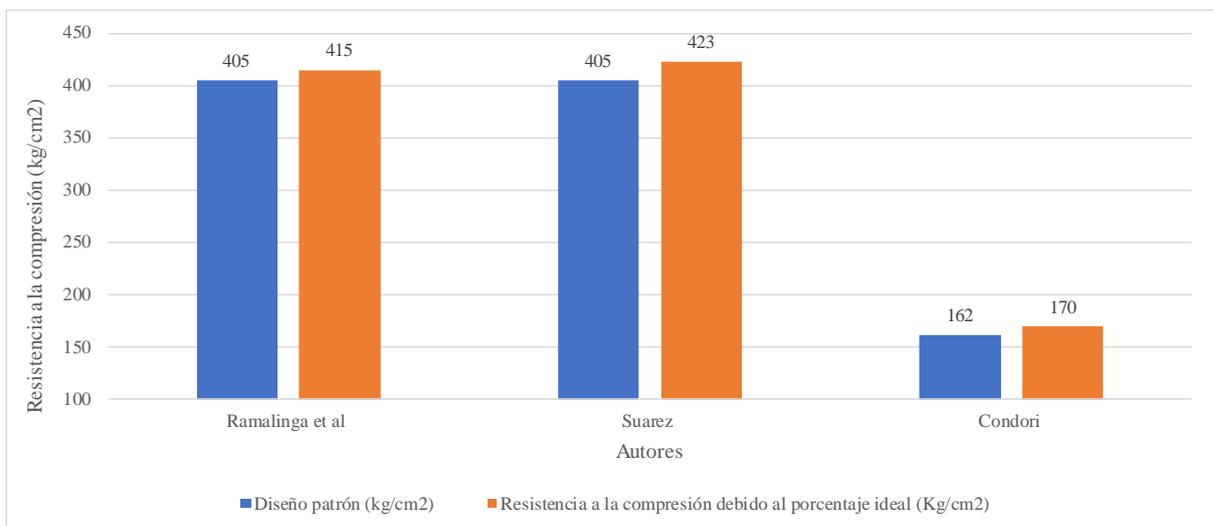


Figura 34. Comparación de autores de objetivo 1.

Fuente: Elaboración propia

Determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto.

Para poder considerar un porcentaje óptimo de relave de hierro como sustituto del agregado fino, se consultaron informes de diversos investigadores, así como artículos y tesis. En base a ello, se planteó dos posibles hipótesis alternas.

H0: Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto.

H1: Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino disminuye la resistencia a la compresión del concreto.

El primer investigador consultado (Chen, Gao, Jin, & Zou, 2019) realizó un total de 16 muestras, donde estuvo variando la proporción de relave de hierro y escoria de hierro. La resistencia a la compresión se desarrolla en los días 7 y 28, donde en el día 7, los resultados con valores óptimos fueron los del grupo 2 (I0%S20% 49,23 MPa) y grupo 14 (I60%S20% 48,27 MPa). Estos valores no logran mantenerse estables para el día 28, siendo que el grupo 14 pasa de ser el segundo con mayor valor, al séptimo (61, 60 MPa). Los resultados del 28 día demuestran que los diseños óptimos son aquellos que contienen un valor bajo de reemplazo de relave de hierro, y un valor bajo de escoria de hierro, siendo los grupos 2, 1 y 7, en respectivo orden, los que obtuvieron resultados más altos (68,70 MPa; 65,67 MPa; 63,87 MPa).

El segundo investigador consultado (Chen et al., 2018) hizo un total de 6 diseños distintos de concreto, con una variación de 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60% de relave de hierro, y un diseño patrón para poder hacer una comparación como se muestra en la Tabla 27. Se hizo un ensayo de compresión a los 3, 7, 28 y 90 días. Los resultados en el día 3 muestran un diseño de mezcla óptimo con un reemplazo de 50% IOT (24.6 MPa), señalado en la Figura 15. Con los ensayos posteriores, este resultado cambia, teniendo en los días 28 y 90, el diseño de 30% IOT los mejores resultados con 42,8 y 43,1 MPa respectivamente. Su variación con el diseño patrón corresponde a una diferencia de 1.9 MPa en el día 90, considerándose un reemplazo óptimo, según se puede apreciar en la Figura 18.

El tercer investigador consultado (Dhanabal & Sushmitha, 2021) realizó cuatro grupos de diseño, donde la variación fue el polvo de vidrio. A su vez, se tuvo un diseño patrón. En cada grupo, se incorporó un 30% de reemplazo de relave de hierro, como se muestra en la tabla 29. Se realizó un ensayo de compresión a los 7, 14 y 28 días, dando como resultado que el grupo 2 obtuvo valores óptimos. Su compresión en el día 28 fue de 52,11 MPa; 8,92 MPa por encima de la muestra patrón. El grupo 2 corresponde a un reemplazo del 30% de relave de hierro y una incorporación muy baja de polvo de vidrio. El valor continuo, correspondiente al grupo 1 (50 MPa), el cual no contiene polvo de vidrio en su mezcla, muestra que un reemplazo parcial de agregado fino con relave de hierro mejora la compresión.

El cuarto investigador consultado (Huerta & Roldan, 2021) realizó la sustitución del agregado fino por relave minero en porcentajes de 0%, 6%, 12%, 25% y 50% para realizar el ensayo de compresión (210 kg/cm²) a los 7, 14 y 28 días, dando como resultado 12% el porcentaje ideal

de remplazo comparando con respecto a los resultados del concreto patrón. Teniendo como valores para concreto patrón: A los 7 días (152 kg/cm²), a los 14 días (193 kg/cm²) y 28 días (231 kg/cm²); para 12%: A los 7 días (160 kg/cm²), a los 14 días (207 kg/cm²) y 28 días (249 kg/cm²). Se puede analizar según los resultados mencionados que la resistencia a la compresión con 12% tiende a aumentar un 8%.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis H₀ según la comparación realizada en la figura 35.

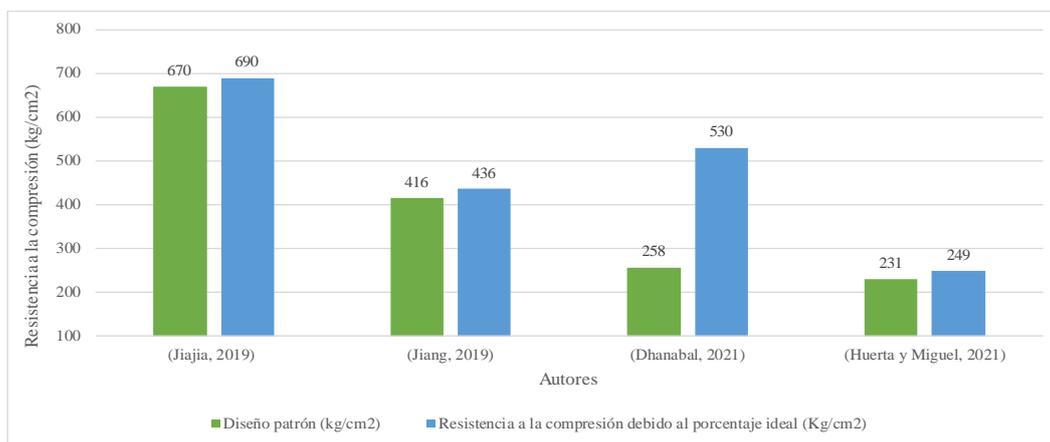


Figura 35. Comparación de autores de objetivo 2.

Fuente: Elaboración propia

Determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto del agregado fino aumenta la resistencia a la tracción del concreto.

Para poder considerar un porcentaje óptimo de relave de oro como sustituto del agregado fino, se consultaron informes de diversos investigadores, así como artículos y tesis. En base a ello, se planteó dos posibles hipótesis alternas.

H₀: Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto del agregado fino aumenta la resistencia a la tracción del concreto.

H₁: Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto del agregado fino disminuye la resistencia a la tracción del concreto.

El primer investigador consultado (Ramalinga Reddy et al., 2016) realizó ensayo de tracción destructivos y se prepararon los especímenes según la normativa india IS: 516-1989 para los 7, 14 y 28 días. Los especímenes con los que se trabajaron fueron: Diseño Patrón (0% de relave), 10%, 20%, 30% y 100% de relave como sustituto del agregado fino destructivo, dando como resultado el valor “20%” con mejores resultados con respecto a los especímenes con relave. Comparando los resultados con respecto al diseño de mezcla sin relave, el concreto patrón tiene valores para los: 7 días (40 kg/cm²), 14 días (48 kg/cm²) y 28 días (51 kg/cm²); para “20%”: a los 7 días (46 kg/cm²), a los 14 días (57 kg/cm²) y a los 28 días (61 kg/cm²). Con

respecto a los resultados mencionados, se puede analizar que la resistencia a la tracción tiende a aumentar un 20%.

El segundo investigador consultado (Prajwal et al., 2019) realizó ensayo de tracción destructivos y se prepararon los especímenes según la normativa india IS: 516-1989 para los 7, 14 y 28 días. Los especímenes con los que se trabajaron fueron: Diseño Patrón (0% de relave), 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de relave como sustituto del agregado fino destructivo, dando como resultado el valor “10%” con mejores resultados con respecto a los especímenes con relave. Comparando los resultados con respecto al diseño de mezcla sin relave, el concreto patrón tiene valores para los 28 días (56 kg/cm²); para “10%”: a los 28 días (67 kg/cm²). Con respecto a los resultados mencionados, se puede analizar que la resistencia a la tracción tiende a aumentar un 20%.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis H0 según la comparación realizada en la Figura 36.

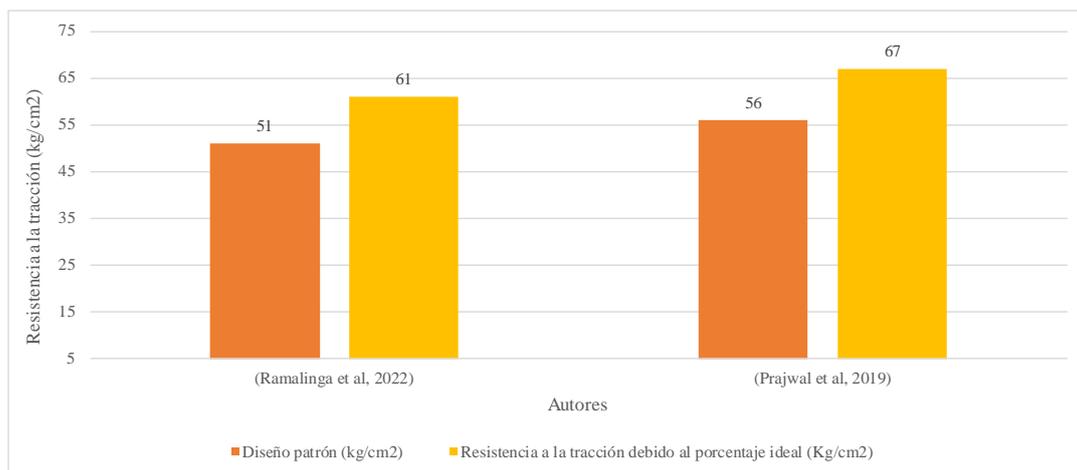


Figura 36. Comparación de autores de objetivo 3.

Fuente: Elaboración propia

Determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino aumenta la resistencia a la tracción del concreto.

Para poder considerar un porcentaje óptimo de relave de hierro como sustituto del agregado fino, se consultaron informes de diversos investigadores, así como artículos y tesis. En base a ello, se planteó dos posibles conclusiones.

H0: Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino aumenta la resistencia a la tracción del concreto.

H1: Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino disminuye la resistencia a la tracción del concreto.

El primer investigador consultado (Jiang et al., 2018), realizó un total de seis diseños de reemplazo de relave de hierro en agregado fino, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% respectivamente, y un diseño patrón sin reemplazo de relave como diseño control. Los resultados en el ensayo de resistencia a tracción muestran un pico en el reemplazo 30 IOT con 69kg/cm², y, posterior a ese punto, un descenso con el reemplazo de 40 IOT con 64 kg/cm², 50 IOT con 46 kg/cm², 60 IOT con 38 kg/cm², como se observa en la Figura 25. La variación entre el pico (30 IOT) y el diseño patrón (38 kg/cm²) resultó ser de 30 kg/cm², siendo conveniente un reemplazo hasta el 30% de relave de hierro como agregado fino en el diseño.

El segundo investigador consultado (Dhanabal & Sushmitha, 2021) realizó cuatro grupos de diseño, donde su reemplazo fue del 30% de relave de hierro en tres de ellos, y todos contaron con una variación de polvo de vidrio. A su vez, se realizó un diseño patrón sin agregado de relave de hierro y sin agregado de polvo de vidrio como diseño control. En los resultados del ensayo a tracción, se observa que el pico es el grupo 2 (51 Kg/cm², donde existe un reemplazo del 30% de relave de hierro y un aumento mínimo de polvo de vidrio. Previo a esto, en el grupo 1, donde únicamente existe un reemplazo del 30% de relave de hierro, la tracción resultó ser de 49 Kg/cm², siendo resultados muy similares. Posterior al pico máximo, los resultados tienen una decaída, mostrando así un valor óptimo únicamente cuando el reemplazo de relave de hierro no se sobreponga al 30% y se use un porcentaje bajo de polvo de vidrio.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis H₀ según la comparación realizada en la figura 37.

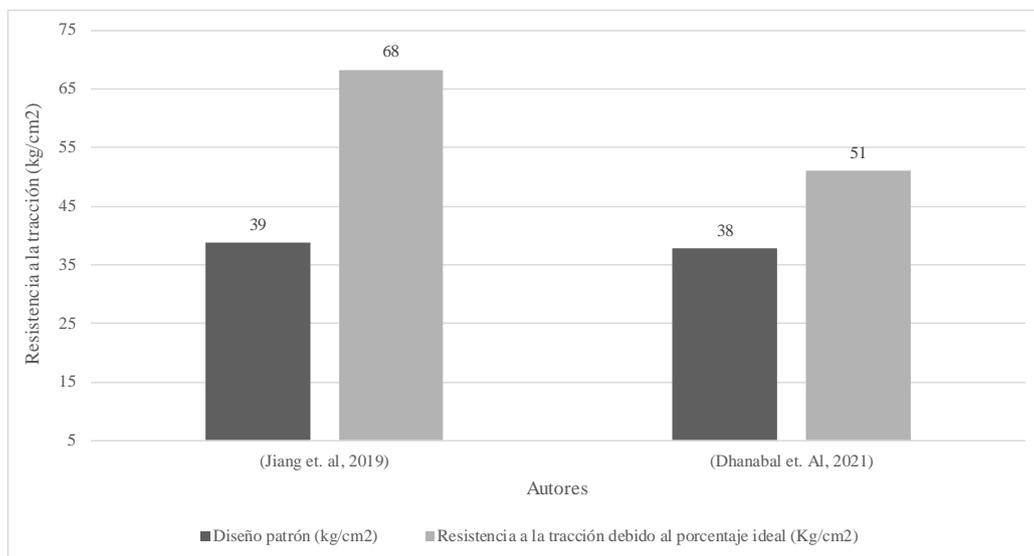


Figura 37. Comparación de autores de objetivo 4.

Fuente: Elaboración propia

Determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto del agregado fino mejora la trabajabilidad y fluidez del concreto.

Para poder considerar un porcentaje óptimo de relave de oro como sustituto del agregado fino, se consultaron informes de diversos investigadores, así como artículos y tesis. En base a ello, se planteó dos posibles conclusiones.

H0: Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto del agregado fino si mejora la trabajabilidad y fluidez del concreto.

H1: Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto del agregado fino no mejora la trabajabilidad y fluidez del concreto.

El primer investigador (Cruz & Supo, 2022) realizó el método del cono de Abrams según la NTP 339.035 y la norma ASTM C 143. Teniendo como resultado para $f'c=175$ kg/cm²: el diseño patrón (4") teniendo una buena trabajabilidad, una consistencia plástica, buena homogeneidad y buena cohesión; 5% de relave (4") teniendo una buena trabajabilidad, una consistencia plástica, buena homogeneidad y buena cohesión. Para $f'c=210$ kg/cm²: el diseño patrón (4") teniendo una buena trabajabilidad, una consistencia plástica, buena homogeneidad y buena cohesión; 5% de relave (4") teniendo una buena trabajabilidad, una consistencia plástica, buena homogeneidad y buena cohesión.

El segundo investigador (Prajwal et al., 2019) realizó el ensayo de asentamiento del concreto según la norma india IS 7320 (1974). Teniendo como resultado para: el diseño patrón (2") teniendo poca trabajabilidad, una consistencia seca, puede presentar segregación.; 10% de relave (1 ½") teniendo poca trabajabilidad, una consistencia seca, puede presentar segregación.

El tercer investigador (Parthasarathi, Ramalinga, & Satyanarayanan, 2016) realizó el ensayo de asentamiento del concreto según la norma india IS 7320 (1974). Teniendo como resultado que el asentamiento disminuye al 24%, 47% y 73% para los porcentajes de sustitución de agregado fino con relave minero del 10%, 20% y 30% respectivamente. Los resultados para concreto patrón (3.32"), 100% RM (0.64), 10% (2.50"), 20% (1.75") y 30% (0.89"), teniendo como valor, respecto a RM, sobresaliente a 10%, siendo una mezcla trabajable y plástica.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis H1 según la comparación realizada en la figura 38.

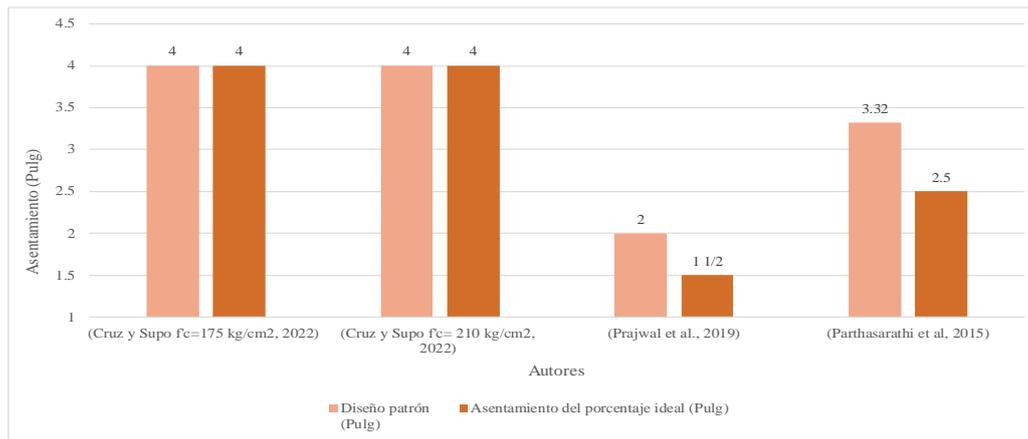


Figura 38. Comparación de autores de objetivo 5.

Fuente: Elaboración propia

Determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino mejora la trabajabilidad y fluidez del concreto.

Para poder considerar un porcentaje óptimo de relave de hierro como sustituto del agregado fino, se consultaron informes de diversos investigadores, así como artículos y tesis. En base a ello, se planteó dos posibles conclusiones.

H0: Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino si mejora la trabajabilidad y fluidez del concreto.

H1: Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto del agregado fino no mejora la trabajabilidad y fluidez del concreto.

El primer investigador (Dhanabal & Sushmitha, 2021) realizó cuatro grupos de diseño, donde su reemplazo fue del 30% de relave de hierro en tres de ellos, y todos contaron con una variación de polvo de vidrio. A su vez, se realizó un diseño patrón sin agregado de relave de hierro y sin agregado de polvo de vidrio como diseño control. En su ensayo de cono de Abrams, se observa una disminución en el asentamiento, siendo el diseño patrón el que mayor asentamiento obtuvo con 3 pulgadas. El grupo 4, con un reemplazo de 30% de relave de hierro y un reemplazo alto de polvo de vidrio, obtuvo un asentamiento mínimo de 2 pulgadas, mostrando como el aumento de relave y polvo de vidrio disminuye la trabajabilidad de la mezcla.

El segundo investigador (Carolina et. Al, 2021) realizó diseños de mezcla, teniendo como reemplazo R0%, R15% y R25%. En el ensayo de cono de Abrams, se observó una disminución en el asentamiento conforme aumentó la cantidad de reemplazo de relave, teniendo en R0% un asentamiento de 4.72 pulgadas, y en R25% un asentamiento de 3.93 pulgadas.

El tercer investigador (Zainab Z. & Enas A., 2007) realizó un total de cuatro diseños de mezcla, siendo reemplazo de R0%, R10%, R15% y R20% respectivamente. Según la figura 32 en el

ensayo de cono de Abrams, se observa como el valor de R0% obtiene el mayor índice de asentamiento, con 2.95 pulgadas. R20%, por el contrario, obtuvo el menor asentamiento, siendo 2.72 pulgadas, mostrando, así como ante el aumento de relave de hierro, el asentamiento disminuye.

El cuarto investigador (Huerta & Roldan, 2021) realizó la medición del asentamiento según la NTP 339.035 y la ASTM C143 con el cono de Abrams. Teniendo como resultado para: el diseño patrón (3.32”) una buena trabajabilidad, una consistencia plástica, buena homogeneidad y cohesión; 12% de relave (1.57”) teniendo poca trabajabilidad, una consistencia seca, puede presentar segregación.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis H1 según la comparación realizada en la figura 39.

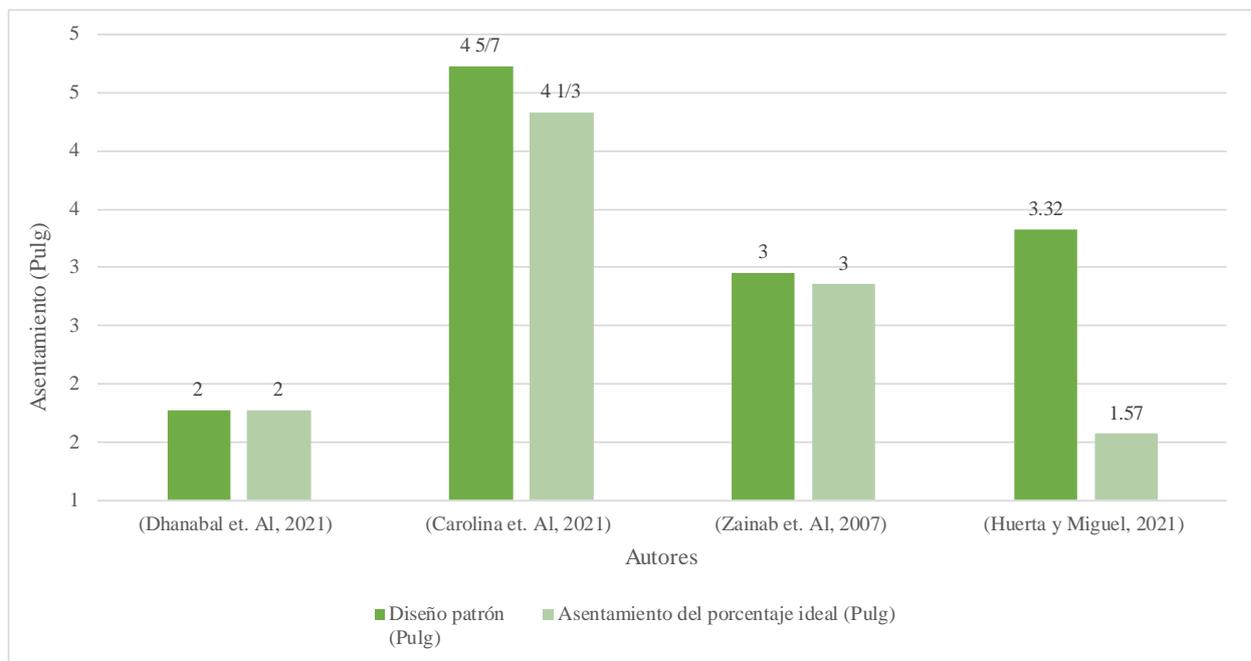


Figura 39. Comparación de autores de objetivo 6.

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Esta investigación se desarrolló en base a una amplia lista de autores y resultados, debido a los diversos ensayos realizados y fuentes consultadas, así como las diversas condiciones, métodos, características y calidades en las que fueron trabajadas en sus debidos artículos y tesis. Se realizó una comparación de autores para observar la influencia del relave de oro y hierro en las propiedades mecánicas a los 28 días y en la trabajabilidad del concreto. Con los resultados obtenidos de Ramalinga et al. (2022) y Suarez (2022), Condori (2018) se pudo analizar que el relave de mina de oro superó la resistencia a la compresión para cada uno de los autores trabajados, como se observan en la figura 35. Además, se determinó un porcentaje ideal promedio entre estos 5 autores es de un 13%.

Con los resultados obtenidos de (Jiajia, 2019), (Jiang, 2019), (Dhanabal, 2021) y (Huerta y Miguel, 2021) se pudo analizar que el relave de mina de hierro superó la resistencia a la compresión para cada uno de los autores trabajados de forma exitosa, como se observan en la figura 36. Además, se determinó un porcentaje ideal promedio entre estos 5 autores que es de un 23%.

Con los resultados obtenidos de (Condori, 2018), (Ramalinga et al, 2022), (Prajwal et al, 2019) y (Janadi, 2021) se pudo analizar que el relave de mina de oro superó la resistencia a la tracción para cada uno de los autores trabajados, como se observan en la figura 37. Además, se determinó un porcentaje ideal promedio entre estos 2 autores es de un 15%.

Con los resultados obtenidos de (Jiang et. al, 2019) y (Dhanabal et. Al, 2021) se pudo analizar que el relave de mina de hierro superó la resistencia a la tracción para los 2 autores trabajados, como se observa en la figura 38. Además, se determinó un porcentaje ideal promedio es de un 30%.

Con los resultados obtenidos de (Cruz y Supo, 2022), (Prajwal et al., 2019) y (Parthasarathi et al., 2016) se pudo analizar que el relave de mina de oro disminuye la trabajabilidad ya que el asentamiento tiende a decrecer como se puede observar en las investigaciones de “Prajwal et al” y “Ramalinga et al” (Figura 39).

Con los resultados obtenidos de (Dhanabal et al, 2021), (Carolina et. Al, 2021), (Zainab Z. & Enas A., 2007) y (Huerta y Miguel, 2021) se pudo analizar que el relave de mina de oro disminuye la trabajabilidad ya que el asentamiento tiende a decrecer como se puede observar en las investigaciones mencionadas (Figura 40). Añadir que los autores de las investigaciones trabajaron con la misma proporción de a/c por lo que no se observa un crecimiento en los valores de asentamiento como en el objetivo 5.

CONCLUSIONES

Debido a los resultados analizados en el capítulo 5 se puede concluir:

1. El porcentaje óptimo de reemplazo parcial en oro para una compresión ideal es del 13%, 15% para una tracción ideal, y menor al 10% para no perder valor de trabajabilidad y fluidez en la mezcla; en el caso del porcentaje óptimo de reemplazo parcial en hierro, para una compresión ideal es de 23%, una tracción ideal es de 30%, y el valor no debe superar el 30% para no perder valores de trabajabilidad y fluidez. Se encuentra un punto de quiebre cuando el reemplazo de relave supera valores altos en ambos casos, por lo que los valores óptimos han sido cuando estos se han mantenido por debajo de su línea crítica.
2. El reemplazo parcial de relave de oro sí incrementa la resistencia a la compresión si este valor no supera el 13% de sustitución. Según los autores “Ramalinga et al., Suarez, Condori” los valores de compresión óptimos obtenidos, a los 28 días, corresponden en reemplazo de 10% con una resistencia a la compresión de 415 Kg/cm² respecto a un diseño patrón de 405 Kg/cm². Un reemplazo del 15% con una resistencia a la compresión de 423 Kg/cm² respecto a un diseño patrón de 405 Kg/cm². Un reemplazo del 25% en un diseño patrón de 162 Kg/cm² con una resistencia a la compresión de 170 Kg/cm².
3. El reemplazo parcial de relave de hierro sí incrementa la resistencia a la compresión si este valor no supera el 23% de sustitución. Según los autores “Jiajia, Jiang, Dhanabal, Huerta y Miguel” los valores de compresión óptimos obtenidos, a los 28 días, corresponden a un reemplazo del 20%, una resistencia a la compresión de 690 Kg/cm² respecto a un diseño patrón 670 Kg/cm². Un reemplazo de 30% con una resistencia a la compresión de 436 Kg/cm² respecto a un diseño patrón de 416 Kg/cm². Un reemplazo de 30%, una resistencia a la compresión de 530 Kg/cm² respecto a un diseño patrón de 431 Kg/cm². Un reemplazo de 12%, una resistencia a la compresión de 249 Kg/cm² respecto a un diseño patrón de 231 Kg/cm².
4. El reemplazo parcial de relave de oro sí incrementa la resistencia a la tracción si este valor no supera el 15% de sustitución. Según los autores “Ramalinga, Prajwal”, en un reemplazo de 20%, con una tracción en su diseño patrón de 51 Kg/cm², se obtuvo 61 Kg/cm². En un reemplazo de 10%, con una tracción en su diseño patrón de 56 Kg/cm², se obtuvo 67 Kg/cm².

5. El reemplazo parcial de relave de hierro sí incrementa la resistencia a la tracción si este valor no supera el 30% de sustitución. Según los autores “Jiang, Dhanabal”, en un reemplazo de 30%, con una tracción en su diseño patrón de 39 Kg/cm², se obtuvo 68 Kg/cm². En un reemplazo de 30%, con una tracción en su diseño patrón de 38 Kg/cm², se obtuvo 51 Kg/cm².
6. El reemplazo parcial de relave de oro disminuye la trabajabilidad y la fluidez de la mezcla, aun en porcentajes menores. Según los autores “Cruz y Supo, Prajwal, Parthasarathi”, en un reemplazo de 5% con un asentamiento de diseño patrón de 4 pulgadas, se obtuvo un asentamiento de 4 pulgadas. En un reemplazo de 10% con un asentamiento de 2 pulgadas en su diseño patrón, se obtuvo 1.77 pulgadas de asentamiento. En un reemplazo de 10% con un asentamiento de diseño patrón de 3.32 pulgadas, se obtuvo 2.5 pulgadas de asentamiento.
7. El reemplazo parcial de relave de hierro disminuye la trabajabilidad y la fluidez de la mezcla, aún en porcentajes menores. Según los autores “Dhanabal, Carolina, Zainab y Enas, Huerta y Miguel” en un reemplazo de 30% en un asentamiento de diseño patrón de 2 pulgadas, se obtuvo 2 pulgadas de asentamiento. En un reemplazo de 15% en un asentamiento de diseño patrón de 4 5/7 pulgadas, se obtuvo 4 1/3 pulgadas de asentamiento. En un reemplazo de 10% en un diseño patrón de 3 pulgadas, se obtuvo 3 pulgadas. En un reemplazo de 12% en asentamiento de diseño patrón de 3.32 pulgadas, se obtuvo 1.57 pulgadas de asentamiento.

RECOMENDACIONES

Debido a los resultados analizados en el capítulo 5 se puede recomendar:

1. Respetar los porcentajes máximos recomendados de uso de reemplazo parcial de relave, para resultados favorables en la mezcla. Los datos obtenidos son valores promedio, por lo que los resultados pueden variar ligeramente; sin embargo, no se recomienda sobrepasarse de ellos.
2. Un estudio a las propiedades químicas del concreto endurecido posterior al relave añadido para poder tener un conocimiento de su toxicidad, puesto que esta tesis únicamente evalúa sus propiedades físicas y mecánicas del concreto con relave, al ser un desperdicio de un proceso químico donde separan minerales, posee sustancias posiblemente dañinas para el contacto humano sin el equipo adecuado.
3. Se debe tomar en cuenta las proporciones usadas para el diseño de mezcla del concreto, así como el tipo de relave a ser usado, puesto que cada relave posee propiedades distintas y se atribuye a resultados distintos, tanto en resistencia a la compresión como resistencia a la tracción, trabajabilidad y fluidez. Según los resultados observados, se recomienda utilizar aditivo superplastificante ya que el relave tiene de convertir la mezcla de concreto en seca por lo que este material es espeso.
4. Se debe tomar en cuenta investigaciones similares cuya información sea verídica y se encuentre ligada al tema, de forma que pueda apoyar la investigación e informar adecuadamente sobre las propiedades que brindan al concreto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2009). Tecnología del concreto (2 ed.). Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L.
- Aceros Arequipa. (2020). Construyendo Seguro. Obtenido de <https://www.construyendoseguro.com/la-resistencia-mecanica-del-concreto/#:~:text=La%20resistencia%20mecánica%20del%20concreto%20es%20la%20propiedad%20que%20hace,con%20materiales%20de%20calidad>
- Anónimo. (2019). Industria Global Union. Obtenido de <https://www.industriallunion.org/es/lo-que-se-debe-saber-sobre-las-represas-de-relave>
- Arias Torres, S. M. (2021). Alternativas de aprovechamiento de residuos de la industria minera de El Bajo Cauca Antioqueño en el sector de la construcción. Obtenido de <https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/1496>
- Arjona, E., Solis, R., & Moreno, E. (2012). Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c. Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, 21-29. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427639586004>
- ASTM C33-03. (s.f.). Especificación estándar para agregados para concreto. ASTM INTERNATIONAL.
- Batelka, M. (2022). The use of sintered artificial aggregates produced from solid energetic waste for concrete. BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Republica Checa. Obtenido de <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/136952?locale-attribute=en>
- Benito, Parra, Valcuende, Miñano, & Rodríguez. (2015). Método para cuantificar la segregación en hormigones autocompactantes. Centro Tecnológico de la Construcción.
- C-143, A. (2015). ASENTAMIENTO EN EL HORMIGÓN FRESCO.
- Cárdenas Ticlavilca, F. (2022). Propuesta de uso de relaves de mina polimetálica en la fabricación de unidades de albañilería - caso ex unidad minera Mercedes 3. UPC, Perú. doi: <https://doi.org/10.19083/tesis/625225>
- Carhuamaca Rau, D., & Coras Quispe, R. (2019). Relave minero como componente del agregado fino para elaborar concreto mayor a $f'c=175$ kg/cm². Universidad Peruana Los Andes, Huancayo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/1306>
- Centro Nacional de Epidemiología, P. y. (2022). Los niños con plomo de Cerro de Pasco esperan justicia. Obtenido de Ojo Público: <https://ojo-publico.com/2282/los-ninos-con-plomo-de-cerro-de-pasco-esperan-justicia>

- Cerón, A., & Guti, A. (2019). Proyecto de investigación elaboración de unidades de mampostería perforada de concreto utilizando relaves provenientes de la minería de agregados. Universidad Santo Tomás, Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/18152>
- Chen, D., Gao, H., Jin, Z., & Zou, J. (2019). Experimental Study on Volume Deformation of Iron Tailing-steel Slag Aggregate Concrete. 4th International Conference on Energy Equipment Science and Engineering. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/242/5/052061/meta>
- CLASON, L. (28 de 06 de 2022). ASTM Standard Test Method C143: Slump of Hydraulic Cement Concrete. Obtenido de <https://owlcation.com/humanities/ASTM-C143-The-Concrete-Slump-Test>
- Company, P. a. (1866-1927). Guide to the Philadelphia and Reading Coal and Iron Company Records. Obtenido de <https://sova.si.edu/record/NMAH.AC.0282>
- Condori, O. (2018). EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO CON EL USO DE MATERIAL DE DESECHOS DE PROCESOS MINEROS, PROCEDENTES DE LA MINA LA RINCONADA EN REEMPLAZO DEL AGREGADO FINO”. UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ, Juliaca. Obtenido de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/2975>
- Cruz, R., & Supo, P. (2022). Adición del relave minero para mejorar las propiedades del concreto $f'c=210$, $f'c=175$ para edificaciones en la Rinconada –Puno – 2021. Universidad César Vallejo, Lima. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/87697?locale-attribute=es>
- Dhanabal, P., & Sushmitha, K. (2021). Effect of iron ore tailing and glass powder on concrete properties.
- Felix, E. (2018). Service life analysis of reinforced concrete structure under uniform corrosion through ANN model coupled to the FEM. ALCONPAT, 1-15. doi: <https://doi.org/10.21041/ra.v8i1.256>.
- Félix, Rodríguez Bala Buch, C. P., Possan, & Carrazedo. (2018). Análisis de vida útil de estructura de hormigón armado bajo corrosión uniforme mediante modelo ANN acoplado al FEM. ALCONPAT, 1-15, p.8. doi: <https://doi.org/10.21041/ra.v8i1.256>
- Fernández, C., Huerta, R., & León, S. (2021). Análisis de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ aplicando relave minero, Huaraz 2021. Universidad Cesar

- Vallejo, Huaraz. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/86022?show=full>
- García, M. (2022). EY Building a better working world. Obtenido de https://www.ey.com/es_pe/mining-metals/mining-metals-investment-guide
- García-Torpoco, N., Baykara, H., Cornejo, M., Riofrio, A., Tinoco-Hidalgo, M., & Flores-Rada, J. (2022). Comparative mechanical properties of conventional concrete mixture and concrete incorporating mining tailings sands. *Case Studies in Construction Materials*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01031>
- Guillermo López, E. M., & Santiago Trejo, Y. L. (2021). Influencia de sustitución del agregado fino por relave mina Contonga, sobre las propiedades físico mecánicas de un concreto $f'c=280\text{kg/cm}^2$ – 2021. Universidad Cesar Vallejo, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/75770>
- Huerta, R., & Roldan, S. (2021). Análisis de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ aplicando relave minero, Huaraz 2021. Universidad César Vallejo, Huaraz, Perú. doi: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/86022>
- Janadi, R. (2021). VALORISATION DES RÉSIDUS MINIERES ET DES ROCHES STÉRILES CONCASSÉES COMME DE MATERIAUX DE CONSTRUCTION. Université de Sherbrooke, Francia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11143/18976>
- Jiang, Y., Wang, H., Chen, Y., Ruan, M., & Li, W. (2018). PREPARATIONS OF COMPOSITE CONCRETES USING IRON ORE TAILINGS AS FINE AGGREGATES AND THEIR MECHANICAL BEHAVIOR. Hubei Polytechnic University, China. doi:10.17222/mit.2018.222
- Kanji, K. (2018). Quora. Obtenido de <https://www.quora.com/What-is-plasticity-of-cement-and-concrete>
- Karolina, R., & Gaol, T. (2020). Comparison of The Effect of Steel Slag Usage As a Fine Aggregate Against Compressive Strength And Flexure on Reinforced Concrete With Normal Concrete (Experimental Study). Universitas Sumatera Utara, Indonesia. doi:10.1088/1742-6596/1542/1/012020
- Khan, A. (2021). MINES REPOSITORY. Colorado School of Mines. Obtenido de https://repository.mines.edu/bitstream/handle/11124/176485/Khan_mines_0052N_12239.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association.

- Martins, D. (2019). Utilização de rejeito de minério do cobre como agregado miúdo na produção de concreto. Universidade Federal do Pará, Brazil. Obtenido de <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/12604>
- MINEM. (2007). Ministerio de Energía y Minas. Obtenido de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/relaveminero.pdf>
- Norma ASTM C-33. (s.f.). Especificación estándar para agregados para el concreto.
- Norma E.060. (2009). NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.060 CONCRETO ARMADO. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú. Obtenido de http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/E060_CONCRETO_ARMADO.pdf
- ORIHUELA, R. (2021). Obtenido de Connectas, plataforma periodística para las américas.: <https://www.connectas.org/especiales/contaminacion-minera-rios-peru/>
- Parthasarathi, N., Ramalinga, B., & Satyanarayanan, K. (2016). Effect on Workability of Concrete due to Partial Replacement of Natural Sand with Gold Mine Tailings. *Indian Journal of Science and Technology, India*. doi:10.17485/ijst/2016/v9i35/99052
- Philadelphia and Reading Coal and Iron Company, Creator. (1866). Obtenido de <https://sova.si.edu/record/NMAH.AC.0282>
- Prajwal, B., Ranjith, K., Sagar M, R., & Shivaraja, C. (2019). Partial Replacement of Fine Aggregates Using Gold Mine Tailings. New Horizon college of Engineering, India. Obtenido de <http://hdl.handle.net/123456789/10535>
- Ramalinga, Sindhu, & Vignesh. (2015). Effect of Partial Replacement of Natural Sand. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 583-586.
- RNE, R. N. (2021). Norma E.060.
- Romero, M., & Salinas, M. (2020). Estudio experimental del concreto para adoquines tipo ii, adicionando relaves mineros. Universidad Nacional San Agustín. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11386>
- Rumbo Minero. (2017). Obtenido de <https://www.rumbominero.com/revista/relaves-mineros-optimizando-la-gestion-para-una-iindustria-ecoamigable/>
- RUMBO MINERO. (2017). Rumbo Minero Internacional. Obtenido de <https://www.rumbominero.com/revista/relaves-mineros-optimizando-la-gestion-para-una-iindustria-ecoamigable/>
- RUMBO MINERO. (2017). Rumbo Minero Internacional. Extraído de: <https://www.rumbominero.com>. Obtenido de

<https://www.rumbominero.com/revista/relaves-mineros-optimizando-la-gestion-para-una-iindustria-ecoamigable/>

Sikament® TM-140. (s.f.). Obtenido de https://per.sika.com/content/dam/dms/pe01/j/sikament_tm-140.pdf

Silva Almada, B. (2021). Influência da heterogeneidade de rejeitos de minério de ferro utilizados como adição mineral nas propriedades de microconcretos. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Brazil. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1843/35406>

Silva, O. (2018). 360 de concreto. Obtenido de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/propiedades-fisicas-del-cemento/#:~:text=«Las%20propiedades%20más%20relevantes%20del,fraguado%20y%20el%20fraguado%20rápido»>.

Suarez, A. (2022). “EL RELAVE MINERO COMO AGREGADO DEL CONCRETO EN EL DISEÑO DE MEZCLA EN F´C= 350 kg/cm² AL 5%, 15%, 25 % EN EL CENTRO POBLADO DE CHICRIN – 2021”. UNIVERSIDAD DE HUANUCO, Huánuco, Perú. doi: <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/3432>

Torre, A. (2004). “CURSO BASICO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO”. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.

Vélez, L. M. (2010). Permeabilidad y Porosidad en Concreto. Dialnet, 169-187. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5062984>

Zainab Z., Z., & Enas A., A.-H. (2007). Reuse of waste iron as a partial replacement of sand in concrete. Department of Environmental Engineering, College of Engineering, University of Baghdad.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia	91
Anexo 2: Matriz de autores	92
Anexo 3. Operacionalización de variables	94

Anexo 1: Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Indicadores	Diseño de método
¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero como sustituto parcial del agregado fino influye en las propiedades físico-mecánicas del concreto?	Determinar el porcentaje óptimo de relave como sustituto parcial del agregado fino para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto.	Al determinar el porcentaje óptimo del relave minero como sustituto parcial del agregado fino mejoran las propiedades físico-mecánicas del concreto.	Relave minero	Reemplazo del agregado fino con relave minero	Método: Descriptivo
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis General	Variable Dependiente		Orientación: Aplicada
a. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave de mina de oro como sustituto parcial del agregado fino influye en la resistencia a la compresión del concreto?	a. Determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto parcial del agregado fino para aumentar la resistencia a la compresión del concreto.	a. Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto parcial del agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto.		Resistencia a la compresión.	
b. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de mina de hierro como sustituto parcial del agregado fino influye en la resistencia a la compresión del concreto?	b. Determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto parcial del agregado fino para aumentar la resistencia a la tracción del concreto.	b. Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto parcial del agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto.			
c. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave de mina de oro como sustituto parcial del agregado fino influye en la resistencia a la tracción del concreto?	c. Determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto parcial del agregado fino para aumentar la resistencia a la tracción del concreto.	c. Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de oro como sustituto parcial del agregado fino aumenta la resistencia a la tracción del concreto.	Propiedades físico-mecánicas	Resistencia a la tracción.	Enfoque: Cuantitativo
d. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave de mina de hierro como sustituto parcial del agregado fino influye en la resistencia a la tracción del concreto?	d. Determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto parcial del agregado fino para aumentar la resistencia a la tracción del concreto.	d. Al determinar el porcentaje óptimo del relave de mina de hierro como sustituto parcial del agregado fino aumenta la resistencia a la tracción del concreto.			
e. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave de mina de oro como sustituto parcial del agregado fino influye en la trabajabilidad y fluidez del concreto?	e. Determinar el porcentaje óptimo de relave de mina de oro como sustituto parcial del agregado para mejorar la trabajabilidad y fluidez del concreto.	e. Al determinar el porcentaje óptimo de relave de mina de oro como sustituto parcial del agregado fino mejora la trabajabilidad y fluidez del concreto.			Instrumento de recolección de datos: Retro lectivo
f. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave de mina de hierro como sustituto parcial del agregado fino influye en la trabajabilidad y fluidez del concreto?	f. Determinar el porcentaje óptimo de relave de mina de hierro como sustituto parcial del agregado para mejorar la trabajabilidad y fluidez del concreto.	f. Al determinar el porcentaje óptimo de relave de mina de hierro como sustituto parcial del agregado para mejorar la trabajabilidad y fluidez del concreto.		Trabajabilidad y fluidez	Tipo: Descriptivo Correlacional

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Matriz de autores

Número	Autor	Título original	Título (español)	Indicadores estudiados	Año	Residuo de Relave
1	Ramalinga, Sindhu, & Vignesh.	Effect of Partial Replacement of Natural Sand with Gold Mine Tailings on Some Properties of Masonry Mortars	Efecto del reemplazo parcial de arena natural con relaves de mina de oro en algunas propiedades de los morteros de mampostería	Resistencia a la compresión y tracción	2015	
2	Suarez	“El relave minero como agregado del concreto en el diseño de mezcla en $f'c=350$ kg/cm ² al 5%, 15%, 25 % en el centro poblado de Chicrin – 2021”.	“El relave minero como agregado del concreto en el diseño de mezcla en $f'c=350$ kg/cm ² al 5%, 15%, 25 % en el centro poblado de Chicrin – 2021”.	Resistencia a la compresión	2022	
3	Condori	Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto con el uso de material de desechos de procesos mineros, procedentes de la mina la rinconada en reemplazo del agregado fino.	Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto con el uso de material de desechos de procesos mineros, procedentes de la mina la rinconada en reemplazo del agregado fino.	Resistencia a la compresión	2018	Mina de oro
4	Prajwal y otros	Partial Replacement of Fine Aggregates Using Gold Mine Tailings.	Reemplazo parcial de agregados finos utilizando relaves de mina de oro.	Resistencia a la tracción y asentamiento	2019	
5	Cruz y Supo	Adición del relave minero para mejorar las propiedades del concreto $f'c=210$, $f'c=175$ para edificaciones en la Rinconada –Puno – 2021.	Adición del relave minero para mejorar las propiedades del concreto $f'c=210$, $f'c=175$ para edificaciones en la Rinconada –Puno – 2021.	Asentamiento	2022	
6	Parthasarathi y otros	Effect on Workability of Concrete due to Partial Replacement of Natural Sand with Gold Mine Tailings.	Effect on Workability of Concrete due to Partial Replacement of Natural Sand with Gold Mine Tailings.	Asentamiento	2016	

8	Chen y otros	Preparations of composite concretes using iron ore tailings as fine aggregates and their mechanical behavior.	Preparaciones de hormigones compuestos utilizando relaves de mineral de hierro como agregados finos y su comportamiento mecánico.	Resistencia a la compresión y tracción	2019	
9	Dhanabal & Sushmitha	Effect of iron ore tailing and glass powder on concrete properties.	Efecto del relave de mineral de hierro y polvo de vidrio sobre las propiedades del concreto.	Resistencia a la compresión, tracción y asentamiento	2021	
10	Huerta & Roldan	Análisis de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ aplicando relave minero, Huaraz 2021	Análisis de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ aplicando relave minero, Huaraz 2021	Resistencia a la compresión y asentamiento	2021	Mina de hierro
11	Karolina & Gaol	Comparison of The Effect of Steel Slag Usage as a Fine Aggregate Against Compressive Strength and Flexure on Reinforced Concrete with Normal Concrete (Experimental Study).	Comparación del efecto del uso de escoria de acero como agregado fino contra la resistencia a la compresión y la flexión en hormigón armado con hormigón normal (estudio experimental).	Asentamiento	2020	
12	Zainab	Reuse of waste iron as a partial replacement of sand in concret	Reutilización de residuos de hierro como sustitución parcial de arena en concreto	Asentamiento	2007	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Escala
V.D. Relave minero	"Los relaves son los materiales/minerales molidos de desecho sin interés económico (generalmente) que producen las plantas concentradoras de flotación de diferentes minerales. La disposición de relaves se basa en el Decreto Supremo 024-2016-EM, las normas de Osinergmin y la OEFA" Heiner Bueno citado en Rumbo Minero (2017)	Material solido desechable finamente molido que producen las plantas concentradoras de minerales, minas, que para triturarlas utilizan procesos mecánicos y químicos y transformarlos en agregado fino para así extraer el mineral o metal de piedra. Este desecho no tiene valor económico por lo que se desechan en presas de relave por su contenido tóxico.	Composición química del relave	Porcentaje de concentración	Mina de oro	Porcentaje (%)	Ordinal
					Mina de hierro		
			Granulometría del relave	Tamaño Máximo Nominal	Malla N°200	mm	Ordinal
				Módulo de fineza	$\frac{\Sigma \% \text{RETENIDO ACUMULADO}}{100}$	Número	Ordinal
	Dosificación del relave	Porcentajes de sustitución	0%, 5%, 7%, 10%, 12% entre otros.	Porcentaje (%)	Ordinal		
V.I. Propiedades mecánicas	"Es la propiedad que hace posible que este soporte la carga que va a ir encima de él. Gracias a esta cualidad, este no se deforma permanentemente ni se agrieta. En las propiedades mecánicas podemos encontrar la resistencia a la tracción, compresión, flexión, cortadura y torsión." (Acero Arequipa, 2020)	La resistencia ha sido verificada con sus respectivos ensayos de laboratorio obtenido a partir de diferentes investigaciones pasadas, determinando su resistencia a la compresión, tracción y flexión	Endurecido	Resistencia	Compresión	Kg/cm2	Ordinal
					Tracción	Kg/cm2	Ordinal
V.I. Propiedades físicas del concreto	"Las propiedades más relevantes del cemento son: la finura, la fluidez o consistencia normal, la densidad, la resistencia a la compresión, la expansión, los tiempos de fraguado y el fraguado rápido." (Silva, 2020)	Las propiedades físicas se pueden identificar por medio de la observación o mediciones. En la investigación se recopiló datos como actúa el relave en el diseño de mezcla del concreto en su permeabilidad, módulo de elasticidad y trabajabilidad.	Fresco	Trabajabilidad	Ensayo de asentamiento	Pulgadas	Ordinal
				Fluidez			
				Consistencia			

Fuente: Elaboración propia