



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Relaves mineros para mejorar las propiedades físico - mecánicas del  
concreto de alto y ultra alto rendimiento

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**AUTORES**

Ramirez Caichihua, Angel Matias  
ORCID: 0009-0001-1057-4804

Martel Quiroz, Michael Gerson  
ORCID: 0009-0001-6366-3907

**ASESOR**

Chavarría Reyes, Liliana Janeth  
ORCID: 0000-0002-1759-2132

**Lima, Perú**

**2023**

## **METADATOS COMPLEMENTARIOS**

### **Datos de los autores**

Ramirez Caichihua, Angel Matias

DNI: 72698043

Martel Quiroz, Michael Gerson

DNI: 72316659

### **Datos de asesor**

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

### **Datos del jurado**

JURADO 1

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

JURADO 2

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

JURADO 3

Torres Chung, Cesar Roberto

DNI: 41182279

ORCID: 0000-0002-3212-2817

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Angel Matias Ramirez Caichihua, con código de estudiante N°201710309, con DNI N°72698043, con domicilio en Las Gardenias de San Juan Mz C Lt 11, distrito de Ate, provincia y departamento de Lima, y Michael Gerson Martel Quiroz, con código de estudiante N°201710330, con DNI N°72316659, con domicilio en Pariachi 3ra Etapa Mz N Lt 6, distrito de Ate, provincia y departamento de Lima, en nuestra condición de bachilleres en Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, declaramos bajo juramento que:

La presente tesis titulada: “Relaves mineros para mejorar las propiedades físico – mecánicas del concreto de alto y ultra alto rendimiento” es de nuestra única autoría, bajo el asesoramiento del docente Mg. Ing. Liliana Janet Chavarría Reyes, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc.; la cual ha sido sometida al antiplagio Turnitin y tiene el 25% de similitud final.

Dejamos constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis, el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumimos responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet.

Asimismo, ratificamos plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de nuestro conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumimos toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y somos conscientes de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, nos sometemos a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes.

Surco, 30 de octubre del 2023



---

Angel Matias Ramirez Caichihua

DNI N°72698043



---

Michael Gerson Martel Quiroz

DNI N°72316659

## INFORME DE ORIGINALIDAD- TURNITIN

Relaves mineros para mejorar las propiedades físico - mecánicas del concreto de alto y ultra alto rendimiento

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>25%</b>	<b>24%</b>	<b>6%</b>	<b>9%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>10%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>7%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Ricardo Palma</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>5</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>industrysurfer.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>www.mdpi.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.escuelaing.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>patents.google.com</b> Fuente de Internet	

  
Dra. Verónica Chang Esther Juli

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres, Leoncio y Magna por su cariño, esfuerzo y por haberme inculcado valores y principios que han hecho de mí una mejor persona. A mis hermanos, por sus alientos, lecciones y consejos para tomar buenas decisiones, y a toda mi familia y amigos por su motivación a ser una mejor persona y profesional.

Ramirez Caichihua, Angel Matias

Dedico esta tesis a mis padres, Eucebio y Victoria, cuyo apoyo a lo largo de estos años ha sido la fuerza que me impulso a llegar a esta etapa de mi vida. Agradezco su confianza en mí, por creer en mis capacidades y por impartirme valiosos consejos, valores y principios que me inculcaron para convertirme en la persona que soy ahora. A mi hermano William por su constante apoyo y compañía durante todo este proceso, y a todas las personas que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional como personal.

Martel Quiroz, Michael Gerson

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, la Universidad Ricardo Palma, por habernos brindado los conocimientos y la oportunidad de estudiar esta maravillosa carrera. A nuestros asesores, la Mg. Ing. Liliana Janet Chavarría Reyes y al Dr. Ing. Carlos Magno Chavarry Vallejos, por su compromiso y soporte incondicional durante nuestra investigación. También, extendemos nuestro agradecimiento a todas las personas que de alguna manera nos apoyaron en el desarrollo de este trabajo de investigación, entre ellos familiares, amistades y docentes.

Ramirez Caichihua, Angel Matias  
Martel Quiroz, Michael Gerson

## ÍNDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS .....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
INFORME DE ORIGINALIDAD- TURNITIN.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	2
1.1.1 Problema e importancia .....	2
1.1.2 Árbol de problema .....	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.2.1 Problema general .....	4
1.2.2 Problemas específicos.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos .....	4
1.4 Delimitación de la investigación.....	5
1.4.1 Geográfica.....	5
1.4.2 Temporal.....	5
1.4.3 Temática.....	5
1.4.4 Muestral .....	5
1.5 Justificación .....	5
1.5.1 Conveniencia .....	5
1.5.2 Relevancia Social.....	6
1.5.3 Aplicaciones prácticas .....	6
1.5.4 Utilidad metodológica.....	6

1.5.5 Valor teórico .....	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.....	7
1.8 Alcances.....	7
1.9 Viabilidad.....	7
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1 Marco histórico .....	8
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema .....	9
2.2.1 Investigaciones internacionales .....	9
2.2.2 Investigaciones nacionales.....	10
2.2.3 Artículos relacionados al tema.....	11
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio .....	14
2.4 Definición de términos básicos.....	17
2.5 Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis.....	18
<b>CAPÍTULO 3: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>19</b>
3.1 Hipótesis .....	19
3.1.1 Hipótesis general.....	19
3.1.2 Hipótesis específicas.....	19
3.2 Sistema de variables.....	19
3.2.1 Definición conceptual .....	19
3.2.2 Definición operacional.....	20
3.2.3 Operacionalización de las variables.....	20
<b>CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA .....</b>	<b>23</b>
4.1 Método de investigación.....	23
4.2 Tipo de la investigación.....	23
4.3 Nivel de la investigación.....	24
4.4 Diseño de investigación.....	24
4.5 Población y muestra.....	24
4.5.1 Población .....	24
4.5.2 Muestra .....	24



4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos .....	24
4.6.1 Instrumento de recolección de datos.....	24
4.6.2 Métodos y técnicas.....	25
4.7 Descripción de procesamiento de análisis .....	25
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
5.1 Resultados de la investigación.....	26
5.2 Análisis y contrastación de hipótesis .....	65
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>78</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>89</b>
Anexo A: Matriz de consistencia.....	89
Anexo B: Matriz de autores .....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición química del relave de hierro (% en peso) .....	15
Tabla 2 Dos posibles proporciones de mezcla de UHPC por masa.....	16
Tabla 3 Operacionalización de Variables .....	21
Tabla 4 Artículos de asentamiento del HPC .....	26
Tabla 5 Composición química de los aglutinantes (% en peso) .....	27
Tabla 6 Proporción de la mezcla de hormigón de arena y residuos de hierro (kg/m <sup>3</sup> ) ..	28
Tabla 7 Resultados de ensayo de ensayo de asentamiento .....	29
Tabla 8 Mezcla de diseño para hormigón de grado M-50 con reemplazo de IOT .....	30
Tabla 9 Resultados de ensayo de ensayo de asentamiento .....	30
Tabla 10 Composición química por XRF del IOT y alcofina.....	32
Tabla 11 Proporción de mezcla para muestras de hormigón con IOT.....	32
Tabla 12 Resultados del ensayo de asentamiento .....	33
Tabla 13 Composición de mezclas de grado 30 a una relación a/c de 0,60 con IOT .....	35
Tabla 14 Composición de mezclas de grado 60 a una relación a/c de 0,40 con IOT .....	35
Tabla 15 Efecto del IOT en el asentamiento del hormigón a una relación a/c de 0.60 ..	36
Tabla 16 Efecto del IOT en el asentamiento del hormigón a una relación a/c de 0.40 ..	36
Tabla 17 Artículos de asentamiento del UHPC .....	38
Tabla 18 Composición química de los aglomerantes y el IOT (% en peso).....	38
Tabla 19 Proporciones de mezcla y fluidez de los morteros UHPC diseñados.....	39
Tabla 20 Composición química de los aglomerantes y el IOT (% en peso).....	40
Tabla 21 Diseño del UHPC (kg/m <sup>3</sup> ).....	41
Tabla 22 Resultados de ensayo de fluidez .....	41
Tabla 23 Composición química de los aglomerantes y el IOT (% en peso).....	42
Tabla 24 Proporciones de mezcla y fluidez de los morteros UHPC diseñados.....	43
Tabla 25 Resultados de ensayo de fluidez .....	43
Tabla 26 Artículos de resistencia a los cloruros del HPC.....	45
Tabla 27 Resultados de ensayo de resistencia a los cloruros.....	46
Tabla 28 Resultados de ensayo de resistencia a los cloruros.....	47
Tabla 29 Proporción de mezcla para muestras de hormigón con IOT.....	48
Tabla 30 Resultados del ensayo de resistencia a los cloruros.....	48
Tabla 31 Artículos de resistencia a los cloruros del UHPC.....	49
Tabla 32 Resultados de la prueba de iones cloruros.....	50

Tabla 33 Contenido química de los aglutinantes e IOT.....	51
Tabla 34 Mezcla del UHPC (kg/m <sup>3</sup> ).....	52
Tabla 35 Resultados de la prueba de iones cloruros.....	52
Tabla 36 Artículos de resistencia a la compresión del HPC.....	54
Tabla 37 Resistencia a la compresión para diferentes mezclas .....	55
Tabla 38 Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa) .....	56
Tabla 39 Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa) .....	57
Tabla 40 Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa) .....	58
Tabla 41 Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa) .....	59
Tabla 42 Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa) .....	60
Tabla 43 Artículos de resistencia a la compresión del UHPC .....	61
Tabla 44 Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa) .....	62
Tabla 45 Diseño de proporciones de mezcla de prueba.....	63
Tabla 46 Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa) .....	63
Tabla 47 Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa) .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Árbol de problemas (causa- consecuencia)	3
Figura 2	Mapa conceptual	18
Figura 3	Resultados de ensayo de ensayo de asentamiento	29
Figura 4	Comparación de los valores de Slump del hormigón	31
Figura 5	Comparación de los valores de Slump del hormigón	34
Figura 6	Comparación de valores de Slump del hormigón a una relación a/c de 0,60	36
Figura 7	Comparación de valores de Slump del hormigón a una relación a/c de 0,40	37
Figura 8	Resultados de ensayo de fluidez	40
Figura 9	Resultados de ensayo de fluidez	42
Figura 10	Resultados de ensayo de fluidez	44
Figura 11	Difusión de iones de cloruro en hormigón con y sin IOT	46
Figura 12	Resultados de ensayo de resistencia a los cloruros	47
Figura 13	Resultados del ensayo de resistencia a los cloruros	49
Figura 14	Conductividad de muestras con diferentes porcentajes de IOT	51
Figura 15	Conductividad de muestras con diferentes porcentajes de IOT	53
Figura 16	Resistencia a la compresión (MPa)	55
Figura 17	Resistencia a la compresión (MPa)	56
Figura 18	Resistencia a la compresión (MPa)	57
Figura 19	Resistencia a la compresión (MPa)	58
Figura 20	Resistencia a la compresión (MPa)	59
Figura 21	Resistencia a la compresión (MPa)	60
Figura 22	Resistencia a la compresión del UHPC con diferentes contenidos de IOT	62
Figura 23	Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días de UHPC con diferentes contenidos de IOT	64
Figura 24	Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días del UHPC con diferentes contenidos de IOT	65
Figura 25	Resultados del ensayo de asentamiento del concreto patrón y concreto con sustitución de relaves de hierro	67
Figura 26	Resultados del ensayo de fluidez del concreto patrón y concreto con sustitución de relaves de hierro	69
Figura 27	Resultados del ensayo penetración de iones de cloruro del concreto patrón y concreto con sustitución de relaves de hierro	71

Figura 28 Resultados del ensayo de penetración de ion cloruro del concreto patrón y concreto con sustitución de relaves de hierro, a los 28 días de curado.....	73
Figura 29 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto patrón y concreto con sustitución de relaves de hierro, a los 28 días de curado.....	75
Figura 30 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto patrón y concreto con sustitución de relaves de hierro, a los 28 días de curado.....	77

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>A/C</b>	Agua/ Cemento
<b>ACI</b>	American Concrete Institute
<b>AG</b>	Agregado Grueso
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>CPFL</b>	Controlled Permeable Formwork Liner
<b>FA</b>	Fly Ash
<b>GGBFS</b>	Ground granulated blast-furnace slag
<b>HMARF</b>	Hormigón de Muy Alto Rendimiento con Fibras
<b>HPC</b>	High Performance Concrete
<b>IIMP</b>	Instituto de Ingenieros de Minas del Perú
<b>IOT</b>	Iron Ore Tailing
<b>MK</b>	Metakaolin
<b>OPC</b>	Ordinary Portland Cement
<b>RCPT</b>	Rapid Chloride Permeability Testing
<b>RS</b>	River Sand
<b>SF</b>	Silice Fume
<b>SP</b>	Superplastificante Policarboxílico
<b>SPA</b>	Super Absorbent Polymers
<b>SRA</b>	Shrinkage-reducing admixtures
<b>UHPC</b>	Ultra High-Performance Concrete
<b>W/B</b>	Water/Binder

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general determinar el porcentaje óptimo de sustitución de relave minero como sustituto del agregado fino para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto de alto y ultra alto rendimiento. La investigación fue documental, bibliográfica y descriptiva, de método deductivo, de orientación aplicada, enfoque cuantitativo, tipo descriptiva, explicativa y correlacional, nivel descriptivo y diseño no experimental, ya que se utilizaron datos recopilados de investigaciones pasadas. En conclusión, los resultados demostraron que el reemplazo del 40% de relave de hierro en el concreto de alto rendimiento incrementa la resistencia a la compresión llegando hasta 73.5 MPa, mientras que un reemplazo del 50% de relaves incrementa la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento hasta 155 MPa. Asimismo, el reemplazo del 100% de relaves de hierro mejora la resistencia a los cloruros del concreto de alto rendimiento alcanzado una penetrabilidad baja de hasta 790.8 Coulomb, mientras que en el concreto de ultra alto rendimiento el reemplazo del 100% de relaves alcanza una carga despreciable de 13 Coulomb. Sin embargo, la sustitución de relaves de hierro no mejora ni contribuye en el asentamiento o fluidez del concreto de alto y ultra alto rendimiento.

*Palabras Clave:* Concreto de alto rendimiento, concreto de ultra alto rendimiento, relave de hierro, resistencia a la compresión, resistencia a los cloruros, asentamiento y fluidez.

## ABSTRACT

The general objective of this research was to determine the optimal percentage of substitution of mining tailings as a substitute for fine aggregate to improve the physical-mechanical properties of high and ultra-high-performance concrete. The research was documentary, bibliographic and descriptive, with a deductive method, applied orientation, quantitative approach, descriptive, explanatory and correlational type, descriptive level, and non-experimental design, since data collected from past research was used. In conclusion, the results showed that the replacement of 40% of iron tailings in high-performance concrete increases the compressive strength reaching up to 73.5 MPa, while a replacement of 50% of tailings increases the compressive strength of ultra-high performance concrete up to 155 MPa. Likewise, the replacement of 100% iron tailings improves the chloride resistance of high-performance concrete reaching a low penetrability of up to 790.8 Coulomb, while in ultra-high-performance concrete the replacement of 100% tailings reaches a negligible charge of 13 Coulomb. However, the replacement of iron tailings does not improve or contribute to the slump or fluidity of high- and ultra-high-performance concrete.

*Keywords:* High performance concrete, ultra-high-performance concrete, iron tailings, compressive strength, chloride resistance, workability and fluidity.



## INTRODUCCIÓN

La industria minera representa una actividad económica importante en el Perú, teniendo un crecimiento acelerado cada año, y como consecuencia el aumento de residuos sólidos conocidos como relaves producto de la extracción de los minerales. Los relaves son desechos que vienen siendo acumulados en vertederos que podrían llegar a ser un peligro para el medio ambiente al contaminar el agua subterránea y superficial debido a las sustancias tóxicas que puedan contener. Esto podría conllevar a provocar desastres medioambientales afectando directamente a la vida animal, vegetal y humana.

En vista de esta problemática, es adecuado buscar una alternativa de uso a los relaves en otras actividades como lo puede ser en la industria de la construcción al utilizarla como material suplementario al agregado fino en la preparación del concreto de alto y ultra alto rendimiento, puesto que este material resulta muy beneficioso e innovador en la construcción.

La presente tesis pretende expandir el conocimiento acerca de la utilidad de los relaves de mineral de hierro como reemplazo parcial del agregado fino en el concreto de alto y ultra alto rendimiento, dado que se desarrolla como una opción más económica y de mayor beneficio en las propiedades del hormigón.

Se analiza las propiedades físico- mecánicas del concreto de alto y ultra alto rendimiento con porcentajes óptimos de sustitución de relaves mineros por agregado fino como son: el asentamiento, fluidez en caso del concreto de ultra alto rendimiento, resistencia a la compresión y resistencia a los cloruros.

La investigación está compuesta de cinco capítulos. El primer capítulo, muestra la realidad problemática, presenta los problemas, objetivos, justificación, limitaciones, importancia y viabilidad de la investigación; el segundo capítulo, contiene el marco histórico, investigaciones internacionales y nacionales relacionadas al tema las cuales nos brindaran los resultados de los ensayos; el tercer capítulo, presenta las hipótesis y la operacionalización de las variables; el cuarto capítulo, explica la metodología empleada en la investigación; el quinto capítulo, presenta los resultados y su respectivo análisis y finalmente la discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidas en el presente trabajo.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Descripción de la realidad problemática

### 1.1.1 Problema e importancia

Los materiales de construcción han cambiado mucho a lo largo de la historia; empezando con el barro, rocas y muchos otros productos que se han utilizado con éxitos y fracasos, siendo el concreto el material más usado en la construcción actualmente con una manufactura mayor a 25 millones de toneladas anualmente, lo que equivale a unas 3.8 toneladas por persona y año. Esto supone el doble de hormigón utilizado para la construcción en todo el mundo que todos los demás materiales de construcción juntos (Silupu et al., 2020).

En los últimos años, los grandes avances en la tecnología del concreto han llevado al desarrollo de nuevos tipos de concreto, como el concreto de alto rendimiento (HPC) y el concreto de ultra alto rendimiento (UHPC), con mejores propiedades mecánicas, pero a la vez presenta un elevado costo e impacto ambiental por el alto contenido de cemento, los procesos industriales involucrados en su producción y especialmente al consumo excesivo de recursos naturales que afectan a nuestro planeta.

Por otro lado, la minería es uno de los sectores más importantes en la economía peruana puesto que provee una importante fuente de ingresos económicos para el país. Según el Ministerio de Energía y Minas (2023), el sector minero representó el 8.3% del PBI nacional y el 58.9% de las exportaciones peruanas en el 2022. Asimismo, presentó un 11.5% de la producción nacional en los tres primeros meses del 2023, teniendo un crecimiento acelerado cada año.

Sin embargo, la actividad minera en su actual contexto “ecológico” también presenta una serie de desafíos ambientales y sociales que plantean interrogantes sobre la sostenibilidad y la equidad en el proceso de crecimiento. Uno de los principales problemas que presenta, es la apropiada gestión y almacenamiento de los subproductos de la transformación de los minerales, generalmente denominados “relaves” (Anicama, 2010).

Los relaves mineros y su influencia en el medio ambiente frente a un proyecto de minería son inevitables, particularmente en el deterioro de los suelos, fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas, y la calidad del aire. Por consiguiente, esta contaminación conlleva la aparición de componentes minerales y sustancias metaloides, lo que a su vez provoca perturbaciones en la forma de vivir de las poblaciones vulnerables

y cambios en el ecosistema. Además, esta situación tiene repercusiones adversas en actividades económicas y productivas, especialmente en los artículos destinados al consumo humano, provocando enfermedades en las personas (Menéndez y Muños, 2021).

Un caso reciente de contaminación por relaves mineros en el Perú ocurrió en Paratía, pueblo localizado en Juliaca-Puno. De acuerdo con Orihuela (2023), el relave provenía de una de las bocaminas de la unidad minera El Cofre. La propietaria de esta mina es la empresa Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros SA (Ciemsa). Se registraron 41 casos de comuneros, niños y ancianos que tenían síntomas de malestares luego de exponerse por cuatro días a los relaves. Además, existe el riesgo de que la población pueda adquirir males respiratorios a futuro.

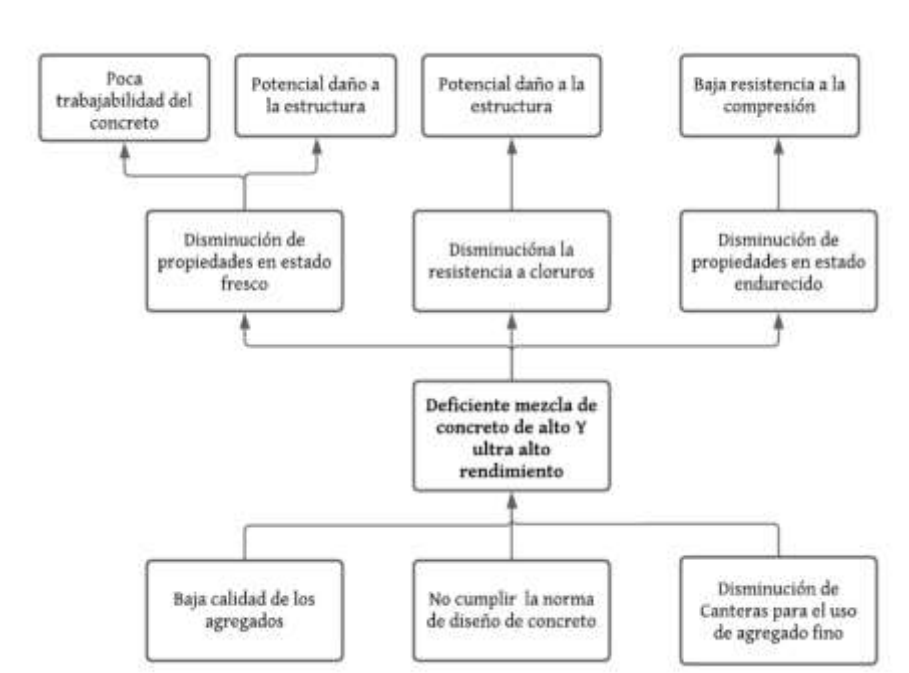
Considerando lo mencionado previamente, dada la creciente necesidad de materiales de construcción de alta calidad, así como la problemática de la polución ocasionada por la industria minera, este estudio propone utilizar los estériles de mina, que suelen considerarse residuos, como una alternativa para sustituir total o parcialmente al árido fino, con el fin de proporcionar propiedades similares al concreto HPC y UHPC buscando así mejoras en determinados aspectos.

### 1.1.2 Árbol de problema

A continuación, se muestra el árbol del problema en la Figura 1.

**Figura 1**

*Árbol de problemas (causa- consecuencia)*



*Nota.* Elaboración propia.

## **1.2 Formulación del problema**

### ***1.2.1 Problema general***

¿En qué medida el relave minero como sustituto del agregado fino influye en las propiedades físico - mecánicas del concreto de alto y alto ultra alto rendimiento?

### ***1.2.2 Problemas específicos***

- a) ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino influye en el asentamiento del concreto de alto rendimiento?
- b) ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino influye en la fluidez del concreto de ultra alto rendimiento?
- c) ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a los cloruros del concreto de alto rendimiento?
- d) ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a los cloruros del concreto de ultra alto rendimiento?
- e) ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a la compresión del concreto de alto rendimiento?
- f) ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino influye la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Determinar el relave minero como sustituto del agregado fino para mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto de alto y ultra alto rendimiento.

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- a) Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar el asentamiento del concreto de alto rendimiento.
- b) Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar la fluidez del concreto de ultra alto rendimiento.

- c) Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar la resistencia a los cloruros del concreto de alto rendimiento.
- d) Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar la resistencia a los cloruros del concreto de ultra alto rendimiento.
- e) Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para incrementar la resistencia a la compresión del concreto de alto rendimiento.
- f) Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para incrementar la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento

## **1.4 Delimitación de la investigación**

### ***1.4.1 Geográfica***

Se realiza en Perú y posee diversas fuentes de estudios experimentales.

### ***1.4.2 Temporal***

Se ejecuta dentro de los meses de mayo a noviembre del 2023.

### ***1.4.3 Temática***

El tema principal de esta investigación es el estudio de la variable independiente, que son los residuos mineros, para mejorar las propiedades del UHPC y el HPC tanto en estado fresco como endurecido. Esto nos permitirá determinar el porcentaje óptimo en el que los diseños tienen un mejor asentamiento, fluidez, resistencia y durabilidad frente a los cloruros.

### ***1.4.4 Muestral***

Son los ensayos del concreto en estado fresco y endurecido los cuales se rigen según las normas ASTM, Normas Técnicas Peruanas e internacionales.

## **1.5 Justificación**

### ***1.5.1 Conveniencia***

Se demostrará que beneficios posee la aplicación de relaves como sustitución del árido fino en las dosificaciones del hormigón de alto y ultra alto rendimiento, asimismo, mostrará como estos tipos de concreto se usarían en diversos tipos de construcciones. Lo cual podría llegar a convertirse en futuros temas de estudio en los cuales los relaves funcionen como una alternativa más económica a los agregados.

### ***1.5.2 Relevancia Social***

Resulta importante socialmente, ya que fomenta el uso de los relaves mineros, ofreciendo una opción económica para mejorar las propiedades de los UHPC y HPC frescos y endurecidos. Además, los relaves serán una opción de menor impacto ambiental a causa de la industria de la construcción.

### ***1.5.3 Aplicaciones prácticas***

El empleo de este tipo de concreto radica en ser una opción viable en construcciones de gran envergadura como es el caso de puentes, túneles subterráneos y edificios de gran altura, aprovechando de que el Perú es un país con diversas minas y relaves existentes. Las cuales mejorarían las propiedades del UHPC y HPC.

### ***1.5.4 Utilidad metodológica***

Corresponde a una investigación documental o bibliográfica, la cual pretende responder las hipótesis planteadas con información de otros autores, la cual será recopilada, analizada y con ella realizar las conclusiones pertinentes.

### ***1.5.5 Valor teórico***

Esta investigación proporcionará información sobre los relaves mineros y su relación con la mejora de las propiedades de los HPC y los UHPC, con el objetivo de promover la investigación sobre el uso de los relaves para mejorar la resistencia, la trabajabilidad, la fluidez y la resistencia a los cloruros.

## **1.6 Importancia del estudio**

### ***1.6.1 Nuevos conocimientos***

Sé proporcionara un análisis detallado sobre el contraste entre las propiedades del UHPC y el HPC al emplear residuos de la minería de hierro en la preparación de la mezcla. Además, se destacarán otros estudios significativos relacionados con esta temática para brindar un contexto más completo y enriquecer la comprensión del tema en cuestión.

### ***1.6.2 Aporte***

Dar a conocer el uso de nuevas alternativas a los agregados tradicionales, provenientes de los relaves mineros, determinando un porcentaje de reemplazo parcial para el agregado fino y así mejorar las propiedades del concreto UHPC y HPC.

## **1.7 Limitaciones del estudio**

### ***1.7.1 Metodológicos o prácticos***

Dado que nuestra investigación se enmarca en un enfoque descriptivo, nuestra principal fuente de referencia se basó en estudios científicos ya existentes. En

consecuencia, no llevamos a cabo pruebas de laboratorio para recopilar datos originales destinados a nuestro análisis.

### ***1.7.2 Medidas para la recolección de los datos***

En los artículos y tesis recopilados, se observó la variabilidad de formatos utilizados, los cuales estaban adaptados a las condiciones y los procedimientos de laboratorios específicos de cada investigación. Además, aunque se emplearon diversos recursos como tesis, normas, artículos científicos y libros, es importante reconocer que la disponibilidad de estos recursos puede variar y, en algunos casos, no todos los materiales deseados estuvieron disponibles.

### **1.8 Alcances**

La presente investigación se enfoca en analizar los resultados de las propiedades del hormigón de alto y ultra alto rendimiento en estado fresco y endurecido, cuando se aplica un porcentaje de relave minero hierro en la preparación de la mezcla. Este enfoque se motiva por el crecimiento acumulativo de los relaves en nuestro país a lo largo del tiempo y la posibilidad de que estos relaves puedan ofrecer ventajas y mejoras al concreto.

### **1.9 Viabilidad**

Se dispone con recursos humanos, económicos, materiales y de tiempo; disposición a la información de investigaciones pasadas relacionados al tema que se va a tratar y conocimientos propios que son necesarios para el desarrollo de esta tesis.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco histórico

La minería es una actividad en la cual se extraen sustancias minerales de la naturaleza, según De La Cruz y Hugo (2003) la metalurgia más antigua del Perú se le atribuye a la Cultura Chavín, quienes trabajaban con el oro mezclado con plata y cobre, en la época colonial se comenzaron a utilizar distintos procesos para la obtención del mineral como son el método de amalgamación el azogue, hornos busconiles y concentración gravimétrica.

En el Perú tiene una principal fuente de minerales a nivel internacional, según Larrain Vial (2012), esta fuente se ubica en los andes peruanos (sierra) en la cual se puede encontrar gran variedad de estos minerales como son el oro, plata, cobre, hierro, zinc entre otros. En la actualidad, debido a la extracción del mineral se generan relaves, que son rocas molidas y fluidos procesados por molinos o concentradores que posteriormente son almacenados en tranques o depósitos de relaves.

La industria minera es criticada por su papel hace el medio ambiente, el IIMP (2021) estima que para 2030 el Perú podría generar más de 4 millones de toneladas de relaves minero, el cual se podría ser aprovechado para poder realizar materiales de construcción como son los ladrillos, baldosas y concreto. Según Ally et al. (2021) depende de las propiedades de estos relaves el poder considerarse como material de reemplazo total o parcial para poder fabricar el concreto, ladrillos, etc.

Dean et al. (1995) plantearon la utilización de relaves de oro como agregado a fin de fabricar bloques y ladrillos de concreto, concluyendo su uso mejora los requerimientos del ASTM para la fabricación de estos elementos. Por otra parte, Das et al. (2000) utilizaron los áridos de mineral de hierro para la manufactura de pisos cerámicos y azulejos, pudiendo determinar que un reemplazo de hasta 40% relaves por arcilla mejora las propiedades de resistencia y dureza de los cerámicos debido a la gran cantidad de sílice que posee este material.

Los relaves de hierro también se han empleado como reemplazo de la arena en la manufactura de concreto lanzado, Liu et al. (2011) demostraron que al sustituir un 20% de relaves se mejora el rendimiento del concreto. A partir de estas investigaciones se hace necesario conocer más beneficios del IOT como reemplazo de materiales para ayudar en la sostenibilidad ambiental y económica.



## **2.2 Investigaciones relacionadas con el tema**

### **2.2.1 Investigaciones internacionales**

Jaramillo (2020) planteó la evaluación de las propiedades del UHPC, además de realizar una comparación de costos en este tipo de hormigón usando materiales cementantes como reemplazo. Se aplicaron 2 tipos de materiales sustitutos: el polvo de vidrio y el carbonato de calcio; en 2 dosificaciones, la cual se comparó con una dosificación de control en la cual los únicos aglutinantes son el cemento y el humo de sílice. Las tres dosificaciones fueron evaluadas en estado fresco y endurecido a las 7, 28 y 90 días. Se concluyó que, en el ensayo a compresión, los diseños usando materiales sustitutos mostraron valores sobre el 90% a los 90 días de rotura al compararlo con el concreto patrón, no obstante, la dosificación 3 mejoró propiedades como durabilidad, permeabilidad al ion cloruro en comparación al diseño de control.

López (2019) propuso el uso de los relaves de granito y fluorita provenientes de una cantera y mina respectivamente, los cuales sustituirán de forma total o parcial los agregados naturales durante dosificación del UHPC con fibras de acero (HMARF), se realizó una dosificación para que se garantice un valor de resistencia a la compresión mayor a 110MPa. Asimismo, el estudio busca ayudar a buscar un material para reutilizarse en la construcción además de que su uso contribuirá a la sostenibilidad del HMARF. Para la fabricación del hormigón se realizó una sustitución del 35%, 50% 70% y 100 del agregado fino y las propiedades a evaluarse fueron: absorción de agua, consistencia, resistencia y retracción.

Los ensayos ayudaron a concluir que se produjo un aumento la compresión para todos los diseños realizados. El óptimo resultado se logró para un 35% de granito como sustituto mejorando un 21% el concreto patrón. Para la resistencia flexión, los resultados fueron dispersos, el uso de granito como sustituto generó valores comparables al concreto patrón mientras que los residuos de fluorita muestran una menor resistencia. La retracción del concreto diseñadas no fue afectada ante la sustitución por los distintos elementos, ya que las variaciones son muy pequeñas teniendo valores entre 0.020% y 0.033%.

Shettima (2017) menciona que existe la posibilidad de usar IOT para sustituir arena de río natural en la elaboración de hormigón. Realizó ensayos de a fin de caracterizar el material "IOT" en términos de microestructura, propiedades físicas y químicas. También determinó el comportamiento de lixiviación de los materiales IOT. Además, ejecutó un diseño de mezcla y una evaluación en las propiedades del hormigón con IOT. Preparo series de concreto con IOT a un nivel de reemplazo de 25%, 50%, 75%

y 100%, usando una relación agua cemento (a/c) de 0.40 y 0.60. Estudió las propiedades frescas de las mezclas en términos de revenimiento y densidad del concreto. Las propiedades endurecidas examinadas son resistencias mecánicas, características de deformación, propiedades de durabilidad y medición de la corrosión. Los resultados mostraron que el IOT afecta negativamente la trabajabilidad en los diseños de mezcla. Sin embargo, al incluir superplastificante, se mostró una tremenda influencia en el aumento de la trabajabilidad y redujo este inconveniente. Al 50% de reposición, la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días fue de 65,6 y 37,7 MPa para 0,40 y 0,60 relación a/c, respectivamente, lo que muestra una mejora del 9% y 12% respecto al hormigón con arena de río. El hormigón con IOT indica una buena resistencia sobre la carbonatación en comparación con la muestra de control. En vista de los resultados de las pruebas, el reemplazo del 50 % de arena de río con IOT dio como resultado un concreto de excelente resistencia y rendimiento de durabilidad adecuado, excepto por la exposición al ataque ácido.

### ***2.2.2 Investigaciones nacionales***

García (2018) buscó encontrar un diseño de concreto de alto rendimiento añadiendo microsilice y superplastificante para poder aumentar las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido. Se realizaron varios diseños con adición de microsilice en porcentajes, además del uso de aditivos superplastificante, mientras la relación agua/aglutinante varía. Los resultados muestran que el mejor diseño de mezcla es cuando la relación de agua/aglutinante es 0.30 con 1.6% de superplastificantes y 6% microsilice, dado que su resistencia a compresión y flexión es  $793.8 \text{ kg/cm}^2$  y  $16.2 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente mientras que para los ensayos en estado fresco se obtiene una mejor manejabilidad, disminución de la segregación y exudación.

Saavedra y Beingolea (2019) buscaron analizar la influencia de los relaves mineros y material de socavón; para poder realizar un cambio en el árido fino y agregado grueso. Se prepararon diseños de mezcla para obtener resistencias normales de 280, 350 y  $450 \text{ kg/cm}^2$  a los 7, 14, 21 y 28 días. Se obtuvo como resultado que las dosificaciones de  $280 \text{ kg/cm}^2$  y  $350 \text{ kg/cm}^2$  tuvieron resultados favorables; sin embargo, para el concreto de  $450 \text{ kg/cm}^2$  las resistencias no superaron la resistencia estimada puesto que el relave contenía un exceso de humedad y que el tiempo de secado no fue el suficiente, demostrando así que para este tipo de concreto se necesita mayor tiempo.

Chavarry (2018) manifiesta que, debido a la disminución del agregado, usar un material suplementario como el polvo de granito triturado para mejorar las propiedades UHPC. Utilizó la adición del polvo de granito en 5%, 10% y 15% de aglutinantes en peso para diversas resistencias y así poder comparar con el concreto patrón. Además, se evaluó el impacto ambiental que producía el granito en la producción del concreto y elaboró una comparación de precios en la elaboración de un hormigón patrón y uno con adición de polvo de granito. Los ensayos dieron como resultado que el porcentaje ideal de polvo de granito es del 10%, lo que aumenta la resistencia en un 15%. Sin embargo, porcentajes superiores disminuyen la resistencia. El uso del granito mejoró la resistencia al desgaste, pero para hormigones de más de 420 kg/cm<sup>2</sup> disminuyó su durabilidad.

### ***2.2.3 Artículos relacionados al tema***

Zhao et al. (2014) investigaron un material de reemplazo para el árido fino en el diseño del UHPC debido al alto costo de producción, se utilizaron relaves de hierro como reemplazo de la arena natural en porcentaje de 20%, 30%, 40%, 50% y 100%, además del uso de un aditivo superplastificante para obtener una relación más baja de agua/aglutinante y un 2% de fibras de acero. El cálculo de las propiedades mecánicas se determinó a concretos sometidos a un curado estándar y al vapor para tiempos de 3, 7,28 y 90 días. Se pudo concluir que el uso de relaves redujo la fluidez del concreto debido a la rugosidad del relave, en tanto su resistencia disminuyó al incrementar el porcentaje de sustitución; no obstante, el hormigón con adición de fibras de acero con porcentajes menores a 40% de sustitución de relaves de hierro poseen propiedades mecánicas similares a la mezcla patrón.

Hao y Du (2017) manifiestan que, buscaron un material de reemplazo para el árido fino en el diseño de un concreto C50. Se usó relaves de hierro como reemplazo total de la arena y grava natural, centrándose en la trabajabilidad, resistencia a la compresión, resistencia a las heladas e impermeabilidad. Se pudo concluir que el uso de relaves redujo el asentamiento del concreto debido a la rugosidad del relave, en tanto su resistencia disminuyó mínimamente respecto al patrón, mientras que la resistencia a los cloruros e impermeabilidad mejoraron significativamente al reemplazar la arena con relaves de hierro.

Zhang et al. (2020) evaluaron los efectos de relaves de hierro en las propiedades mecánicas del UHPC como son la resistencia y permeabilidad, se realizaron reemplazos de 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % y 100 % en peso como reemplazo de la arena para poder reducir el costo de manufactura. Se hicieron ensayos para hallar la resistencia a la

compresión, penetración por cloruros, además de pruebas de porosimetría. Finalmente se determinó que el reemplazo de relaves de hierro en 40% tiene una mayor resistencia a compresión y baja permeabilidad. Asimismo, el ensayado de porosidad muestra que el concreto se optimiza cuando se reemplaza el relave a un 60%.

Zhao et al. (2021) tuvieron como objetivo la evaluación del reemplazo de relaves de hierro en porcentajes de 25%, 50% 75% y 100% con la arena al concreto de ultra altas prestaciones. Se evaluaron propiedades en estado fresco como, mientras que las propiedades en estado endurecido fueron evaluadas con ensayos de compresión y microporosidad. A partir de los resultados concluyeron: el incremento del porcentaje de sustitución de relave, disminuye la trabajabilidad mientras aumenta el contenido de aire, además se pudo observar que, si se coloca mayor contenido de relave de hierro, la compresión disminuye; no obstante, se puede llegar a la resistencia indicada con a un 50%, de reemplazo. También se observó que la porosidad es directamente proporcional al porcentaje de reemplazo afectado así la estructura interna del hormigón.

Jayasimha et al. (2022) tuvieron como objetivo aumentar el valor de los relaves investigando su aplicación potencial como sustituto de las partículas finas en el concreto de alta resistencia. Se realizaron reemplazos en porcentajes de 0, 10, 20, 30, 40 y 50%. Con una relación a/c de 0.32, prepararon en el laboratorio una mezcla de concreto de 60 MPa. Los períodos de curado del hormigón fueron de 28 y 56 días, respectivamente. Evaluaron parámetros del concreto tales como trabajabilidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, módulo de Young, permeabilidad, sorción, difusión de iones de cloruro y resistencia al ataque ácido. A partir de los resultados concluyeron que la utilización de relaves de mineral de hierro en el hormigón mejora su trabajabilidad y sus atributos físicos, como la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción, el módulo de elasticidad y el módulo de rigidez.

Zhang et al. (2020) tuvieron como objetivo reutilizar los relaves de hierro como un árido fino en el hormigón debido a que muestra una retracción notablemente mayor. Presentaron la caracterización de la contracción y la eficiencia de reducción de la contracción de tres métodos diferentes en relaves de hierro, hormigón con arena y hormigón con arena de río. También se controló la humedad interna para revelar el mecanismo de reducción de la contracción. Los resultados obtenidos indicaron que la retracción autógena y total del concreto de arena con relaves de hierro fue 9.8% y 13.3% mayor que el concreto de arena de río a la edad de 90 días, respectivamente. El agente reductor de la contracción (SRA) fue el método para reducir la contracción de forma más

eficaz en el hormigón de arena de río, mientras que, para el hormigón de arena de relaves de hierro, el polímero superabsorbente (SAP) y el revestimiento de encofrado permeable controlado (CPFL) funcionó mejor en la contracción autógena y la contracción por secado. respectivamente.

Rao y Gayana (2019) sostienen que, plantearon evidenciar el impacto de la incorporación de metacaolín (MK) y estériles de mineral de hierro en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto de alta resistencia utilizando una relación agua/aglutinante de 0.33. Realizaron mezclas de concreto con metacaolín para sustituir el cemento del 0, 8, 10 y 12%, y con estériles de mineral de hierro como sustituto del árido fino a un porcentaje constante óptimo del 30%. Se diseñaron para una resistencia objetivo y un asentamiento de 50 mm. A partir de los resultados concluyeron que el nivel de reemplazo del 10 % fue el nivel óptimo en términos de resistencia a la compresión. Más allá de los niveles de reemplazo del 10%, la resistencia disminuyó, pero permaneció más alta que la mezcla de control. Los valores de resistencia a la tracción, resistencia a la flexión y módulo de elasticidad también han seguido la misma tendencia. En las pruebas de durabilidad, los concretos de metacaolín y relaves de mineral de hierro han exhibido una alta resistencia en contraste con la mezcla de control y la resistencia incrementa a medida que aumenta el porcentaje de metacaolín. Esta investigación ha demostrado que los relaves de metacaolín y mineral de hierro tienen el potencial de producir hormigones de alta resistencia y alto rendimiento.

Mu (2021) analizó como influye el uso de relaves de hierro como sustitución de arena manufacturada en porcentajes de 25,50,75 y 100% y así compararlos con el diseño patrón. Realizó ensayos de resistencia, permeabilidad, contracción por secado y estructura de poros. A partir de los resultados, se observó que el porcentaje más recomendable para tener una mejor resistencia y permeabilidad es de 50%, ya que, al tener un reemplazo mayor, las propiedades del UHPC se asemejan al del concreto patrón. Asimismo, se pudo determinar que las partículas de los relaves de hierro se usan para poder rellenar los poros del concreto lo que está vinculado de forma directa con la permeabilidad.

Gu et al. (2022) plantearon el uso de relaves de la mina de hierro Waitoushan para poder usarlo como reemplazo de la arena natural en el UHPC, pudiendo así aliviar el costo de producción y buscar una opción más respetuosa con el medio ambiente. Estos relaves se reemplazaron en porcentajes de 10, 20, 40 y 100% pudiendo así evaluar sus propiedades. En los resultados, se pudo determinar que la trabajabilidad del concreto se

reduce con el incremento de los relaves, siendo 40% el porcentaje máximo para sustituir al agregado fino. Los ensayos de resistencia a la flexión refleja que el reemplazo de relaves mejor la resistencia a las edades de 7 y 28 días mientras que para la resistencia a la compresión se observó que con el incremento de relaves, la resistencia se incrementó y luego disminuyó rápidamente a mayor uso de relaves, siendo así 40%, el porcentaje óptimo de reemplazo.

Bangalore Chinnappa y Karra (2019) investigaron el uso de alcofina como reemplazo del cemento y los relaves de hierro sustituyendo árido fino. La alcofina se reemplazó en 10% por el cemento mientras que el IOT se reemplazó de 0, 10, 20, 30,40 y 50% en volumen, asimismo se usó 3 relaciones agua/cemento. Se evaluó la trabajabilidad con el ensayo de asentamiento en el cual se pudo observar que este disminuía a medida que se iba reemplazando los relaves- alcofina. Para la resistencia a la compresión se obtuvo que para la relación  $a/c = 0.35$  el porcentaje óptimo es de 40% reemplazo mientras que para  $a/c=0.40$  el porcentaje óptimo es 30%, sin embargo, para la relación  $a/c =0.45$  este porcentaje disminuye 20%.

### **2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio**

#### **Relaves mineros**

Los relaves son residuos sólidos de las operaciones mineras, según Romero (2015), estos relaves subproductos de procesos mineros y concentración de metales son materiales residuales del proceso de chancado o molienda después de haber extraído los minerales valiosos. En la Tabla 1 podemos observar la composición química de los relaves.

**Tabla 1***Composición química del relave de hierro (% en peso)*

<b>Composición</b>	<b>IOT</b>
SiO <sub>2</sub>	69.08
CaO	5.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.74
MgO	6.06
Na <sub>2</sub> O	0.39
K <sub>2</sub> O	0.34
SO <sub>3</sub>	0.48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.88
LOI	0.89

*Nota.* Zhao et al. (2021, p.5).

### **Agregados**

Según Espinoza (2010) los agregados se definen como materiales pétreos que provienen de la trituración de rocas o su desintegración de forma natural, en su mayoría ocupan 3/4 de la capacidad total del hormigón, además de ser durables y evitar su contacto con sustancias químicas para evitar que reacciones con el concreto.

Los agregados se clasifican en agregados finos y agregados gruesos basándose en su tamaño. Los agregados finos son aquellos que se encuentran entre el tamiz 3/8 pulg y la malla No. 200 mientras que los agregados gruesos son los que se quedan retenidos en la malla No. 4 y además deben de respetar los límites establecido en la NTP 400.037.

### **Concreto de alto rendimiento**

Según el ACI es un hormigón diseñado para ser más duradero y tener mayor resistencia, este concreto de alto rendimiento (HPC) está compuesto por materiales similares a los del concreto convencional; sin embargo, las proporciones varían de acuerdo a los requisitos estructurales.

Por lo general este concreto de alto desempeño aparte de usar materiales convencionales, también utiliza materiales complementarios y aditivos para poder cumplir con las necesidades de resistencia y durabilidad de grandes obras de infraestructura.

### **Concreto de ultra alto rendimiento**

Según el ACI 239R (2018) es un tipo de concreto que ofrece una mayor resistencia, ductibilidad bajo tensión y durabilidad en comparación al hormigón normal o incluso el de alto rendimiento. El hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC) tiene como componentes al humo de sílice, fibras, arena de cuarzo y aditivos reductores de agua; sin embargo, se han encontrado diferentes variaciones. En la Tabla 2 podemos observar las posibles mezclas del UHPC.

**Tabla 2**

*Dos posibles proporciones de mezcla de UHPC por masa*

Componentes del UHPC	Proporción de Mezcla 1	Proporción de Mezcla 2
Cemento	1	1
Humo de sílice	0.325	0.389
Arena	1.432	0.967
Polvo de cuarzo/polvo de sílice	0.300	0.277
Aditivo reductor de agua de alto rango	0.027	0.017
Agua	0.280	0.208
Fibras de acero	0.200	0.310

*Nota.* Adaptado de ACI 239R (2018).

### **Norma ASTM C1856**

Standard Practice for Fabricating and Testing Specimens of Ultra-High Performance Concrete, es el estándar que cubre los procedimientos para la fabricación y ensayos del UHPC. El estándar nos brinda los parámetros de evaluación y cuáles son los límites en las propiedades de este tipo de concreto.

### **Norma ASTM C1202**

Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, es el estándar que se utiliza para poder determinar cuál es el índice de permeabilidad del concreto ante los cloruros, mediante la conducción de un



campo eléctrico. El índice de permeabilidad se clasifica según la carga que se registra siendo estos: alta, moderada, baja, muy baja y despreciable.

## **2.4 Definición de términos básicos**

### **Asentamiento**

Según Ramirez (2017), “es un método de ensayo en la cual se halla la consistencia del hormigón usando el ensayo del cono de Abrams, se realiza llenando este en un máximo de 2 minutos y medio” (p.32). El ensayo mide la diferencia de alturas del cono y el concreto al ser retirado

### **Humo de sílice**

López (2019), afirma que “el humo de sílice (SF) o microsilice es un producto secundario, el cual se obtiene de los hornos de silicio y ferrosilicio partiendo de ciertos minerales como son el cuarzo, caliza y hierro” (p.27).

### **Diseño de mezcla**

Según López (2019) es el proceso en el cual se trata de utilizar los ingredientes más adecuados para realizar una dosificación optima, puesto que tiene el objetivo de alcanzar un concreto que en estado fresco posea un asentamiento y trabajabilidad de forma correcta, y a su vez endurecido debe cumplir con los requisitos proyectados anteriormente.

### **Aditivos superplastificantes**

Según Sika Perú (2013), “los aditivos superplastificantes mejoran la manejabilidad del concreto. Esto produce que el contenido de agua y cemento disminuya por lo que el hormigón será más trabajable” (p.13).

### **Resistencia a la compresión**

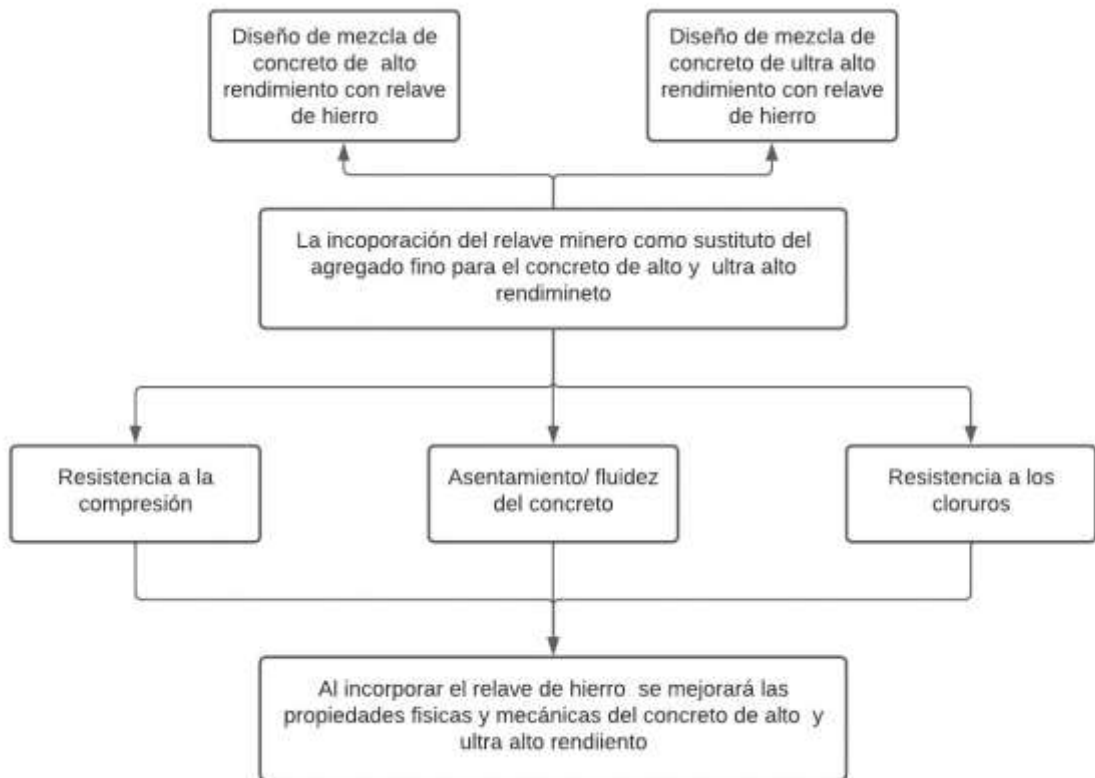
Esta es una propiedad mecánica única del hormigón. Se define como la capacidad de soportar una carga por unidad de superficie, y suele expresarse normalmente en kg/cm<sup>2</sup>. Se utiliza principalmente para verificar que una estructura de hormigón cumpla con la resistencia estructural especificada ( $f'c$ ).

## 2.5 Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

A continuación, se muestra el mapa conceptual en la Figura 2.

**Figura 2**

*Mapa conceptual*



*Nota.* Elaboración propia.

## CAPÍTULO 3: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 Hipótesis general

Al determinar el relave minero como sustituto del agregado fino mejoran las propiedades físico-mecánicas del concreto de alto y ultra alto rendimiento.

#### 3.1.2 Hipótesis específicas

- a) Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino mejora el asentamiento del concreto de alto rendimiento.
- b) Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino mejora la fluidez del concreto de ultra alto rendimiento.
- c) Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino mejora la resistencia a los cloruros del concreto de alto rendimiento.
- d) Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino mejora la resistencia a los cloruros del concreto de ultra alto rendimiento.
- e) Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino incrementa la resistencia a la compresión del concreto de alto rendimiento.
- f) Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino incrementa la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento.

### 3.2 Sistema de variables

#### 3.2.1 Definición conceptual

##### **V.I:** Relaves mineros

Los relaves son residuos sólidos de las operaciones mineras, según Romero (2015), estos relaves subproductos de procesos mineros y concentración de metales son materiales residuales del proceso de chancado o molienda después de haber extraído los minerales valiosos.

##### **V.D:** Propiedades físicas

Son aquellas que se pueden determinar sin que cambie su composición mediante ensayos como son asentamiento, fluidez, contenido de aire entre otros.

##### **V.D:** Propiedades mecánicas

Son aquellas en el cual el concreto en estado endurecido soporta diversas fuerzas mecánicas, definiendo así parámetros como son las propiedades de resistencia, quienes servirán para un diseño estructural.

### ***3.2.2 Definición operacional***

#### **V.I:** Relaves mineros

Se establecerá el porcentaje óptimo de relaves que se deberá sustituir en la dosificación del concreto de alto y ultra alto rendimiento, a partir de investigaciones nacionales, internacionales y artículos relacionados al tema.

#### **V.D:** Propiedades físicas

Se recopilarán datos de ensayos de asentamiento para poder determinar cómo influye el uso de los relaves en los diseños de mezcla.

#### **V.D:** Propiedades mecánicas

La resistencia se midió con los ensayos de resistencia a los cloruros y a la compresión, ambos realizados en laboratorios por los diferentes autores en investigaciones anteriores.

### ***3.2.3 Operacionalización de las variables***

A continuación, se muestra el cuadro de operacionalización de variables en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Operacionalización de Variables*

<b>Variables</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índices</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Escala</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Herramientas</b>
VI Relaves Mineros	Los relaves son residuos sólidos de las operaciones de las mineras, según Romero (2015), estos relaves subproductos de procesos mineros y concentración de metales son materiales residuales del proceso de chancado o molienda después de haber extraído los minerales valiosos.	Se establecerá el porcentaje óptimo de relaves que se deberá sustituir en la dosificación del concreto de alto y ultra alto rendimiento, a partir de investigaciones nacionales, internacionales y artículos relacionados al tema.	Dosificación del Relave	Porcentaje de relaves mineros	Porcentaje adecuado de sustitución	Porcentaje (%)	Cuantitativa Continua	Normas nacionales e internacionales, revisiones bibliográficas en tesis, artículos, manuales y normas.	-Ensayo de Microscopía de electrónica de barrido (SEM)

	Se encontrarán datos de ensayos de fluidez y asentamiento para poder determinar la influencia de los relaves en los diseños de mezcla.	Se recopilarán datos de ensayos de asentamiento para poder determinar cómo influye el uso de los relaves en los diseños de mezcla.	Estado Fresco	Fluidez	Ensayo de Asentamiento	pulgadas		Formatos de laboratorio	-ASTM C 1611 - Método de Prueba para el Flujo de Asentamiento
VD	Son aquellas en el cual el concreto en estado endurecido soporta diversas fuerzas mecánicas, definiendo así parámetros como son las propiedades de resistencia a la tracción, compresión, flexión y torsión	La resistencia se midió con los ensayos de resistencia a los cloruros y a la compresión, ambos realizados en laboratorios por los diferentes autores en investigaciones anteriores.	Estado endurecido	Resistencia a los Cloruros	Ensayo resistencia a cloruros	mm	Cuantitativa Continua	Normas nacionales e internacionales, revisiones bibliográficas en tesis, artículos, manuales y normas.	-ASTM C 1202- Método de prueba estándar para la indicación eléctrica de la capacidad del hormigón para resistir la penetración de iones de cloruro.
Propiedades Físicas y Mecánicas del concreto de alto y ultra alto rendimiento				Resistencia	Compresión	Kg/cm2			-NTP 339.034 ASTM C 39 Ensayo de resistencia a la compresión

Nota. Elaboración Propia.

## **CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA**

La investigación se basa en la revisión documental y bibliográfica, ya que se enfocó en recopilar, adquirir y sintetizar información relacionada con el uso del relave del mineral de hierro para mejorar las propiedades físico-mecánicas del HPC y UHPC, lo que a su vez permite optimizar y reducir los costos asociados a su aplicación en proyectos de construcción. Durante el proceso, se determinaron ciertos parámetros que ayudarán a identificar el porcentaje óptimo de relave de hierro a utilizar, según lo revelado por la investigación. Para llevar a cabo esta revisión, se recurrió a diversas fuentes documentales, que incluyeron artículos científicos, tesis, libros, revistas especializadas y otros recursos relevantes. La información más pertinente para el estudio se seleccionó cuidadosamente y se incorporó en el análisis utilizando citas, tablas y figuras.

La metodología de investigación seguida en este estudio se asemeja a la utilizada por Chavarry et al. (2020) en su artículo titulado "Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica". Este enfoque se caracteriza por ser deductivo, emplear un enfoque cuantitativo de orientación aplicada, llevar a cabo la recolección de datos retrospectivamente y tener un carácter descriptivo, explicativo y correlacional. El diseño de la investigación es experimental, longitudinal y retrospectivo, siguiendo un enfoque de estudio de cohorte.

### **4.1 Método de investigación**

El método deductivo se utilizó principalmente en esta investigación ya que el objetivo del estudio fue analizar el uso de los relaves mineros para mejorar las propiedades físico- mecánicas del UHPC y HPC. La orientación fue aplicada pues a lo largo de esta investigación se buscó resolver el problema planteado. El tipo de método fue cuantitativo ya que se realizó comparaciones de los datos obtenidos, los cuales tienen orientación numérica. La recolección de la información se realizó de manera retrolectiva ya que se utilizaron tesis y artículos científicos elaborados por otros autores en cuanto a recolección de datos implica.

### **4.2 Tipo de la investigación**

El tipo de investigación fue descriptiva, explicativa y correlacional, ya que se enfocó en describir las características y propiedades del relave de hierro, y en explicar el efecto del uso de relaves mineros como sustituto del árido fino en las propiedades físicas

y mecánicas del UHPC y HPC. Asimismo, se consideró como correlacional porque la relación entre la variable dependiente e independiente se estableció debido a que las propiedades físicas y mecánicas del UHPC dependen de la inclusión de residuos mineros de hierro.

### **4.3 Nivel de la investigación**

El nivel de investigación adoptado se caracterizó como descriptivo, ya que durante este estudio no se altera la realidad y solo se inquirió en estudiar y especificar las propiedades físico-mecánicas del UHPC y HPC bajo la influencia de los relaves mineros. Esto se logró a través del análisis de resultados recopilados de la información proveniente de tesis y artículos científicos previamente elaborados por otros investigadores.

### **4.4 Diseño de investigación**

El diseño de la investigación se clasificó según el propósito del estudio siendo no experimental, ya que solo se realizó una recolección de datos de investigaciones pasadas y no se manipularon físicamente las variables. En cuanto al número de mediciones, fue longitudinal ya que sólo se estudiaron, analizaron y compararon las distintas mediciones realizadas en las investigaciones recogidas. En cuanto a la cronología de las observaciones, fue retrospectiva, pues se dispuso de los resultados de las investigaciones realizadas con anterioridad. Y por su estudio de diseño fue de tipo cohorte porque se basa en la comparación de resultados de investigaciones ya realizadas.

### **4.5 Población y muestra**

#### ***4.5.1 Población***

La población está constituida por toda la información recolectada, las cuales están conformadas por tesis de pregrado y artículos científicos, que permitirá dar a conocer de cómo los relaves mineros influyen en las propiedades físico-mecánicas del HPC y UHPC.

#### ***4.5.2 Muestra***

La muestra está constituida por el análisis de los resultados de estudios realizados por otros autores en los que se realizaron ensayos del HPC y UHPC utilizando residuos mineros como sustituto en distintas proporciones del agregado fino para comprobar que porcentaje es el óptimo a utilizar.

### **4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos**

#### ***4.6.1 Instrumento de recolección de datos***

Las herramientas empleadas para la recopilación de datos consistieron en pruebas de laboratorio realizadas en diversos proyectos de investigación, los cuales tenían una antigüedad de no más de 5 años. Estos proyectos incluyeron tesis y artículos científicos



tanto a nivel nacional como internacional. Además, en las investigaciones analizadas, se utilizaron los siguientes instrumentos como guías de referencia: IS-1199-1959 (Prueba de asentamiento del concreto para medir la trabajabilidad), BS EN 12350-2-2009 (Ensayo de hormigón fresco: ensayo de asentamiento), GB/T 17671-1999 (Método de prueba de cementos-Determinación de fuerza), ASTM C1202 (Procedimiento de prueba convencional para evaluar la capacidad eléctrica del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro), GB/T 50082-2009 (Estándar que describe los métodos de prueba para evaluar el rendimiento y la durabilidad a largo plazo del concreto convencional), IS: 516-1989 (Método de pruebas de resistencia del hormigón), BS EN 12390-3-2002 (Ensayos de hormigón endurecido. Resistencia a la compresión de las probetas) y ASTM C490-17 (Norma convencional para la utilización de dispositivos en la medición de la variación de longitud en cemento endurecido, mortero y concreto).

#### **4.6.2 Métodos y técnicas**

Los métodos y técnicas utilizados para esta tesis fueron la recolección de información de tesis y artículos científicos en buscadores como Scopus, CNKI, Wang Fang Data, Springer, Proquest, MDPI y ALICIA. Asimismo, la información de pruebas y ensayos obtenida por los autores se utilizaron para la creación de tablas de análisis y gráficos a fin de poder comparar, describir y explicar el comportamiento de los relaves en el HPC y UHPC.

#### **4.7 Descripción de procesamiento de análisis**

La recolección de datos se realiza en estudios que consisten en tesis y artículos científicos con una antigüedad no mayor a 5 años. Esto garantiza que las circunstancias existentes para cada elemento a estudiar no cambien demasiado, no afectando así a las conclusiones finales del estudio. Utilizando los resultados de los ensayos de laboratorio obtenidos de las tesis y varios artículos de investigación, se realizará un análisis mediante tablas comparativas y gráficos de barras verticales para determinar el porcentaje óptimo de residuos mineros para sustituir al agregado fino con el fin de mejorar el desempeño del UHPC y HPC.

## CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el desarrollo de la presente investigación se recolecto información acerca de la influencia del relave minero de hierro en las propiedades físicas y mecánicas, como la resistencia a la compresión, resistencia a los cloruros y trabajabilidad de un concreto de alto y ultra alto rendimiento.

### 5.1 Resultados de la investigación

- a) Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar el asentamiento del concreto de alto rendimiento.

A continuación, se muestra el resumen de autores para el asentamiento en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Artículos de asentamiento del HPC*

Ítem	Autor	Artículo	Relación w/b	IOT (%)
4	Zhang et al.	Utilización de arena de relaves de hierro como una alternativa ecológica a la arena natural de río en concreto de alta resistencia: caracterización de la contracción y estrategias de mitigación	0.35	0 y 100
5	Rao y Gayana	Efecto de los relaves de meta caolín y mineral de hierro en las propiedades del hormigón de alta resistencia	0.33	30
8	Bangalore Chinnappa y Karra.	Evaluaciones experimentales y estadísticas de propiedades de resistencia del concreto con relaves de mineral de hierro como agregado fino	0.35, 0.40 y 0.45	0, 10, 20, 30, 40 y 50
6	Shettima, A	Desarrollo de concreto sostenible utilizando mineral de hierro relaves como reemplazo de arena	0.4	0,25,50,75,100

*Nota.* Elaboración Propia.

**Autor 4:** Zhang et al. (2020)

- Tipo de cemento: Empleó cemento portland con una finura de 350 m<sup>2</sup>/kg, conforme al estándar chino GB175-2007. Se obtuvo de la empresa Chongqing Fuhuang. La escoria de alto horno granulada molida (GGBFS) con una superficie específica de 430 m<sup>2</sup>/kg también fue proporcionado por la misma empresa. Las cenizas volantes fueron suministradas por la central eléctrica de Chongqing Luohuang. La composición química del cemento, GGBFS y cenizas volantes se observan en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Composición química de los aglutinantes (% en peso)*

Composición	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI
GGBFS	33.04	14.48	0.44	0.34	37.40	9.63	1.33	0.27	2.56	0.84
Fly ash	46.02	25.46	16.46	0.22	1.27	0.53	0.12	1.57	1.58	4.50
PC	21.54	6.22	4.47	0.84	59.21	2.61	0.51	0.23	2.32	1.57

*Nota.* Zhang et al. (2020, p.3).

- Depósito de relave: La arena de relave de hierro fue proporcionada por un grupo minero en Shangluo, provincia de Shaanxi.
- Contenido de mezcla: Se prepararon mezclas con cemento, agregado grueso, arena natural, arena de relave de mineral de hierro, GGBFS, cenizas volantes, aditivo superplastificante y agua. La relación w/b para todas las combinaciones fue de 0.35. Se realizaron proporciones de mezclas de concreto que incorpora arena de relaves de hierro. Se utilizó una tasa de reemplazo del 100 % en este estudio. En todas las mezclas de concreto se utilizó como aditivo un superplastificante de policarboxilato al 1%. Se agregó un polímero superabsorbente (SAP) y un aditivo reductor a la contracción (SRA) como métodos de mitigación de mermas, así como la aplicación de un revestimiento de encofrado de permeabilidad controlada (CPFL). Además, debido a la alta capacidad absorbente de agua del SAP, la trabajabilidad del hormigón disminuiría severamente si se usara la misma proporción de agua a ligante. Por lo tanto, para mantener la misma trabajabilidad de los hormigones que contienen SAP con otras mezclas, se determinó el agua adicional, que se marcó como Wa/B. En la Tabla 6 se detalla las proporciones de las distintas mezclas para un concreto de alta resistencia con reemplazo de IOT.

**Tabla 6***Proporción de la mezcla de hormigón de arena y residuos de hierro (kg/m<sup>3</sup>)*

Grupo	Cemento	Cenizas Volante	Escoria	Arena de río	Arena de Relaves	Grava	Agua	Superplastificante	SAP	SRA	WA/B
T0	294	63	63	743.8	0	1093.7	147	4.2	-	-	-
T100	294	63	63	0	743.8	1093.7	147	4.2	-	-	-
T0-SAP	294	63	63	743.8	0	1093.7	147	4.2	2.52	-	0.05
T100-SAP	294	63	63	0	743.8	1093.7	147	4.2	2.52	-	0.05
T0-SRA	294	63	63	743.8	0	1093.7	147	4.2	-	4.2	-
T100-SRA	294	63	63	0	743.8	1093.7	147	4.2	-	4.2	-
T0-CPFL	294	63	63	743.8	0	1093.7	147	4.2	-	-	-
T100-CPFL	294	63	63	0	743.8	1093.7	147	4.2	-	-	-

*Nota.* Zhang et al. (2020, p.5).

- Método de ensayo: Los resultados se pueden observar en la Tabla 7 para las muestras con las que se trabajó. En la Nota. Zhang et al. (2020, p.7).
- *Figura 3*, se puede observar una comparación de los resultados.

**Tabla 7**

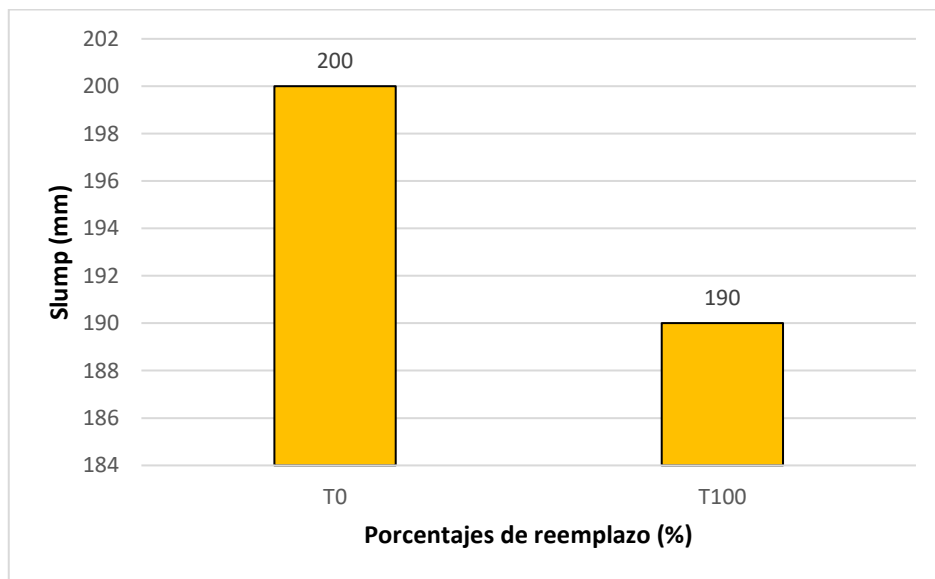
*Resultados de ensayo de ensayo de asentamiento*

Reemplazo de relave de hierro (%)	Asentamiento (mm)	Asentamiento (pulg)
T0	200	7.87
T100	190	7.48

*Nota.* Zhang et al. (2020, p.7).

**Figura 3**

*Resultados de ensayo de ensayo de asentamiento*



*Nota.* Zhang et al. (2020, p.7).

**Autor 5:** Rao y Gayana (2019)

- Tipo de cemento: Empleó cemento portland ordinario de grado 53.
- Contenido de mezcla: La proporción de mezcla de hormigón fue diseñada para el grado M50 de concreto. Se basa en las normas IRC 44 2017 e IRC 15. El metacaolín se reemplazó por cemento en los porcentajes de 0, 8,10,12 por ciento y la arena se reemplazó por IOT en porcentaje constante, es decir, porcentaje óptimo de 30%. La relación a/c para todas las mezclas se mantuvo en 0,33. Se

utilizó el superplastificante Conplast 430 como aditivo químico en una proporción del 2,0 % en peso para todas las mezclas a fin de mejorar la trabajabilidad del concreto. En la Tabla 8 se detalla las proporciones de las distintas mezclas para un concreto de alta resistencia con reemplazo de IOT.

**Tabla 8**

*Mezcla de diseño para hormigón de grado M-50 con reemplazo de IOT*

Material	MK-0%	MK-0%	MK-8%	MK-10%	MK-12%
	IoT-0%	IoT-30%	IoT-30%	IoT-30%	IoT-30%
Cemento (kg)	436.36	436.36	401.36	392.73	384
Metacaolín (kg)	0	0	34.9	43.63	52.36
Agregado fino (kg)	625.64	454.17	436.46	436.46	436.46
IOT (kg)	0	230.09	229.51	229.51	229.51
Agregado grueso (kg)	1341.42	1341.42	1338.02	1338.02	1338.02
Adición (kg)	8.73	8.73	8.73	8.72	8.72
Agua (kg)	144	144	144	144	144

*Nota.* Rao y Gayana (2019, p.37).

- Método de ensayo: El concreto fue diseñado para un asentamiento de 50 mm. Los resultados se pueden observar en la Tabla 9 para las muestras con las que se trabajó. En la Nota. Rao y Gayana (2019, p.37).

- *Figura 4*, se puede observar una comparación de los resultados.

**Tabla 9**

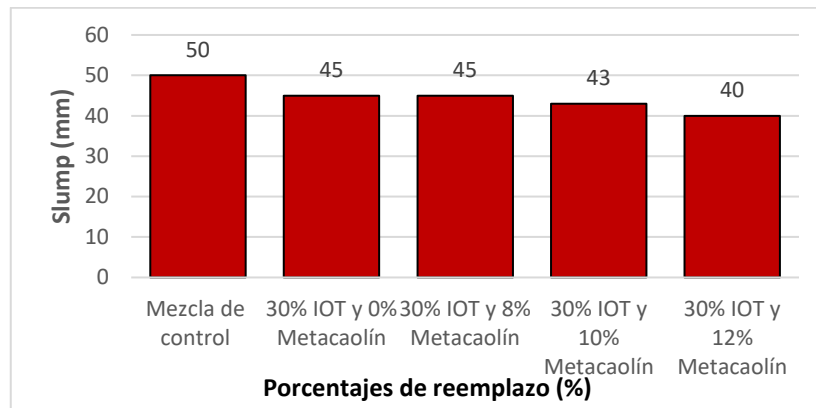
*Resultados de ensayo de ensayo de asentamiento*

Reemplazo de relave de hierro (%)	Asentamiento (mm)	Asentamiento (pulg)
Mezcla de control	50	1.97
30% IOT y 0% Metacaolín	45	1.77
30% IOT y 8% Metacaolín	45	1.77
30% IOT y 10% Metacaolín	43	1.69
30% IOT y 12% Metacaolín	40	1.57

*Nota.* Rao y Gayana (2019, p.37).

#### Figura 4

Comparación de los valores de Slump del hormigón



Nota. Rao y Gayana (2019, p.37).

#### Autor 8: Bangalore Chinnappa y Karra (2019)

- Tipo de cemento: Utilizó cemento portland ordinario (OPC) de grado 53 conforme a la normativa india IS:12269. Además, se utilizó Alcoffine-1203 como material cementoso complementario.
- Depósito de relave: El relave de mineral de hierro se obtuvo de un estanque de relaves de una mina de mineral de hierro ubicada en el sur de la India. La composición química del IOT y aglutinantes complementarios se observan en la Tabla 10.
- Contenido de mezcla: El diseño se realizó de acuerdo con la norma IS:10262 (BPI 2009), especificación para un hormigón de grado M40. Se reemplazó parcialmente al cemento por Alcoffine-1203 en un 10% y al agregado fino por IOT al 0, 10, 20, 30, 40 y 50% en volumen. La a/c designada para todas las mezclas se varió como 0.35, 0.40 y 0.45. El hormigón fue diseñado para un ensayo de trabajabilidad con asentamiento entre 25 y 50 mm. Además, utilizó superplastificante Conplast SP430 como aditivo reductor de agua entre 0.5% y 1.0% respecto al peso del OPC para las mezclas. Se produjeron seis lotes de proporciones de mezcla para cada tipo de a/c; por lo tanto, se prepararon un total de 18 lotes para tres relaciones a/c consideradas para proporciones de mezcla variables en el presente estudio. En la Tabla 11 se detalla las proporciones de las distintas mezclas para un concreto de alta resistencia con reemplazo de IOT.

**Tabla 10***Composición química por XRF del IOT y alcofina*

Composición	IOT (%)	Alcofine (%)
SiO <sub>2</sub>	49.75	34.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.742	21.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.03	1.1
CaO	4.057	34
MnO	0.171	-
K <sub>2</sub> O	0.5	-
ZnO	0.1	-
CuO	0.2	-
PbO	0.4	-
MgO	3.109	6.6
pH	8.03	-
Conductividad eléctrica (mS)	0.329	-

*Nota.* Bangalore Chinnappa y Karra (2019, p.3).**Tabla 11***Proporción de mezcla para muestras de hormigón con IOT*

Muestras	Cemento (kg)	Alcofine (kg)	Agrad o grueso (kg)	Agregado fino (kg)	a/c	Superplastificante (% en peso de cemento)	IOT (kg)
IOT1-0	445	50	1066	789	0.35	0.5	-
IOT1-10	445	50	1066	711	0.35	1	97
IOT1-20	445	50	1066	660	0.35	1	165
IOT1-30	445	50	1066	590.1	0.35	1	252.9
IOT1-40	445	50	1066	516.6	0.35	1	344.4
IOT1-50	445	50	1066	439.5	0.35	1	439.5
IOT2-0	386	43	1120	796	0.40	0.5	-
IOT2-10	386	43	1120	716	0.40	1	97.5
IOT2-20	386	43	1120	636.85	0.40	1	195.18
IOT2-30	386	43	1120	557.25	0.40	1	292.76
IOT2-40	386	43	1120	477.64	0.40	1	390.36
IOT2-50	386	43	1120	398.03	0.40	1	487.96



IOT3-0	346	39	1116. 5	861.3	0.45	0.5	-
IOT3-10	346	39	1116. 5	775	0.45	1	105.58
IOT3-20	346	39	1116. 5	720.16	0.45	1	180.04
IOT3-30	346	39	1116. 5	641.69	0.45	1	275.01
IOT3-40	346	39	1116. 5	563.48	0.45	1	375.65
IOT3-50	346	39	1116. 5	479.3	0.45	1	479.3

*Nota.* Bangalore Chinnappa y Karra (2019, p.4).

- Método de ensayos: La trabajabilidad del hormigón se caracterizó utilizando el ensayo del cono de asentamiento. En la Tabla 12 se mostrarán los resultados obtenidos del asentamiento de las muestras de hormigón con las que se trabajó, graficado en la Figura 5.

**Tabla 12**

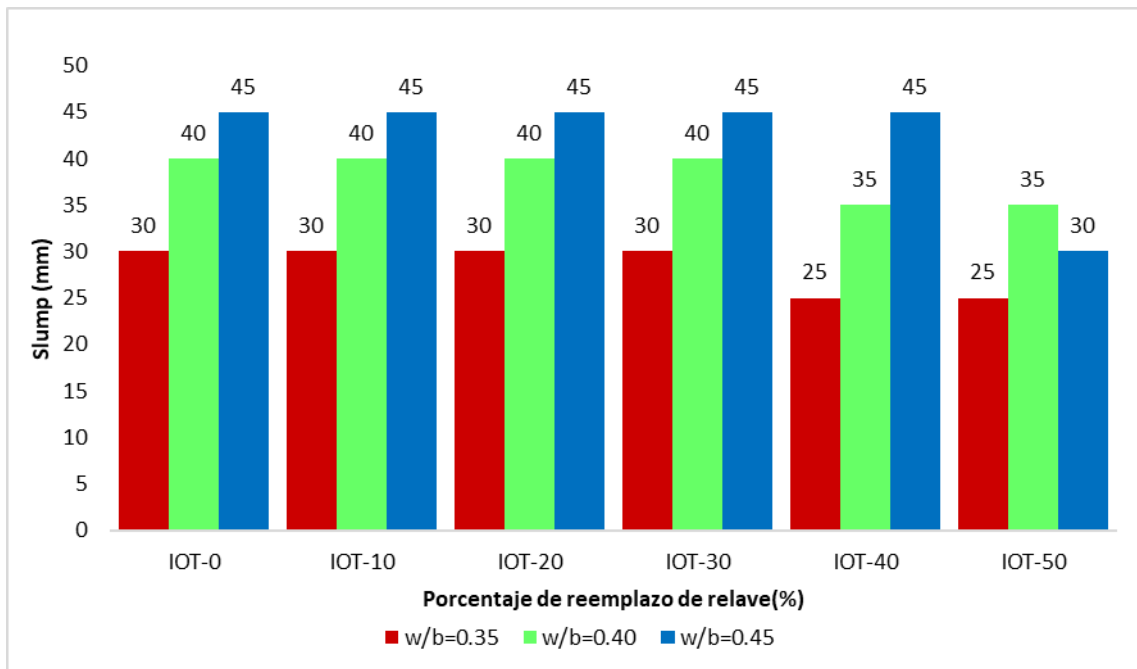
*Resultados del ensayo de asentamiento*

Muestras	Asentamiento (mm)		
	0.35	0.40	0.45
IOT-0	30	40	45
IOT-10	30	40	45
IOT-20	30	40	45
IOT-30	30	40	45
IOT-40	25	35	45
IOT-50	25	35	30

*Nota.* Bangalore Chinnappa y Karra (2019, p.5).

## Figura 5

Comparación de los valores de Slump del hormigón



Nota. Bangalore Chinnappa y Karra (2019, p.5).

### Autor 6: Shettima, A. (2017)

- Tipo de cemento: Se empleó Cemento portland ordinario (OPC) obtenido de la empresa de fabricación de cementos Tasek de Malasia.
- Depósito de relave: El relave de mineral de hierro (IOT) se obtuvo de los molinos de mineral de hierro de Kota Tinggi en Johor; un estado del sur en la península de Malasia.
- Contenido de mezcla: Se formularon un total de 10 mezclas de concreto diferentes. Se prepararon dos series diferentes de concreto en función del grado 30 y 60 con relaciones a/c correspondientes de 0,60 y 0,40 respectivamente. Estos límites se establecieron de acuerdo con las normas BS 5328-2 (1997), BS 8500-2 (2006) y BS EN 206 (2013). Los reemplazos de IOT a arena natural de río fueron del 25, 50, 75 y 100%. Se usó una mezcla reductora de agua para lograr el revenimiento objetivo. Utilizó un superplastificante a base de éter policarboxílico Rheobuild 1100 de BASF Company, que cumple con los requisitos de la norma ASTM C494 (2013), como aditivo reductor de agua para mejorar la trabajabilidad del hormigón. Los hormigones respectivos se basaron en el grado y las

proporciones de los IOT reemplazando la arena de río. La designación de 30CT0 y 60CT0 se utilizó para el control de hormigones preparados con grado de 30 y 60, respectivamente al 0% de sustitución de arena con IOT; donde: C = Concreto y T = IOT. Las designaciones posteriores fueron 30CT25, 30CT50, 30CT75 y 30CT100 para 25%, 50%, 75% y 100%, respectivamente a 0,60 de relación a/c, mientras que 60CT25, 60CT50, 60CT75 y 60CT100 para el mismo nivel de reemplazo a una relación a/c de 0,40. En la Tabla 13 y la Tabla 14 se detalla las proporciones de las distintas mezclas para un concreto de alta resistencia con reemplazo de IOT.

**Tabla 13**

*Composición de mezclas de grado 30 a una relación a/c de 0,60 con IOT*

Materiales (kg/m <sup>3</sup> )	30CT0	30CT25	30CT50	30CT75	30CT10
OPC	380	380	380	380	380
Agregado grueso	1009	1009	1009	1009	1009
Arena Natural	761	571	380.5	190	-
IOT	-	190	380.5	571	761
Agua	230	230	230	230	230

*Nota.* Shettima (2017, p.52).

**Tabla 14**

*Composición de mezclas de grado 60 a una relación a/c de 0,40 con IOT*

Materiales (kg/m <sup>3</sup> )	60CT0	60CT25	60CT50	60CT75	60CT10
OPC	430	430	430	430	430
Agregado grueso	1013	1013	1013	1013	1013
Arena Natural	765	573.3	382.5	191.7	-
IOT	-	191.7	382.5	573.3	765
Agua	172	172	172	172	172

*Nota.* Shettima (2017, p.52).

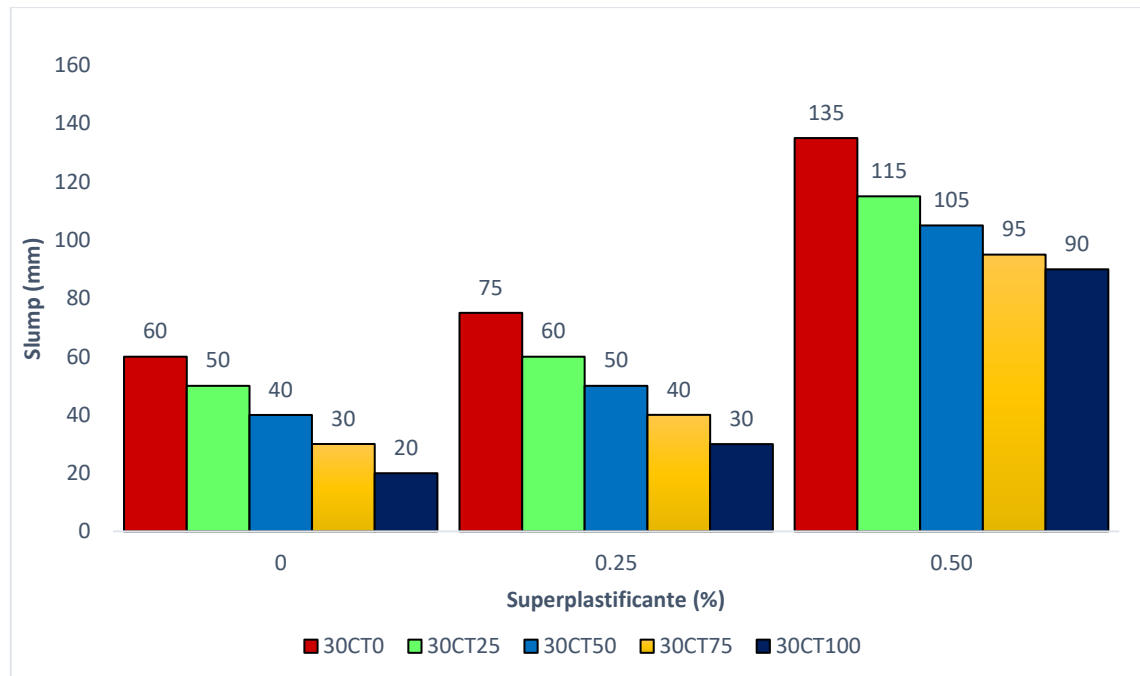
- Método de ensayos: La trabajabilidad del concreto fresco se midió en términos de la prueba de asentamiento acorde con la norma BS EN 12350-2 (2009). Las lecturas de asentamiento se obtuvieron tan pronto como el concreto fue mezclado. Para obtener un asentamiento satisfactorio del concreto, se utilizó RHEOBUILD 1100 SP en la mezcla de hormigón. En la Tabla 15 y la Tabla 16 se mostrarán los resultados obtenidos del asentamiento de las muestras de hormigón con las que se trabajó en varios porcentajes de superplastificante (SP), graficado en la Figura 6 y la Figura 7.

**Tabla 15***Efecto del IOT en el asentamiento del hormigón a una relación a/c de 0.60*

SP (%)	Asentamiento (mm)				
	30CT0	30CT25	30CT50	30CT75	30CT100
0	60	50	40	30	20
0.25	75	60	50	40	30
0.50	135	115	105	95	90

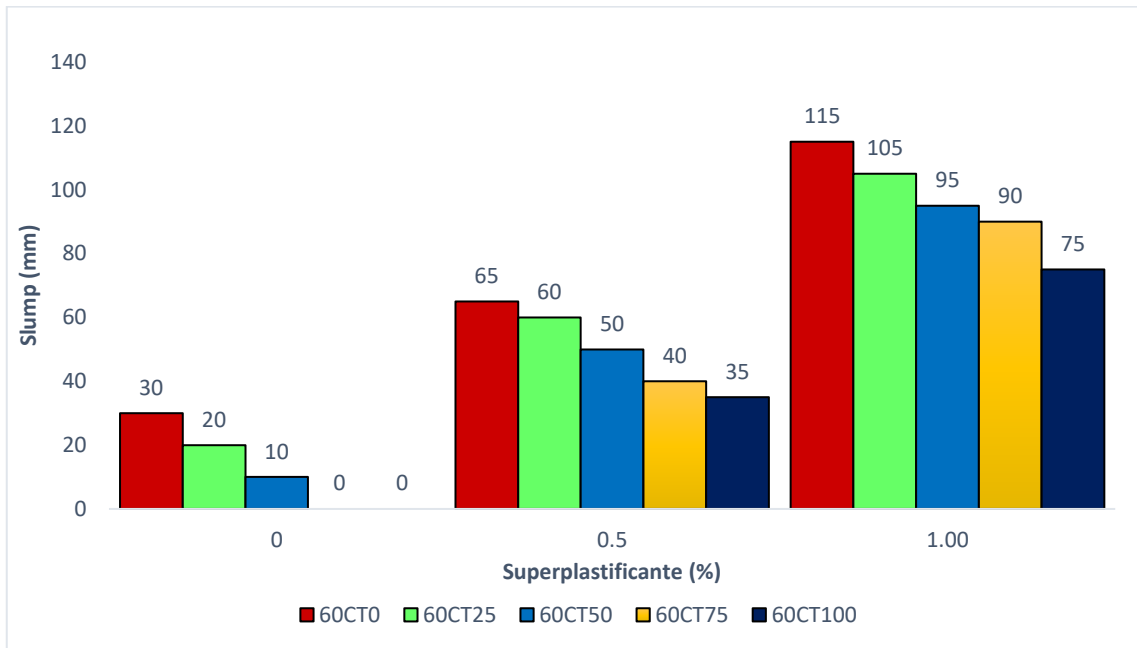
*Nota. Shettima (2017, p.87).***Tabla 16***Efecto del IOT en el asentamiento del hormigón a una relación a/c de 0.40*

SP (%)	Asentamiento (mm)				
	60CT0	60CT25	60CT50	60CT75	60CT100
0	30	20	10	0	0
0.50	65	60	50	40	35
1	115	105	95	90	75

*Nota. Shettima (2017, p.87).***Figura 6***Comparación de valores de Slump del hormigón a una relación a/c de 0,60**Nota. Shettima (2017, p.87).*

**Figura 7**

*Comparación de valores de Slump del hormigón a una relación a/c de 0,40*



*Nota.* Shettima (2017, p.87).

- b) Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar el flujo de asentamiento del concreto de ultra alto rendimiento.

A continuación, se muestra el resumen de autores para la fluidez en la Tabla 17.

**Tabla 17***Artículos de asentamiento del UHPC*

Ítem	Autor	Artículo	Relación w/b	IOT (%)
1	Zhang et al.	Efectos de los relaves de mineral de hierro sobre la resistencia a la compresión y permeabilidad del hormigón de ultra alto rendimiento	0.18	0, 20, 40, 60, 80 y 100
2	Zhao et al.	Estudio sobre la Utilización de Relaves de Hierro en Concretos de Ultra-Alto Desempeño: Propiedades en Fresco y Comportamientos a la Compresión	0.20	0, 25, 50, 75 y 100
11	Gu et al.	Preparación de concreto de ultra alto rendimiento a partir de relaves de hierro ultrafinos con alto contenido de silicio	0.18	0, 10, 20, 40 y 100

*Nota.* Elaboración Propia.

**Autor 1:** Zhang et al. (2020)

- Tipo de cemento: Los aglutinantes consisten en cemento y humo de sílice. Empleó cemento portland ordinario según el estándar GB 175-2007, producido por Dalian Xiaoyetian Cement Co., Ltd. Además, se utilizó humo de sílice (SF) como aditivo.
- Depósito de relave: El relave mineral de hierro se obtuvo de una minera en la provincia de Liaoning, China. La composición química del IOT se muestra en la Tabla 18.

**Tabla 18***Composición química de los aglomerantes y el IOT (% en peso)*

Material	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	LOI
Cemento	22.62	0.18	2.85	67.08	1.78	2.16	1.34
SF	95.90	0.16	0.32	0.05	0.23	0.52	2.14
IOT	72.84	8.88	4.74	5.05	6.06	0.05	0.89

*Nota.* Zhang et al. (2020, p.3).

- Contenido de mezcla: Se prepararon y probaron morteros UHPC. El contenido de SF en UHPC suele estar entre el 20% y el 35% del cemento, que se decide por la relación a/c. Por lo tanto, para todas las mezclas de este estudio, el peso de los aglutinantes y el cemento se mantuvo igual, 1000 kg/m<sup>3</sup> y 800 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Los agregados finos utilizados para este estudio fueron MS e IOT. Se utilizaron dos tipos de arena manufacturada como agregados. La arena 1 tiene partículas con tamaños entre 0,109 mm y 0,212 mm y la arena 2 tiene partículas entre 0,212 mm y 0,380 mm. Se utilizó superplastificante policarboxílico (SP) para evitar una adición de agua. Todas las muestras fueron nombradas tanto por letras como por números. La primera fue la mezcla de control sin IOT, que se grabó como T0. En las otras cinco mezclas, MS fue reemplazada por IOT con sustituciones de 20%, 40%, 60%, 80% y 100%. También fueron designados T20, T40, T60, T80 y T100. Los detalles de las seis proporciones de la mezcla se muestran en la Tabla 19.
- Método de ensayos: Los morteros UHPC se produjeron en una mezcladora de mortero JJ-5 y cumplieron con el estándar chino GB/T17671-1999. En la Tabla 13 se mostrarán los resultados alcanzados de la fluidez de las muestras de UHPC con las que se trabajó, graficado en la Nota. Zhang et al. (2020, p.4).

- *Figura 8.*

**Tabla 19**

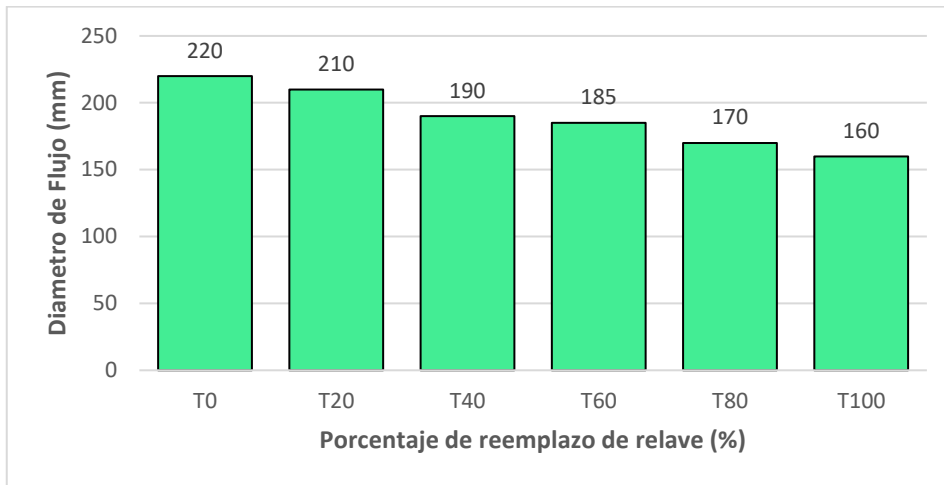
*Proporciones de mezcla y fluidez de los morteros UHPC diseñados*

Muestra	Proporciones de mezcla (kg/m <sup>3</sup> )						Diámetro de Flujo (mm)
	Cemento	Humo de sílice	Arena Manufacturada	IOT	Agua	SP	
T0	800	200	1000	0	180	22	220
T20	800	200	800	200	180	22	210
T40	800	200	600	400	180	22	190
T60	800	200	400	600	180	22	185
T80	800	200	200	800	180	22	170
T100	800	200	0	1000	180	22	160

*Nota.* Zhang et al. (2020, p.4).

## Figura 8

### Resultados de ensayo de fluidez



Nota. Zhang et al. (2020, p.4).

### Autor 2: Zhao et al. (2021)

- Tipo de cemento: En este estudio, utilizaron cemento Portland ordinario P.II 52.5 que cumple con la norma china TB175-2007 y humo de sílice como materiales cementosos binarios.
- Depósito de relave: Se empleó arena natural de río (RS) y arena de relaves de hierro (TS) con tamaños de partículas de 0,15 a 0,3 mm como agregado para preparar el UHPC. Los TS utilizados en este trabajo se obtuvieron de Benxi ciudad, provincia de Liaoning, China. La composición química del TS se muestra en la Tabla 20.

### Tabla 20

#### Composición química de los aglomerantes y el IOT (% en peso)

Composición	Cemento	Humo de Sílice	IOT
SiO <sub>2</sub>	20.19	94.77	69.08
CaO	63.03	-	5.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.11	0.35	4.74
MgO	1.72	-	6.06
Na <sub>2</sub> O	0.1	-	0.39
K <sub>2</sub> O	0.32	-	0.34
SO <sub>3</sub>	1.19	-	0.48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.11	-	0.88
LOI	2.14	0.66	0.89

Nota. Zhao et al. (2021, p.5).



- Contenido de mezcla: El diseño de mezcla de todas las mezclas de UHPC se muestra en la Tabla 21 donde la relación a/c utilizada en este estudio fue de 0,2 constantemente, por lo que se usó un superplastificante (SP) hecho de policarboxílicos para ajustar la trabajabilidad del UHPC. “T” indica muestras a las que se añadió TS como agregado en UHPC, y el número indica el grado de reemplazo (0, 25 %, 50 %, 75 % o 100 %).

**Tabla 21**

*Diseño del UHPC (kg/m<sup>3</sup>)*

Muestra	Humo de sílice	Cemento	TS	Arena de río	Agua	SP
T0	188	780	0	1100	194	24
T25	188	780	275	825	194	24
T50	188	780	550	550	194	24
T75	188	780	825	275	194	24
T100	188	780	1100	0	194	24

*Nota.* Zhao et al. (2021, p.5).

- Método de ensayos: Después del proceso de mezcla, primero se probó la trabajabilidad de UHPC, la mezcla fresca se vertió en un cono de acero sobre una placa plana. El cono se levantó verticalmente mientras se aseguraba que la mezcla fluía libremente. Luego se midieron los diámetros de las dos direcciones verticales de la mezcla, y la media de las medidas se utilizó como la trabajabilidad de la mezcla UHPC, como se muestra en la Tabla 22 y Nota. Zhao et al. (2021, p.8).

- *Figura 9.*

**Tabla 22**

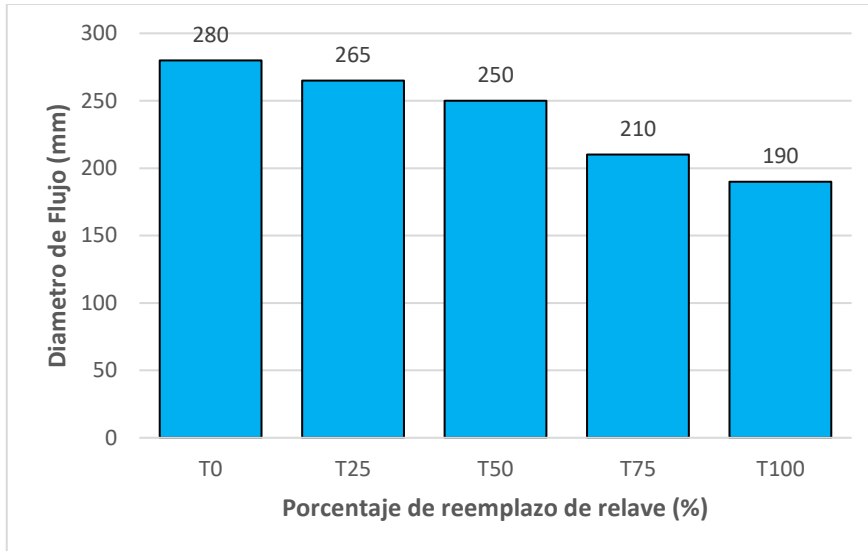
*Resultados de ensayo de fluidez*

Muestra	Diámetro de Flujo (mm)
T0	280
T25	265
T50	250
T75	210
T100	190

Nota. Zhao et al. (2021, p.8).

**Figura 9**

*Resultados de ensayo de fluidez*



Nota. Zhao et al. (2021, p.8).

**Autor 11:** Gu et al. (2022)

- Tipo de cemento: Los materiales cementantes incluían cemento (Fábrica de cemento Dalian Xiaonotian, provincia de Liaoning, grado P-II 52,5), cenizas volantes (Planta de hierro y acero Anshan, grado II) y humo de sílice.
- Depósito de relave: La arena de relaves de hierro utilizada en la prueba se tomó de la balsa de relaves de hierro Crooked Head Mountain de la ciudad de Benxi, provincia de Liaoning. Las composiciones químicas se muestran en la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Composición química de los aglomerantes y el IOT (% en peso)*

<b>Materiales</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>CaO</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>MgO</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>LOI</b>
Cemento	20.19	63.03	5.11	1.72	0.10	0.32	1.19	2.11	2.14
Ceniza volante	58.54	1.55	22.92	1.40	0.12	0.18	0.13	0.18	3.39
Humo de sílice	94.77	-	0.35	-	-	-	-	-	0.66
Relave de hierro	69.08	5.05	4.74	0.39	0.39	0.34	0.48	8.88	0.89

Nota. Gu et al. (2022, p.2).

- Contenido de mezcla: Se prepararon y probaron morteros UHPC. La relación de a/c utilizada fue de 0.18. Teniendo en cuenta que la fluidez de la lechada es pobre

debido a la baja relación a/c, por lo que se utilizó una cierta cantidad superplastificante policarboxilato (SP) para ajustar la fluidez de la lechada. En las muestras, el agregado fino fue reemplazada por IOT con sustituciones de 0, 10, 20, 40 y 100%. Los detalles de las cinco proporciones de la mezcla se muestran en la Tabla 24.

**Tabla 24**

*Proporciones de mezcla y fluidez de los morteros UHPC diseñados*

Muestra	Cemento	Ceniza volante	HS	Arena	IOT	Agua	SP
T0	720	164	144	990	0	190	34
T10	720	164	144	891	99	190	34
T20	720	164	144	792	198	190	34
T40	720	164	144	594	396	190	34
T100	720	164	144	0	990	190	34

*Nota.* Gu et al. (2022, p.3).

- Método de ensayos: Los morteros UHPC se produjeron en una mezcladora de mortero JJ-5 y cumplieron con el estándar chino GB/T17671-1999. En la Tabla 25 se mostrarán los resultados alcanzados de la fluidez de las muestras de UHPC con las que se trabajó, graficado en la Figura 10.

**Tabla 25**

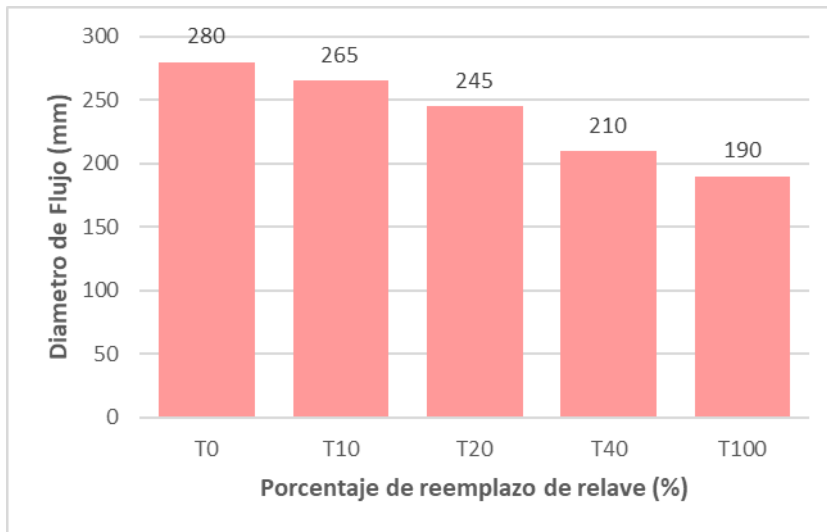
*Resultados de ensayo de fluidez*

Muestra	Diámetro de Flujo (mm)
T0	280
T10	265
T20	245
T40	210
T100	190

*Nota.* Gu et al. (2022, p.3).

**Figura 10**

*Resultados de ensayo de fluidez*



*Nota.* Gu et al. (2022, p.3).

- c) Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar la resistencia a los cloruros del concreto de alto rendimiento.

A continuación, se muestra el resumen de autores para los cloruros en la Tabla 26.

**Tabla 26**

*Artículos de resistencia a los cloruros del HPC*

Año	Autor	Artículo	Relación w/b	IOT (%)
3	Jayasimha et al.	Utilización de relaves de mineral de hierro como sustitución parcial del árido fino para un concreto sostenible y duradero de alta resistencia	0.32	0, 10, 20, 30, 40 y 50
4	Zhang et al.	Utilización de arena de relaves de hierro como una alternativa ecológica a la arena natural de río en concreto de alta resistencia: caracterización de la contracción y estrategias de mitigación	0.35	0 y 100
10	Hao y Du.	Influencia de la arenisca de relaves de hierro en las propiedades del hormigón C50	0.32	0 y 100

*Nota.* Elaboración Propia.

**Autor 3:** Jayasimha et al. (2022)

- Método de ensayo: El conjunto para el RCPT consta de una celda de dos compartimentos. Entre el conjunto de celdas de dos compartimentos, se monta un disco de muestra de 50 mm de espesor y se verifica que no haya aire. La celda del cátodo contiene una solución al 3% de Na-Cl, mientras que la celda del ánodo contiene una solución de 0,3 N de Na-OH. Luego, las celdas reciben 60 V de un suministro de CC entre el cátodo y el ánodo. La corriente se mide durante un

período específico de seis horas a intervalos de treinta minutos según la norma ASTM C1202. La penetrabilidad de los iones de cloruro es insignificante si la carga que pasa es menor de 100, muy baja si está entre 100 y 1000, baja si está entre 1000 y 2000, moderada si está entre 2000 y 4000 y alta si está por encima 4000. Los resultados se pueden observar en la Tabla 27 para las muestras con las que se trabajó. En la Nota. Jayasimha et al. (2022, p.14).

- *Figura 11*, se puede observar una comparación de los resultados.

**Tabla 27**

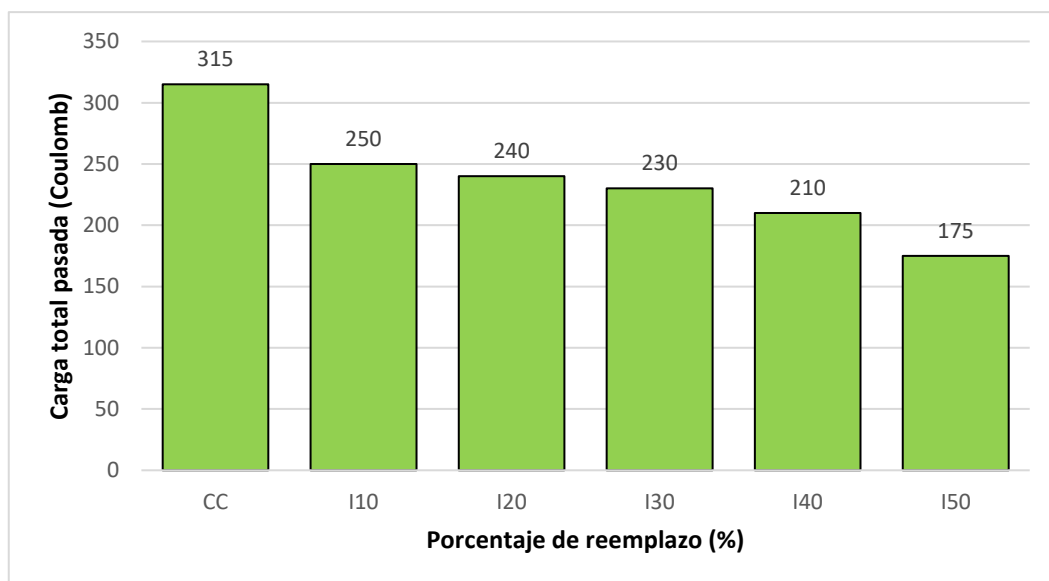
*Resultados de ensayo de resistencia a los cloruros*

Reemplazo de relave de hierro (%)	Carga total pasada (Coulomb)
CC	315
I10	250
I20	240
I30	230
I40	210
I50	175

*Nota.* Jayasimha et al. (2022, p.14).

**Figura 11**

*Difusión de iones de cloruro en hormigón con y sin IOT*



*Nota.* Jayasimha et al. (2022, p.14).

**Autor 4:** Zhang et al. (2019)

- Método de ensayo: Se efectuaron ensayos de penetración rápida de cloruro de según la norma ASTM C1202. Se utilizaron especímenes cilíndricos con un diámetro de  $100\pm 1$  mm y una altura de  $50\pm 2$  mm a fin de hallar la resistencia a la penetración de cloruros según el método de carga total pasada a la edad de 28d. Los resultados se pueden observar en la Tabla 28, graficado en la Nota. Zhang et al. (2020, p.11)

- *Figura 12.*

**Tabla 28**

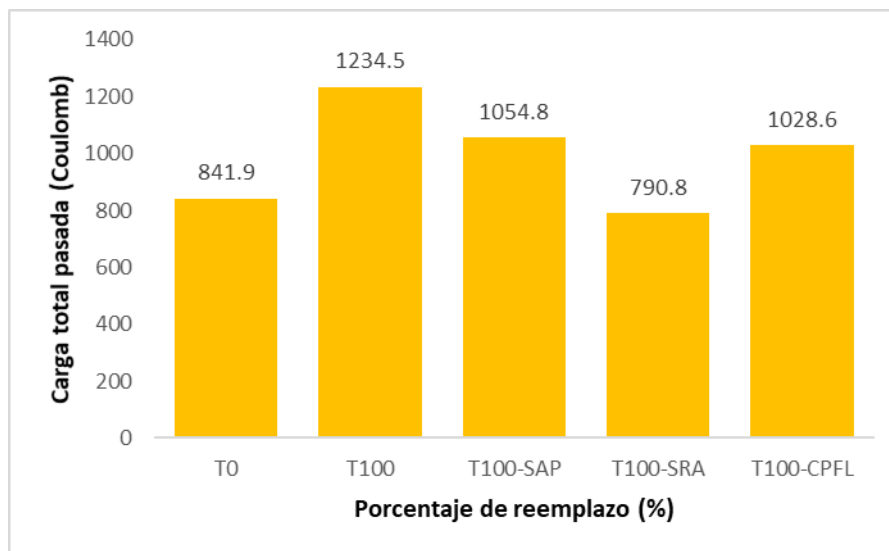
*Resultados de ensayo de resistencia a los cloruros*

Reemplazo de relave de hierro (%)	Carga total pasada (Coulomb)
T0	841.9
T100	1234.5
T100-SAP	1054.8
T100-SRA	790.8
T100-CPFL	1028.6

*Nota.* Zhang et al. (2020, p.11)

**Figura 12**

*Resultados de ensayo de resistencia a los cloruros*



*Nota.* Zhang et al. (2020, p.11).

**Autor 10:** Hao y Du (2017)

- Tipo de cemento: Empleó cemento de silicato ordinario Jidong P.O42.5.

- Depósito de relave: El relave mineral de hierro se obtuvo de la provincia de Shanxi Yuncheng, China.
- Contenido de mezcla: El concreto se preparó utilizando piedra triturada común y mineral de relave de hierro como agregado grueso, arena de río natural y arena de relave de hierro como agregado fino, sustituyendo parte del cemento por cenizas volantes y polvo de escoria, y de acuerdo con la relación agua-cemento fijada de 0.32. Se utilizó un agente reductor de agua de alto rendimiento Shanxi Kangtel, la tasa de disminución de agua es del 28 %. En la Tabla 29 se detalla las proporciones de las distintas mezclas para un concreto de alta resistencia con reemplazo de IOT.

**Tabla 29**

*Proporción de mezcla para muestras de hormigón con IOT*

Muestra	Proporciones de mezcla (kg/m <sup>3</sup> )								Reductor de agua (%)
	Cemento	Ceniza Volante	Polvo de escoria	Agregado fino	Arena de relave	Agregado grueso	Grava de relaves	Agua	
1	353	70	47	792	-	1188	-	150	1
2	353	70	47	792	-	-	1188	150	1
3	353	70	47	-	792	1188	-	150	1
4	353	70	47	-	792	-	1188	150	1

*Nota.* Hao y Du (2017).

- Método de ensayo: El método de prueba se basó en el "Estándar para métodos de prueba de rendimiento a largo plazo y durabilidad del hormigón ordinario" (GB/T 50082-2009) para probar la resistencia a las heladas y la impermeabilidad del concreto. El impacto de la arenisca de los relaves en la impermeabilidad del concreto (resistencia a la penetración de agua y resistencia a la penetración de iones de cloruro) se muestra en la Tabla 30 graficado en la Figura 13.

**Tabla 30**

*Resultados del ensayo de resistencia a los cloruros*

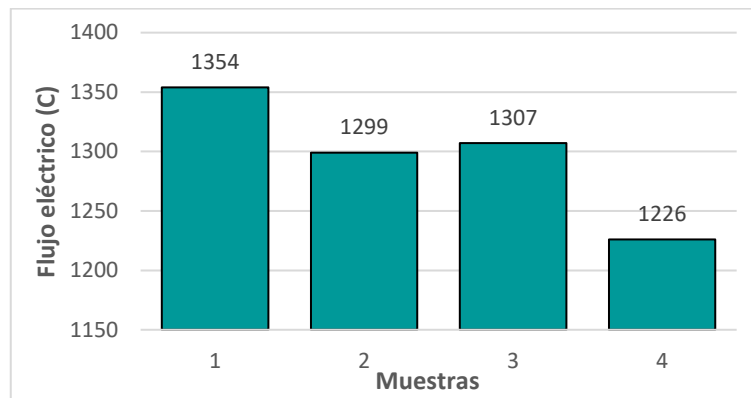
Muestra	Flujo eléctrico (C)
1	1354
2	1299
3	1307
4	1226

*Nota.* Hao y Du (2017).



**Figura 13**

*Resultados del ensayo de resistencia a los cloruros*



*Nota.* Hao y Du (2017).

- d) Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar la resistencia a los cloruros del concreto de ultra alto rendimiento.

A continuación, se muestra el resumen de autores para los cloruros en la Tabla 31.

**Tabla 31**

*Artículos de resistencia a los cloruros del UHPC*

Ítem	Autor	Artículo	Relación w/b	IOT (%)
1	Zhang et al.	Efectos de los relaves de mineral de hierro sobre la resistencia a la compresión y permeabilidad del hormigón de ultra alto rendimiento	0.18	0, 20, 40, 60, 80 y 100
9	Mu, C	Estudio de Resistencia y Permeabilidad del Concreto de Ultra- alto Desempeño Modificado por Relaves de Hierro	0.18	0, 25, 50, 75 y 100

*Nota.* Elaboración Propia.

**Autor 1:** Zhang et al. (2020)

- Método de ensayos: Los ensayos de resistencia a los cloruros se determinaron usando el método de prueba según el ASTM C1202. En este ensayo la muestra consistió en un disco de 100 mm de diámetro y 50 mm de longitud, los cuales se fijaron a 2 surcos, el surco que contenía NaCl (3,0 %) se conectó a un polo negativo y el surco que contenía NaOH (0,3 M) se conectó a un polo positivo. La corriente eléctrica que pasó se midió durante seis horas a 60V y se registraba automáticamente cada 5 minutos. Este ensayo se realizó a las edades de 7 y 28 días. En la Tabla 32 se mostrarán los resultados alcanzados para los 7 y 28 días, representado en la Nota. Zhang et al. (2020, p.6).

- *Figura 14.*

**Tabla 32**

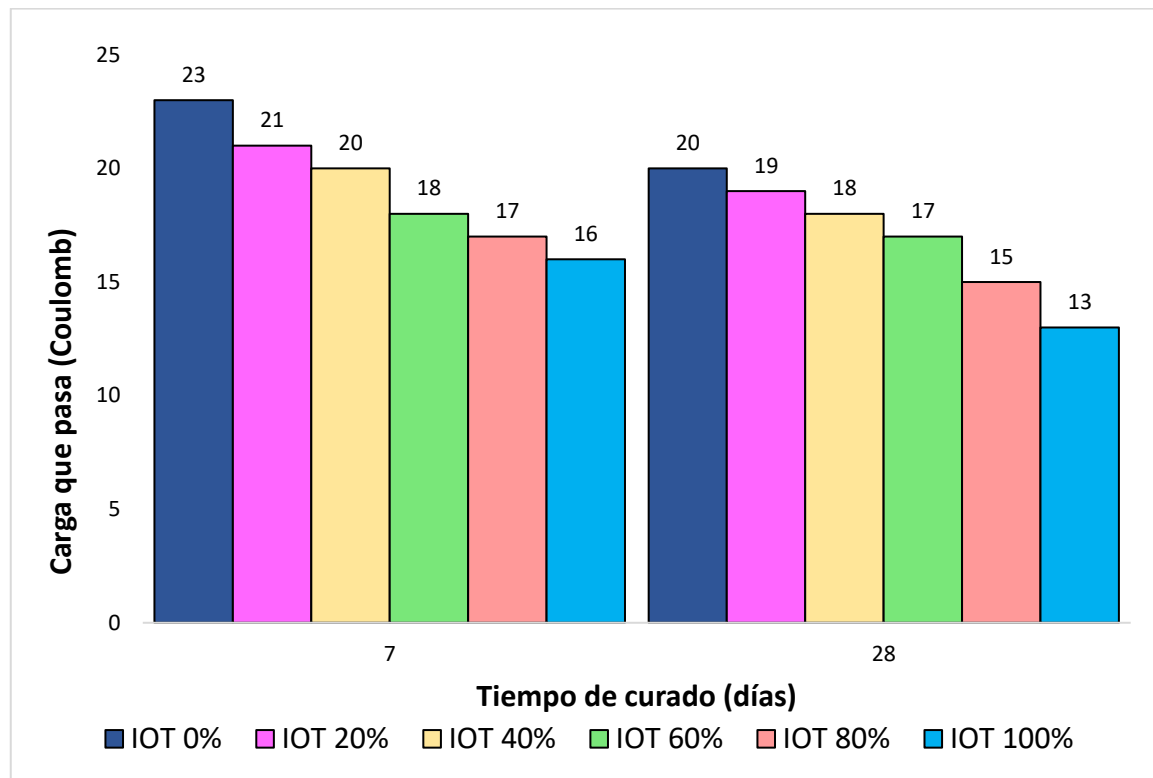
*Resultados de la prueba de iones cloruros*

Reemplazo de relave de hierro (%)	Carga total pasada (Coulomb)	
	7 días	28 días
IOT 0%	23	20
IOT 20%	21	19
IOT 40%	20	18
IOT 60%	18	17
IOT 80%	17	15
IOT 100%	16	13

*Nota.* Zhang et al. (2020, p.6).

**Figura 14**

*Conductividad de muestras con diferentes porcentajes de IOT*



*Nota.* Zhang et al. (2020, p.6).

**Autor 9:** Mu (2021)

- Tipo de cemento: Cemento Portland de grado 52.5.
- Contenido de mezcla: Se utilizó cemento, arena manufacturada, relaves de mineral de hierro, humo de sílice, superplastificante y agua. En la Tabla 33 observaran el contenido químico de los aglutinantes y relaves; además, la Nota. Mu (2021, p.69).
- *Tabla 34* mostrará las proporciones de mezcla del UHPC.

**Tabla 33**

*Contenido química de los aglutinantes e IOT*

Materiales	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Otro
Cemento	22.61	0.19	2.84	67.09	1.79	2.15	1.34
Humo de sílice	98.89	0.17	0.31	0.06	0.24	0.51	2.14
IOT	72.83	8.89	4.73	5.06	6.07	0.04	0.89

Nota. Mu (2021, p.69).

**Tabla 34**

*Mezcla del UHPC (kg/m<sup>3</sup>)*

Muestra	Proporción de mezcla					
	Cemento	Humo de sílice	Arena	IOT	Agua	SP
IO	800	200	1000	0	180	25
I25	800	200	750	250	180	25
I50	800	200	500	500	180	25
I75	800	200	250	750	180	25
I100	800	200	0	1000	180	25

Nota. Adaptado de Mu (2021, p.70).

- Método de ensayos: Para hallar la resistencia a los cloruros se usó el método de prueba según ASTM C1202 este ensayo se realizó a las edades de 7 y 28 días. En la Tabla 35 se mostrarán los resultados obtenidos para los 7 y 28 días, reflejado en la Nota. Mu (2021, p.71).
- *Figura 15.*

**Tabla 35**

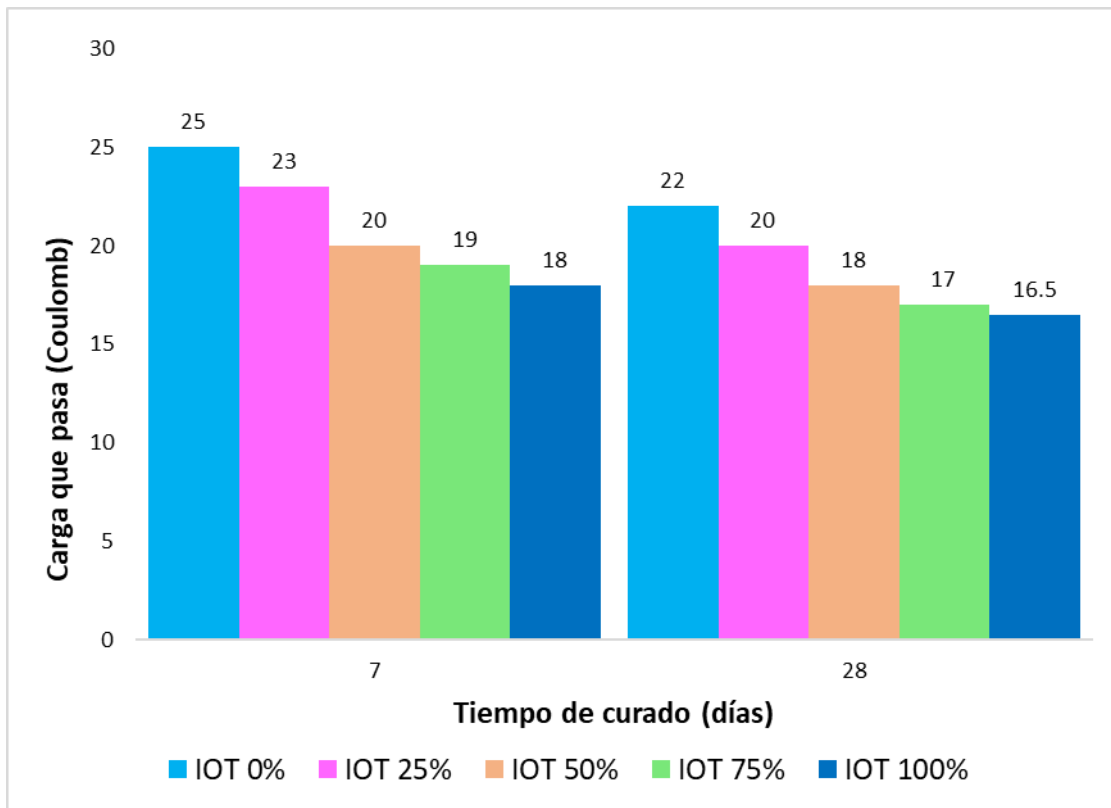
*Resultados de la prueba de iones cloruros*

Reemplazo de relave de hierro (%)	Carga total pasada (Coulomb)	
	7 días	28 días
IOT 0	25	22
IOT 25	23	20
IOT 50	20	18
IOT 75	19	17
IOT 100	18	16.5

Nota. Mu (2021, p.71).

**Figura 15**

*Conductividad de muestras con diferentes porcentajes de IOT*



*Nota.* Mu (2021, p.71).

- e) Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para incrementar la resistencia a la compresión del concreto de alto rendimiento.

A continuación, se muestra el resumen de autores para la resistencia en la Tabla 36.

**Tabla 36**

*Artículos de resistencia a la compresión del HPC*

Ítem	Autor	Artículo	Relación w/b	IOT (%)
5	Rao y Gayana	Efecto de los relaves de meta caolín y mineral de hierro en las propiedades del hormigón de alta resistencia	0.33	30
6	Shettima, A	Desarrollo de concreto sostenible utilizando mineral de hierro relaves como reemplazo de arena	0.40	0,25,50,75,100
7	Jayasimha et al.	Un estudio sobre las propiedades de durabilidad y resistencia del concreto de alta resistencia con reemplazo parcial de relaves de mineral de hierro con agregados finos	0.32	10,20,30 ,40 y 50
8	Bangalore Chinnappa y Karra	Evaluaciones experimentales y estadísticas de propiedades de resistencia del concreto con relaves de mineral de hierro como agregado fino	0.35,0.40. 0.45	0,10,20,30,40,50

*Nota.* Elaboración Propia.

**Autor 5:** Rao y Gayana. (2019)

- Método de ensayos: Se utilizaron cubos de 100mm x 100mm x100mm para el ensayo a compresión de las 4 mezclas realizadas.
- En la Tabla 37 se mostrarán los resultados de la resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días, graficado en la
- Figura 16.

**Tabla 37**

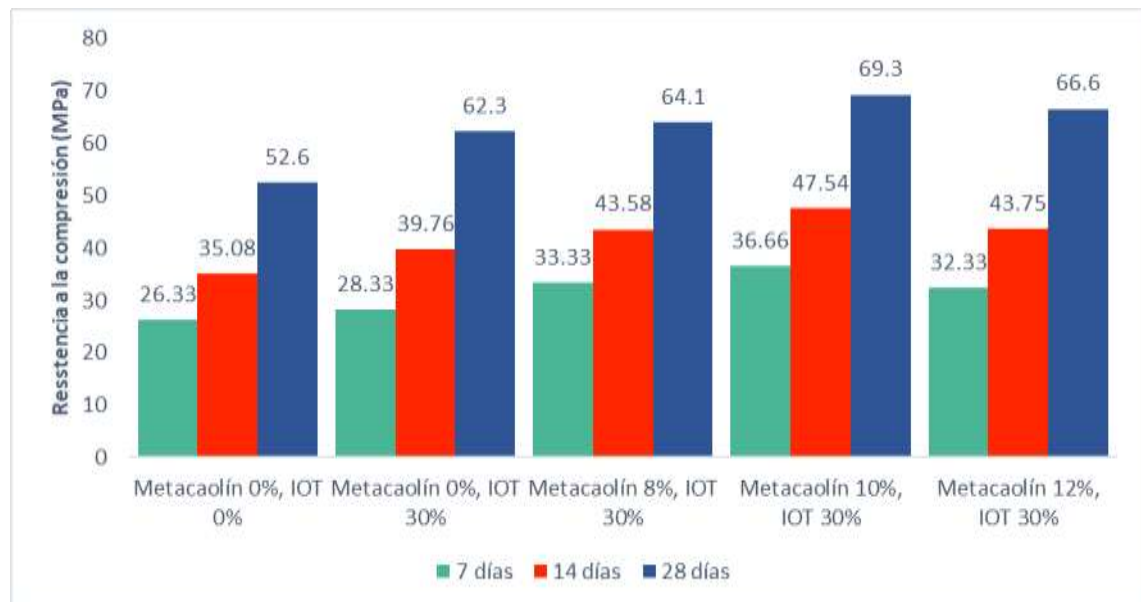
*Resistencia a la compresión para diferentes mezclas*

Proporciones de mezcla	Días de curado		
	7días (MPa)	14días (MPa)	28 días (MPa)
Metacaolín 0%, IOT 0%	26.33	35.08	52.6
Metacaolín 0%, IOT 30%	28.33	39.76	62.3
Metacaolín 8%, IOT 30%	33.33	43.58	64.1
Metacaolín 10%, IOT 30%	36.66	47.54	69.3
Metacaolín 12%, IOT 30%	32.33	43.75	66.6

*Nota.* Rao y Gayana (2019, p.37).

**Figura 16**

*Resistencia a la compresión (MPa)*



*Nota.* Rao y Gayana (2019, p.37).

**Autor 6:** Shettima, A. (2017)

- Método de ensayos: Prueba de concreto endurecido - resistencia a la compresión de muestras de prueba según la norma: BS EN 12390-3 (2002)

- En la Tabla 38 se mostrarán los resultados para la resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días, graficado en la Nota. Shettima (2017, p.92).

- *Figura 17.*

**Tabla 38**

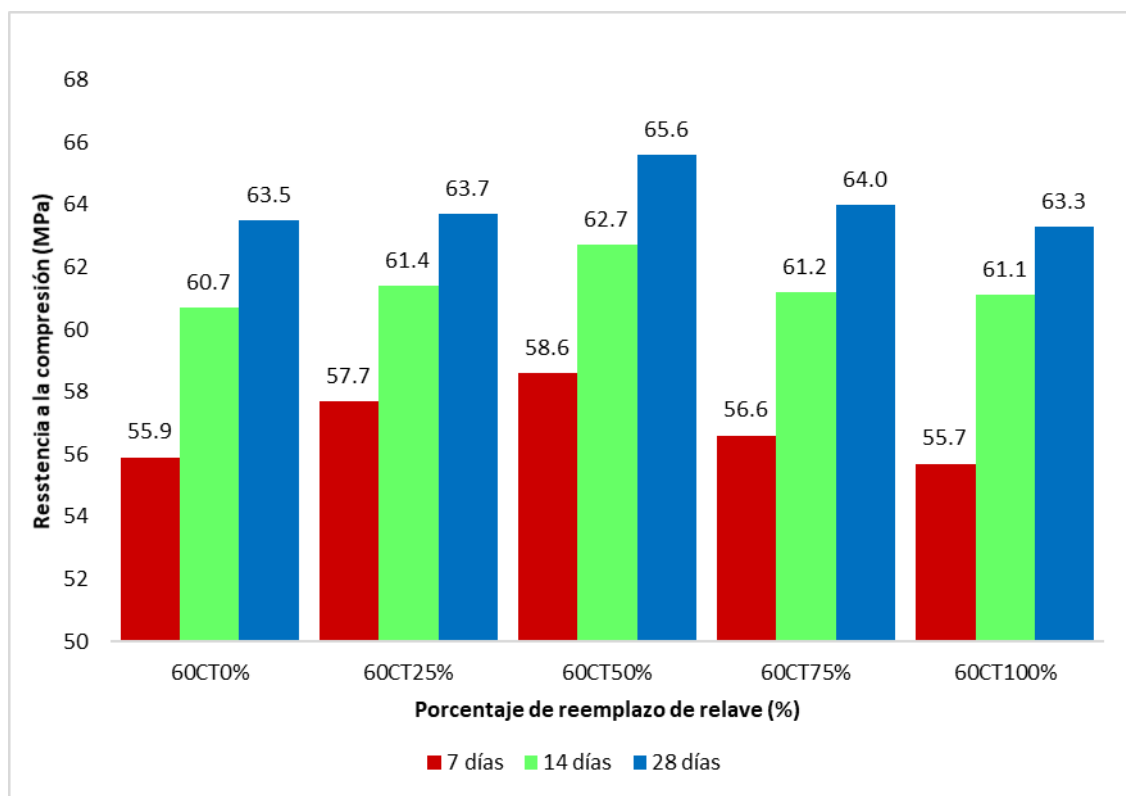
*Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa)*

Muestras	relación a/c 0.40		
	7 días	14 días	28 días
60CT0%	55.9	60.7	63.5
60CT25%	57.7	61.4	63.7
60CT50%	58.6	62.7	65.6
60CT75%	56.6	61.2	64.0
60CT100%	55.7	61.1	63.3

*Nota.* Shettima (2017, p.92).

**Figura 17**

*Resistencia a la compresión (MPa)*



*Nota.* Shettima (2017, p.92).



**Autor 7:** Jayasimha et al. (2022)

- Método de ensayos: Se utilizaron cubos de 150mm x 150mm x150mm para el ensayo a compresión. Se utilizó una máquina de prueba de compresión con una carga en un rango de 3000 KN correspondiente a la norma BIS 516–1959.
- En la Tabla 39 se mostrarán los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión a los 7,28 y 56 días, graficado en la Nota. Jayasimha et al. (2022, p.65).
- *Figura 18.*

**Tabla 39**

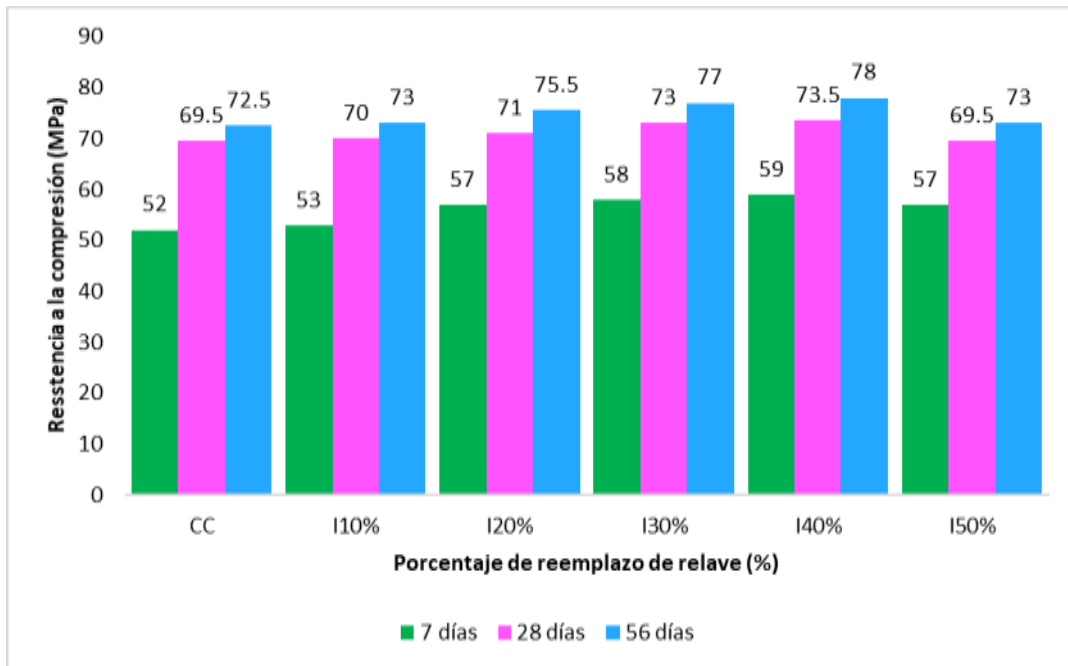
*Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa)*

Días	Porcentaje de relaves de hierro					
	CC	I10%	I20%	I30%	I40%	I50%
7	52	53	57	58	59	57
28	69.5	70	71	73	73.5	69.5
56	72.5	73	75.5	77	78	73

*Nota.* Jayasimha et al. (2022, p.65).

**Figura 18**

*Resistencia a la compresión (MPa)*



*Nota.* Jayasimha et al. (2022, p.65).

**Autor 8:** Bangalore Chinnappa y Karra. (2019)

- Método de ensayos: Se utilizaron 72 cubos de 100mm x 100mm x100mm por cada relación a/c para el ensayo a compresión. Se utilizó un aparato de prueba de compresión con una capacidad de carga de 2000 KN correspondiente a IS:516 y la tasa de carga fue de 140kg/cm<sup>2</sup>/min.
- En la Tabla 40 observaran los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión a los 3,7,28 y 56 días con una relación agua/cemento de 0.35, graficado en la Nota. Bangalore Chinnappa y Karra (2019, p.6).

- *Figura 19.*

**Tabla 40**

*Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa)*

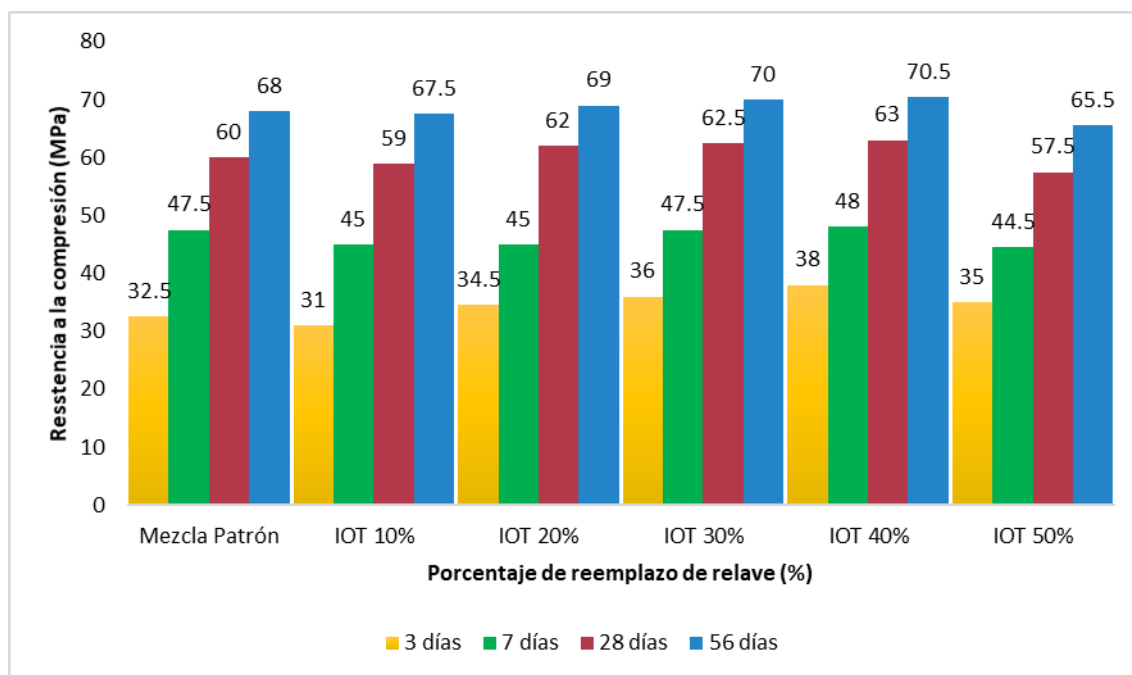
Días	Relación a/c= 0.35					
	Mezcla Patrón	IOT 10%	IOT 20%	IOT 30%	IOT 40%	IOT 50%
3	32.5	31	34.5	36	38	35
7	47.5	45	45	47.5	48	44.5

28	60	59	62	62.5	63	57.5
56	68	67.5	69	70	70.5	65.5

Nota. Bangalore Chinnappa y Karra (2019, p.6).

**Figura 19**

*Resistencia a la compresión (MPa)*



Nota. Bangalore Chinnappa y Karra (2019, p.6).

- En la Tabla 41 se mostrarán los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión a los 3,7,28 y 56 días con una relación agua/cemento de 0.40, graficado en la Nota. Bangalore Chinnappa y Karra (2019, p.6).
- *Figura 20.*

**Tabla 41**

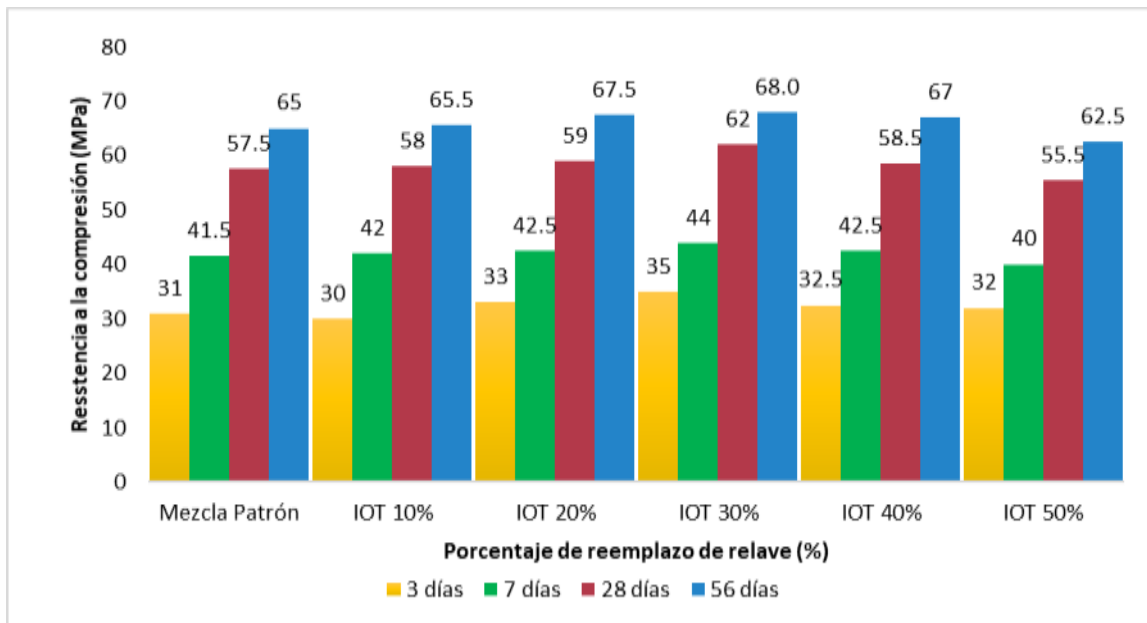
*Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa)*

Días	Relación a/c= 0.40					
	Mezcla Patrón	IOT 10%	IOT 20%	IOT 30%	IOT 40%	IOT 50%
3	31	30	33	35	32.5	32
7	41.5	42	42.5	44	42.5	40
28	57.5	58	59	62	58.5	55.5
56	65	65.5	67.5	68	67	62.5

Nota. Bangalore Chinnappa y Karra (2019, p.6).

**Figura 20**

*Resistencia a la compresión (MPa)*



*Nota.* Bangalore Chinnappa y Karra (2019, p.6).

- En la
- Tabla 42 se mostrarán los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión a los 3,7,28 y 56 días con una relación agua/cemento de 0.45, graficado en la Nota. Bangalore Chinnappa y Karra (2019, p.6).
- *Figura 21.*

**Tabla 42**

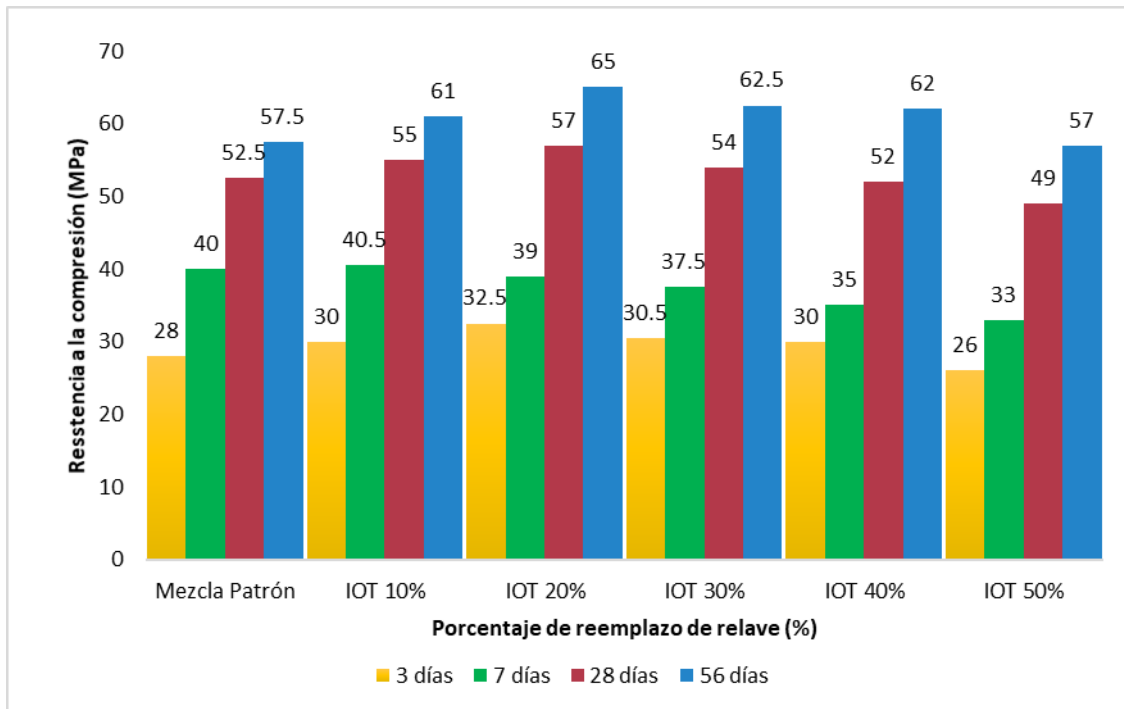
*Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa)*

Días	Relación a/c= 0.45					
	Mezcla Patrón	IOT 10%	IOT 20%	IOT 30%	IOT 40%	IOT 50%
3	28	30	32.5	30.5	30	26
7	40	40.5	39	37.5	35	33
28	52.5	55	57	54	52	49
56	57.5	61	65	62.5	62	57

*Nota.* Bangalore Chinnappa y Karra (2019, p.6).

**Figura 21**

*Resistencia a la compresión (MPa)*



*Nota.* Bangalore Chinnappa y Karra (2019, p.6).

- f) Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para incrementar la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento.

A continuación, se muestra el resumen de autores para la resistencia en la Tabla 43.

**Tabla 43**

*Artículos de resistencia a la compresión del UHPC*

Ítem	Autor	Artículo	Relación w/b	IOT (%)
1	Zhang et al.	Efectos de los relaves de mineral de hierro sobre la resistencia a la compresión y permeabilidad del hormigón de ultra alto rendimiento	0.18	0, 20, 40, 60, 80 y 100
9	Mu, C.	Estudio de Resistencia y Permeabilidad del Concreto de Ultra alto Desempeño Modificado por Relaves de Hierro	0.18	0, 25, 50, 75 y 100
11	Gu et al.	Preparación de concreto de ultra alto rendimiento a partir de relaves de hierro ultrafinos con alto contenido de silicio	0.18	0, 10, 20, 40 y 100

*Nota.* Elaboración Propia.

**Autor 1:** Zhang et al. (2020)

- Método de ensayos: Se llevo a cabo la prueba de resistencia a la compresión usando la máquina HUALONG (300KN), usando el estándar chino GB/T17671-1999. El área cargada fue de 40mm y la taza de carga fue 2.4 KN/s, este ensayo se realizó a las edades de 7 y 28 días.

En la Tabla 44 se mostrarán los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días, graficado en la Nota. Zhang et al. (2020, p.4).

*Figura 22.*

**Tabla 44**

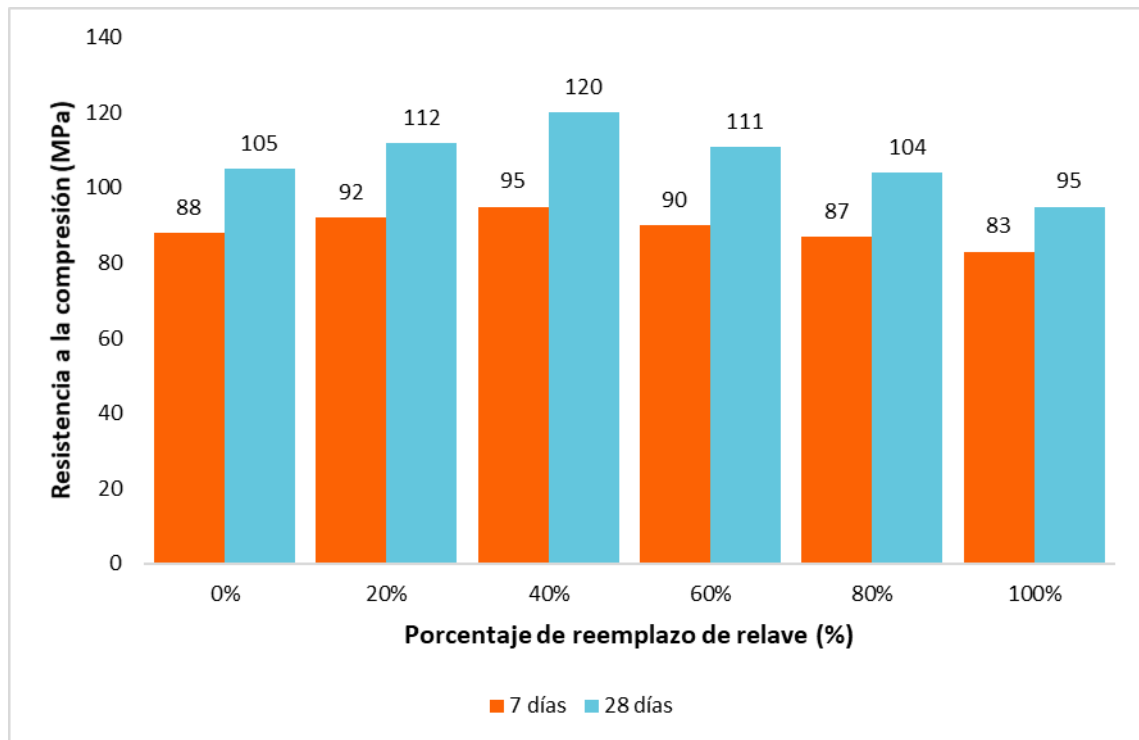
*Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa)*

Días	Porcentaje de relaves de hierro					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
7	88	92	95	90	87	83
28	105	112	120	111	104	95

*Nota.* Zhang et al. (2020, p.4).

**Figura 22**

*Resistencia a la compresión del UHPC con diferentes contenidos de IOT*



*Nota.* Zhang et al. (2020, p.4).

**Autor 9:** Gu et al. (2022)

- Tipo de cemento: Cemento Portland II- 52.5.
- Contenido de mezcla: Se efectuaron mezclas usando arena natural, cemento, relaves de mineral de hierro, humo de sílice, cenizas volantes, superplastificante y agua. En la Tabla 45 se mostrarán la proporción de mezcla del UHPC.

**Tabla 45***Diseño de proporciones de mezcla de prueba*

Muestra	Contenido de aglutinante/(kg/m <sup>3</sup> )			Contenido de agregado/(kg/m <sup>3</sup> )		Agua/ (kg/m <sup>3</sup> )	SP/ (kg/m <sup>3</sup> )
	Cemento	Ceniza volante	Humo de sílice	Arena de rio	IOT		
T0%	720	166	144	990	0	190	34
T10%	720	166	144	891	99	190	34
T20%	720	166	144	792	198	190	34
T40%	720	166	144	594	396	190	34
T100%	720	166	144	0	990	190	34

*Nota.* Gu et al. (2022, p.73).

- Método de ensayos: Se realizaron según el estándar chino GB/ T17671-1999. La tasa de carga fue 2.4 KN/s, este ensayo se realizó a las edades de 7 y 28 días. En la Tabla 46 se mostrarán los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión a los días indicados, graficado en la Nota. Gu et al. (2022, p.73).

*Figura 23.***Tabla 46***Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa)*

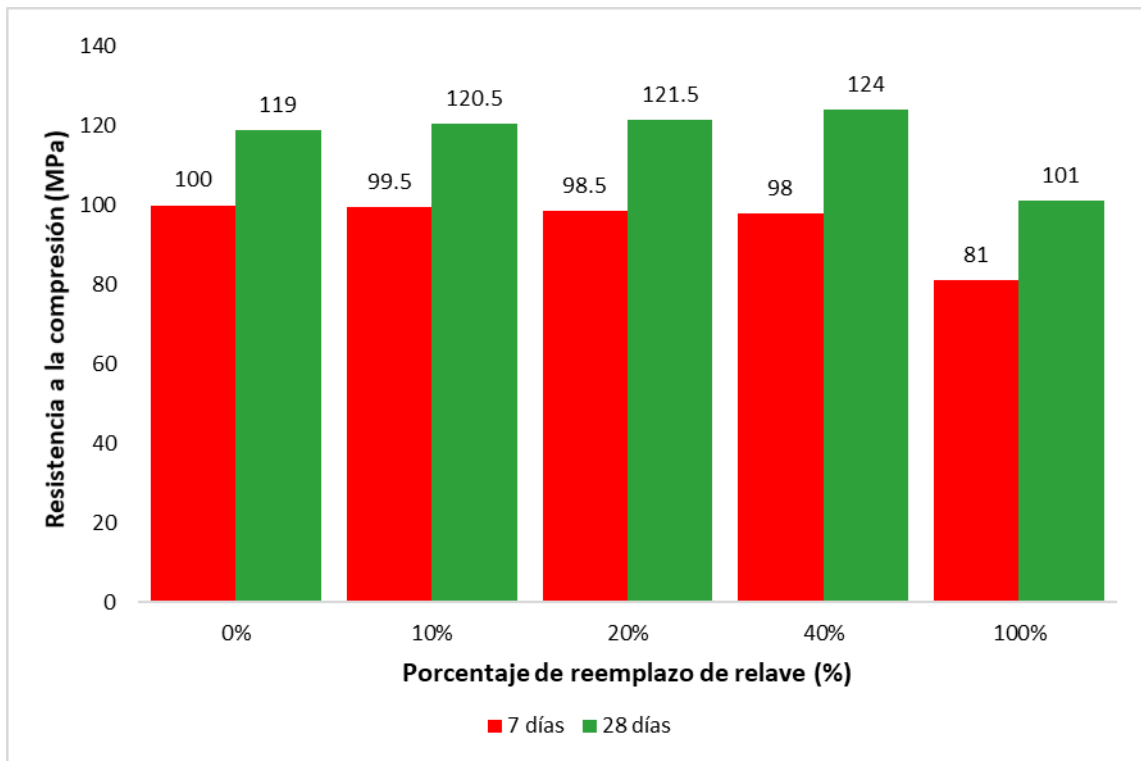
Días	Porcentaje de relaves de hierro				
	0%	10%	20%	40%	100%
7	100	99.5	98.5	98	81
28	119	120.5	121.5	124	101

*Nota.* Gu et al. (2022, p.73).



**Figura 23**

*Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días de UHPC con diferentes contenidos de IOT*



*Nota.* Gu et al. (2022, p.74).

**Autor 11:** Mu (2021)

- Método de ensayos: Los ensayos de resistencia se determinaron con el promedio de tres especímenes. Se usó una prensa Hualong con un valor de presión máxima de según la norma ASTM C490-17, este ensayo se realizó a las edades de 7 y 28 días. En la Tabla 47 se mostrarán los resultados obtenidos para la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días, graficado en la Nota. Mu (2021, p.70).
- *Figura 24.*

**Tabla 47**

*Resistencia a compresión de mezclas de hormigón (MPa)*

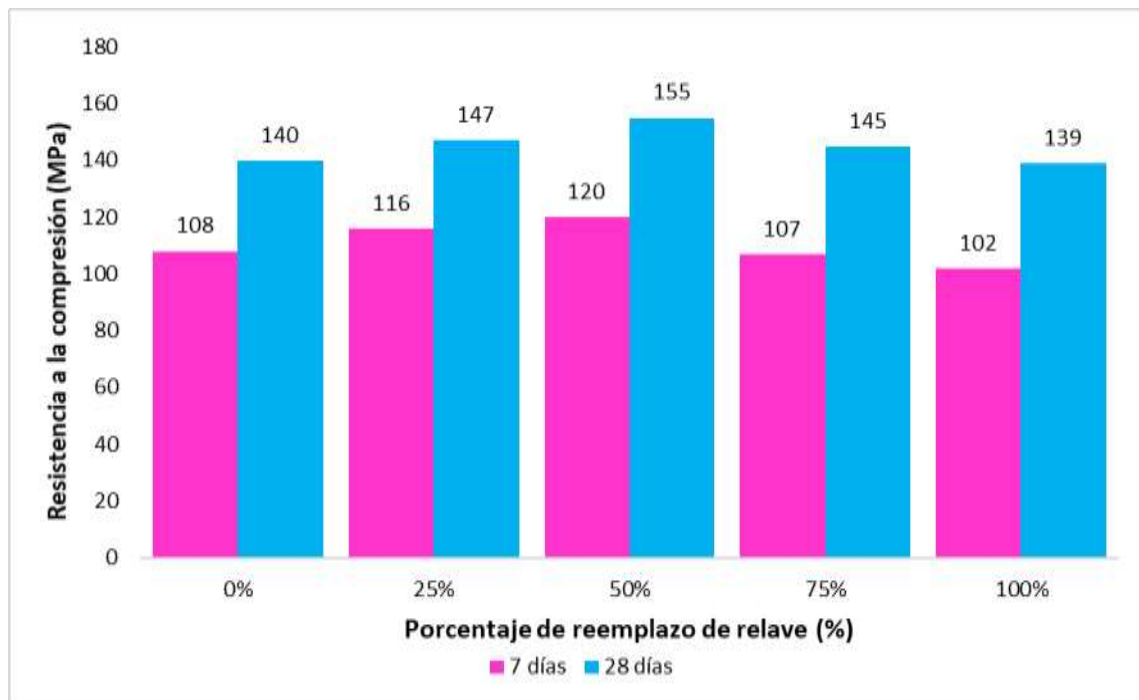
Días	Porcentajes de relaves de hierro
------	----------------------------------

	0%	25%	50%	75%	100%
7	108	116	120	107	102
28	140	147	155	145	139

Nota. Mu (2021, p.70).

## Figura 24

Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días del UHPC con diferentes contenidos de IOT



Nota. Mu (2021, p.70).

## 5.2 Análisis y contrastación de hipótesis

**Hipótesis 1: Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar el asentamiento del concreto de alto rendimiento.**

Para poder analizar el porcentaje óptimo de relaves de hierro como reemplazo del agregado fino para el concreto de alto rendimiento se requieren de resultados de ensayos provenientes de artículos, tesis e investigaciones relacionadas al tema. En base a esto, se planteó dos posibles hipótesis.

Hipótesis auxiliar:

H<sub>0</sub>: Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino no mejora el asentamiento del concreto de alto rendimiento.

H<sub>1</sub>: Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino mejora el asentamiento del concreto de alto rendimiento.

El primer investigador (Zhang et al., 2020) realizó diseños de mezcla, teniendo como sustituto T0% y T100%. En el ensayo de cono de Abrams, se observó un descenso en los valores del asentamiento conforme se reemplazó el agregado fino por el relave, teniendo en T0% un asentamiento de 7.87 pulgadas, y en T100% un asentamiento de 7.48 pulgadas, siendo estas mezclas muy trabajables y de consistencia fluida.

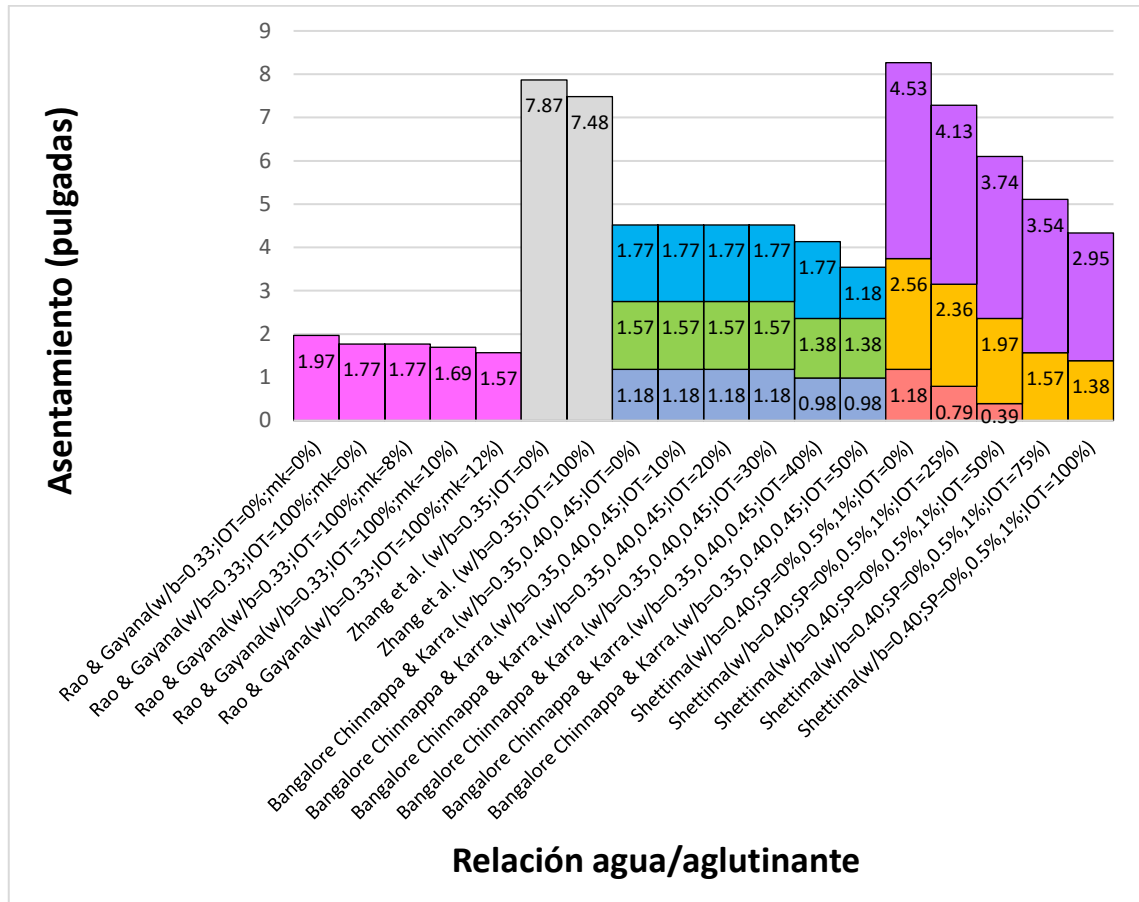
El segundo investigador (Rao y Gayana, 2019) realizó cinco grupos de diseño, en el que se realizó un reemplazo del 30% de relave de hierro en cuatro de ellos, además de contar con una variación de metacaolín como reemplazo del cemento de 0, 8, 10 y 12%. Por otra parte, se realizó un diseño patrón sin agregado de relave de hierro y sin reemplazo de metacaolín como mezcla de control. El ensayo del cono de Abrams, muestra una reducción en el asentamiento, siendo el diseño patrón el que mayor asentamiento consiguió (1.97 pulgadas). La muestra con un reemplazo de 30% de relave de hierro y 0% de metacaolín, obtuvo un asentamiento de 1.77 pulgadas; y la muestra con un reemplazo de 30% de relave de hierro y 12% de metacaolín, obtuvo un asentamiento mínimo de 1.57 pulgadas, demostrando como el incremento de sustitución de relave y metacaolín, reduce la trabajabilidad de la mezcla.

El tercer investigador (Bangalore Chinnapa y Karra, 2019) realizaron el ensayo de asentamiento del concreto para los seis lotes de proporciones de mezcla para cada tipo de relación a/c (0.35, 0.40 y 0.45) resultando 18 diseños en total. Teniendo como resultado que para los tres tipos de a/c se cumple la misma tendencia. El asentamiento disminuye conforme se va reemplazando el agregado fino por el relave. Para la relación a/c de 0.35 el porcentaje óptimo de reemplazo de relaves fue de 30% (1.18”), para la relación a/c=0.40 el porcentaje óptimo de reemplazo fue de 30% (1.57”), y para la relación a/c =0.45 el porcentaje óptimo también fue de 30% (1.77”). Al analizar se muestra que el para los tres tipos de relación a/c el porcentaje óptimo de reemplazo es del 30% ya que el asentamiento se mantiene igual a la muestra patrón, y al seguir aumentando el porcentaje de sustitución, la trabajabilidad de la mezcla disminuye.

El cuarto investigador (Shettima, 2017) llevo a cabo el ensayo de asentamiento según la norma BS EN 12350-2 (2009). Realizo 5 mezclas de concreto para un hormigón de grado 60, variando los porcentajes de reemplazo de relave en 25%, 50%, 75%, 100% y un diseño patrón como se muestra en la Tabla 14. Además, trabajo con varios porcentajes de superplastificante (0%, 0.50% y 1%) para obtener un asentamiento satisfactorio, como se muestra en la Figura 7. Teniendo como resultado que para los tres porcentajes empleados en la mezcla se cumple la misma tendencia. El asentamiento disminuye conforme se va reemplazando el agregado fino por el relave. Para un porcentaje de 0% de SP se consideró que el porcentaje de sustitución ideal se encuentra en la mezcla patrón (1.18”), para un porcentaje de 0.50% de SP se consideró que el porcentaje de sustitución ideal se encuentra en la mezcla patrón (2.56”), y para un porcentaje de 1% de SP, el porcentaje óptimo también fue la mezcla patrón con un asentamiento igual a 4.53” con una consistencia fluida, lo cual demuestra que el uso de superplastificante mejora la trabajabilidad de las mezclas. A continuación, en la Figura 25 se muestra los resultados del asentamiento a los 28 días.

**Figura 25**

*Resultados del ensayo de asentamiento del concreto patrón y concreto con sustitución de relaves de hierro*



*Nota.* Elaboración propia.

De lo mostrado, se acepta la  $H_0$ , debido a que al analizar la Figura 25, se observa que el reemplazo de porcentaje de relave de hierro no mejora el asentamiento del concreto de alto rendimiento, al mantener o disminuir la trabajabilidad del concreto.

**Hipótesis 2: Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar el flujo de asentamiento del concreto de ultra alto rendimiento.**

Para poder analizar el porcentaje óptimo de relaves de hierro como reemplazo del agregado fino para el concreto de ultra alto rendimiento se requieren de resultados de ensayos provenientes de artículos, tesis e investigaciones relacionadas al tema. En base a esto, se planteó dos posibles hipótesis.

Hipótesis auxiliar:

H<sub>0</sub>: Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino no mejora el flujo de asentamiento del concreto de ultra alto rendimiento.

H<sub>1</sub>: Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino mejora el flujo de asentamiento del concreto de ultra alto rendimiento.

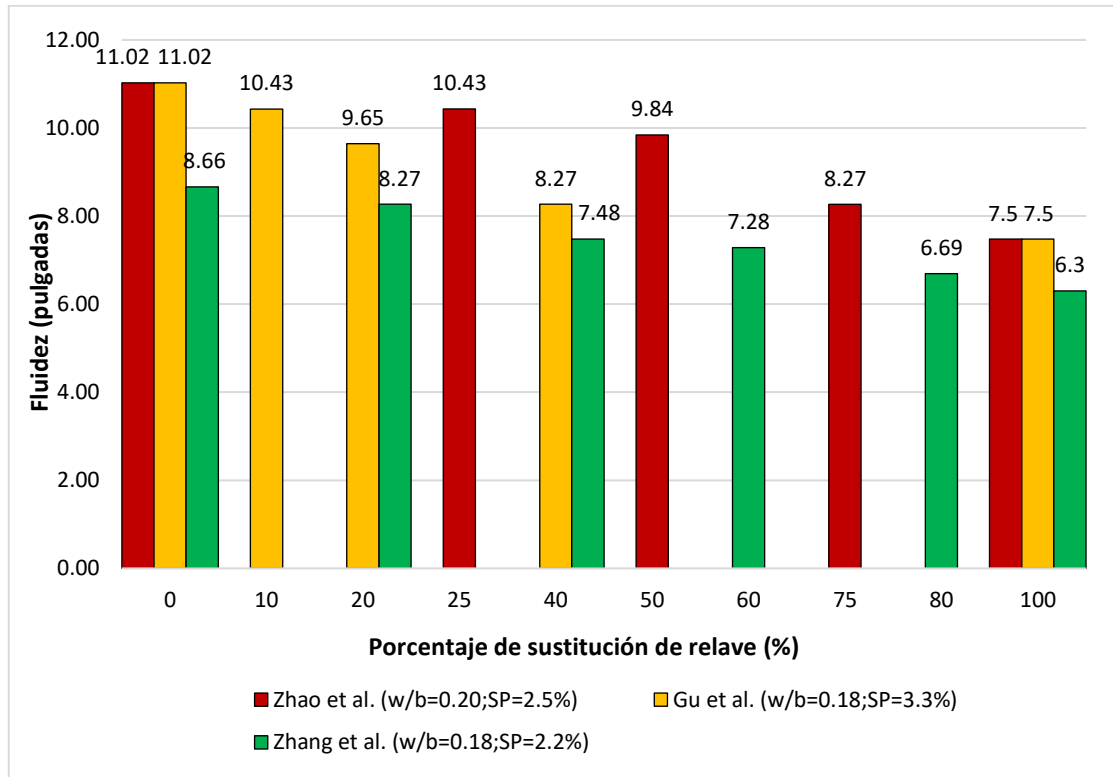
El primer investigador (Zhang et al., 2020) realizó diseños de mezcla cumpliendo con el estándar chino GB/T17671-1999, teniendo como reemplazo T0%, T20%, T40%, T60%, T80% y T100%. En el ensayo de fluidez, se observó una disminución en el flujo del concreto conforme aumento la cantidad de remplazo de relave, teniendo en T0% (Mezcla patrón) el mayor diámetro de flujo con 8.66 pulgadas, y T100% al contrario, obtuvo el menor diámetro de flujo con 6.30 pulgadas; pudiendo determinar como porcentaje de sustitución ideal a la mezcla patrón, manteniendo una buena trabajabilidad y una consistencia muy fluida, estando los valores entre 7 a 12 pulgadas según los parámetros del Departamento de Transportes de Michigan.

El segundo investigador (Zhao et al., 2021) realizó diseños de mezcla UHPC, donde se agregó arena de relave de hierro teniendo como reemplazo T0%, T25%, T50%, T750% y T100%. En el ensayo de fluidez, se observó una reducción en el flujo del concreto conforme incrementó la cantidad de remplazo de relave, teniendo en T0% (Mezcla patrón) el mayor diámetro de flujo con 11.02 pulgadas, y T100% por el contrario, obtuvo el menor diámetro de flujo con 7.48 pulgadas; pudiendo determinar como porcentaje de sustitución ideal a la mezcla patrón, manteniendo una buena trabajabilidad y una consistencia muy fluida, estando los valores entre 7 a 12 pulgadas según los parámetros del Departamento de Transportes de Michigan.

El tercer investigador (Gu et al., 2022) realizó diseños de mezcla cumpliendo con el estándar chino GB/T17671-1999, teniendo como reemplazo T0%, T10%, T20%, T40% y T100%. En el ensayo de fluidez, se observó una disminución en el flujo del concreto conforme aumento la cantidad de remplazo de relave, teniendo en T0% (Mezcla patrón) el mayor diámetro de flujo con 11.02 pulgadas, y T100% por el contrario, consiguió el menor diámetro de flujo con 7.48 pulgadas; pudiendo determinar como porcentaje de sustitución ideal a la mezcla patrón, manteniendo una buena trabajabilidad y una consistencia muy fluida. A continuación, en la Figura 26 se muestra los resultados de la fluidez a los 28 días.

**Figura 26**

*Resultados del ensayo de fluidez del concreto patrón y concreto con sustitución de relaves de hierro*



*Nota.* Elaboración propia.

De lo mostrado, se acepta la  $H_0$ , debido a que al analizar la Figura 26, se observa que el reemplazo de porcentaje de relave de hierro no mejora la fluidez del concreto de ultra alto rendimiento al disminuir la trabajabilidad del concreto.

**Hipótesis 3: Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar la resistencia a los cloruros del concreto de alto rendimiento.**

Para poder analizar el porcentaje óptimo de relaves de hierro como reemplazo del agregado fino para el concreto de alto rendimiento se requieren de resultados de ensayos provenientes de artículos, tesis e investigaciones relacionadas al tema. En base a esto, se planteó dos posibles hipótesis.

Hipótesis auxiliar:

$H_0$ : Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino no mejora la resistencia a los cloruros del concreto de alto rendimiento.

H<sub>1</sub>: Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino si mejora la resistencia a los cloruros del concreto de alto rendimiento.

El primer investigador (Jayasimha et al., 2022) realizó el ensayo de penetración de iones cloruro acorde a la norma ASTM C1202 a la edad de 28 días. A partir de la Nota. Jayasimha et al. (2022, p.14).

*Figura 11* se pudo observar que a medida que aumentaba el porcentaje de reemplazo, la cantidad de carga que pasa por la muestra disminuye de forma gradual. Los resultados mostraron una disminución de un 44.5% con un 50% de reemplazo de relaves respecto a la mezcla patrón, demostrando que los relaves de hierro al reemplazar el agregado fino tienen un efecto beneficioso para la resistencia del HPC ante los cloruros. Asimismo, las muestras del HPC presentaron cargas despreciables ya que están en el rango de 100-1000 Coulomb, lo que indica que la penetrabilidad del material por iones de cloruro es considerablemente baja según las normas AASHTO T277 y ASTM C1202.

El segundo investigador (Zhang et al., 2020) realizó el ensayo de penetración de iones cloruro acorde a la norma ASTM C1202 a la edad de 28 días. La Nota. Zhang et al. (2020, p.11)

*Figura 12* nos muestra los resultados del ensayo para las muestras de concreto con arena de río y con arena de relave de hierro, incluyendo la aplicación de métodos de atenuación a la contracción. Se pudo observar que la sustitución de la arena de río por arena de relaves de hierro aumentó significativamente la carga pasada, aproximadamente un 46,6% más que la mezcla patrón. Las cargas pasadas del concreto de arena de río estaban dentro del rango de 0-1000 C, que se clasifican como muy baja penetración de cloruros según la norma ASTM C1202, mientras que las cargas del concreto de arena de relaves de hierro se clasificaron como baja penetración de cloruros. La aplicación de SAP, SRA y CPFL pudo reducir las cargas pasadas por el concreto de relaves de hierro en aproximadamente un 14,5%, 35,9% y 16,7%, mostrando que la aplicación del SRA tuvo un mejor efecto en la resistencia ante los cloruros.

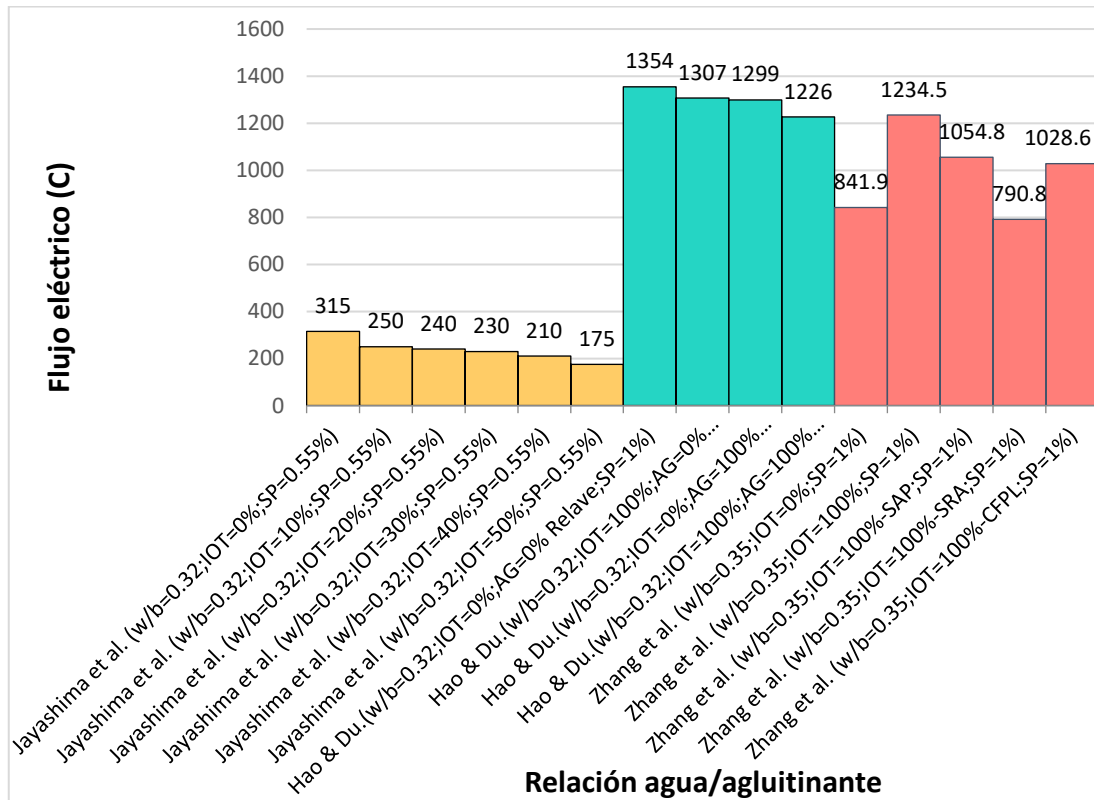
El tercer investigador (Hao y Du, 2017) realizó el ensayo de penetración de iones cloruro acorde a la norma GB/T 50082-2009. Realizo 4 muestras de concreto, reemplazando tanto al agregado fino como al agregado grueso por relave de mineral de hierro y un diseño patrón como se muestra en la Tabla 29. A partir de la Figura 13 se pudo observar que la capacidad de anti filtración y la resistencia a la penetración de iones cloruro del concreto



de arena de relaves es ligeramente mejor que las de la muestra patrón. Los resultados mostraron una disminución de un 3.5 % con un 100% de reemplazo de relaves respecto a la mezcla patrón, demostrando que los relaves de hierro al reemplazar el agregado fino tienen un efecto beneficioso para la resistencia del HPC ante los cloruros. Asimismo, las muestra en la que se reemplazó a ambos agregados redujo las cargas pasadas por el concreto en aproximadamente un 9.9% respectivamente, mostrando tuvo un mejor efecto en la resistencia ante los cloruros. A continuación, en la Figura 27 se muestra los resultados de la resistencia a cloruros a los 28 días.

**Figura 27**

*Resultados del ensayo penetración de iones de cloruro del concreto patrón y concreto con sustitución de relaves de hierro*



*Nota.* Elaboración propia.

De lo mostrado, se acepta la H<sub>1</sub>, la Figura 27 nos muestra que el reemplazo de porcentaje de relave de hierro si mejora la resistencia a cloruros del concreto de alto rendimiento al disminuir la carga que pasa en las muestras con relaves de hierro.

**Hipótesis 4: Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar la resistencia a los cloruros en el concreto de ultra alto rendimiento**

Para poder hacer un análisis del porcentaje óptimo de relaves a usar como reemplazo del agregado fino para el concreto de ultra alto rendimiento se requieren de resultados de ensayos que provengan de artículos, tesis e investigaciones relacionadas al tema.

Hipótesis auxiliar:

H0: Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino no mejora la resistencia a los cloruros del concreto de ultra alto rendimiento.

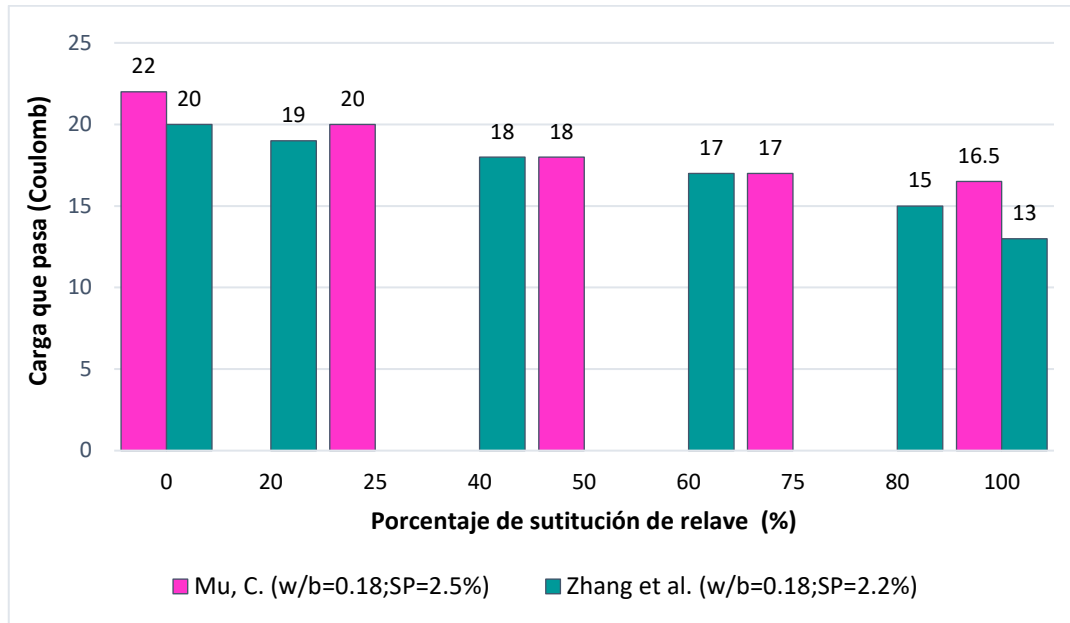
H1: Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino si mejora la resistencia a los cloruros del concreto de ultra alto rendimiento.

Según el primer investigador (Mu, 2021) al realizar el ensayo de penetración de iones cloruro acorde al estándar ASTM C 1202 a las edades de 7 y 28 días para porcentajes de sustitución de 0, 25, 50, 75 y 100% de relaves, se pudo observar que según aumentaba el porcentaje de sustitución, la carga de paso disminuyó de forma gradual para ambos tiempos de ensayo. A los 28 días, los resultados mostraron una disminución de un 25% con un 100% de reemplazo de relaves respecto a la mezcla patrón. Se pudo demostrar que los relaves de hierro al reemplazar el agregado fino tienen un efecto beneficioso para la resistencia del UHPC ante los cloruros. Según la tabla de clasificación del ASTM, el UHPC tiene una penetrabilidad despreciable pues las cargas son menores a 100 Coulomb.

Según el segundo investigador (Zhang et al., 2020) que evaluaron las mezclas con sustitución de arena por relaves de hierro en porcentajes de 0, 20, 40, 60, 80 y 100%, indicaron que la carga que pasa disminuye a medida que se aumentó el IOT siendo todas menor a 100 Coulomb. A la edad de 28 días se muestra que hay una disminución de carga de 35% del concreto con 100% de relaves de hierro comparándola con la mezcla patrón. Según Ma et al. (2016, como se citó en Zhang et al., 2020) los resultados muestran que los relaves tienen una capacidad de empaquetamiento alta, esto puede atribuirse a las partículas finas del IOT, las cuales cumplen la función de relleno de poros, disminuyendo así la porosidad. A continuación, en la Figura 28 se muestra los resultados de la resistencia a cloruros a los 28 días.

**Figura 28**

*Resultados del ensayo de penetración de ion cloruro del concreto patrón y concreto con sustitución de relaves de hierro, a los 28 días de curado.*



*Nota.* Elaboración propia.

De lo mostrado, se acepta la  $H_1$ , la Figura 28 nos muestra que el reemplazo de porcentaje de relave de hierro si mejora la resistencia a los cloruros del concreto de ultra alto rendimiento al disminuir la carga que pasa en las muestras con relaves de hierro.

**Hipótesis 5: Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para incrementar la resistencia a la compresión del concreto de alto rendimiento**

Para poder hacer un análisis del porcentaje óptimo de relaves a usar como reemplazo del agregado fino para el concreto de ultra alto rendimiento se requieren de resultados de ensayos que provengan de artículos, tesis e investigaciones relacionadas al tema.

Hipótesis auxiliar:

$H_0$ : Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino no incrementa la resistencia a la compresión del concreto de alto rendimiento.

$H_1$ : Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino si incrementa la resistencia a la compresión del concreto de alto rendimiento.

Según el primer investigador (Rao y Gayana, 2019) realizó cuatro diseños de mezcla con un 30% de reemplazo de relaves de hierro por agregado fino; asimismo, se le reemplazó al cemento por metacaolín en porcentajes de 0, 8, 10 y 12%, estos iban a ser comparados con una mezcla sin sustitución de relaves o metacaolín denominado diseño patrón. Los ensayos a la compresión se realizaron a los 7,14 y 28 días; a los 28 días, el diseño 4 mostró la máxima resistencia (69.3 MPa, el cual contiene un 30% de relaves hierro y 10% de metacaolín) a comparación del diseño patrón (52.6 MPa) mientras que el diseño 2 (62.3 MPa, que solo tiene un 30% de sustitución de relave de hierro). Además, se pudo observar que a partir de la resistencia pico, esta tiende a disminuir cuando se aumenta el porcentaje de reemplazo del metacaolín, concluyendo que el diseño 4 fue el óptimo pues aumentó un 31.7% su resistencia sobre el diseño patrón.

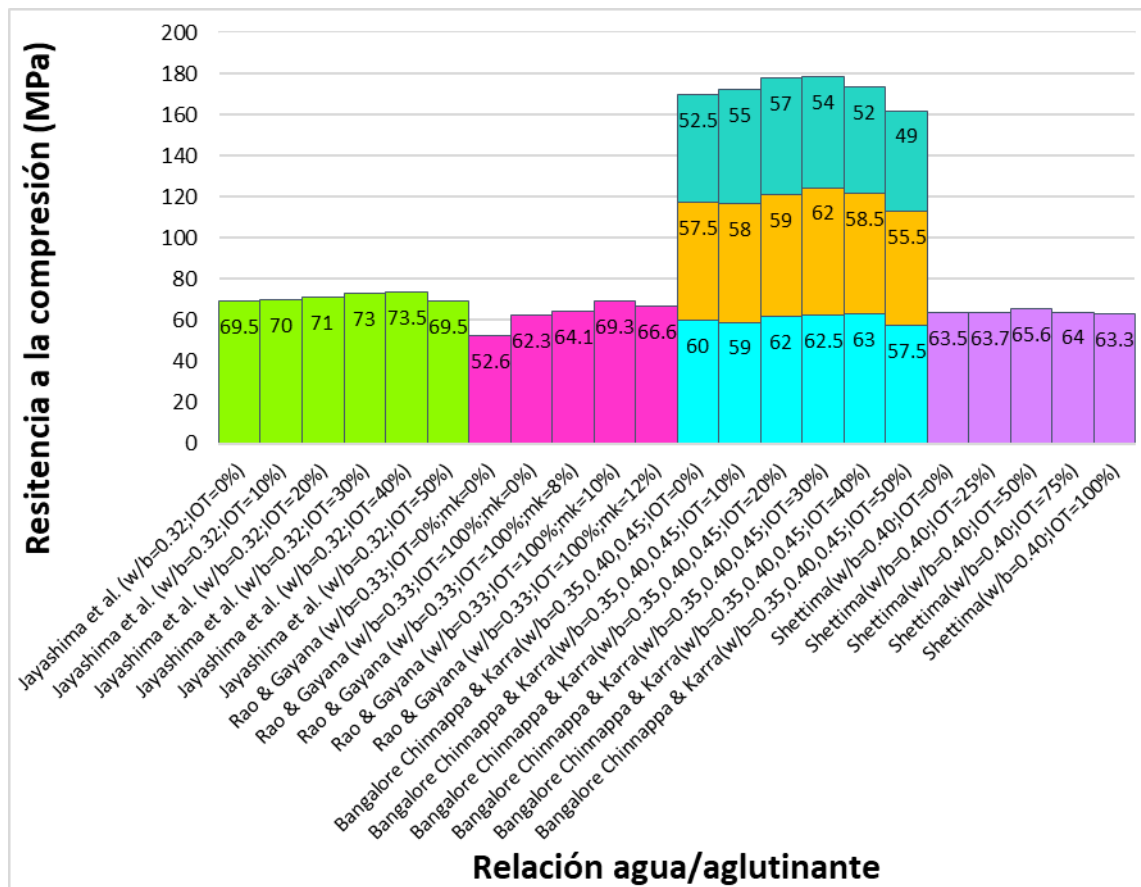
El segundo investigador (Jayasimha et al.,2022) realizó el ensayo a la compresión según la normativa india IS: 516-1989 para seis diseños de mezclas (0% de relaves, 10, 20, 30, 40 y 50% de relaves como reemplazo del agregado fino) los cuales fueron ensayados a los 7,28 y 56 días. A los 28 días, los resultados mostraron que la susitución de relaves de hierro aumentaba la resistencia hasta llegar a un máximo (73.5 MPa, diseño con 40% de relaves de hierro) y a partir de aquí esta disminuía. Al comparar los valores a los 28 días del concreto con 0% de relaves (69.5 MPa) y el diseño óptimo, se demuestra que la resistencia a la compresión se incrementó un 5.8%.

Según el tercer investigador (Bangalore Chinnappa y Karra, 2019) llevo a cabo ensayos de compresión según la norma india IS: 516-1989 para los tiempos de 3, 7, 28 y 56 días. Se realizaron diseños de mezclas con 5 porcentajes de sustitución de relaves (10, 20, 30, 40 y 50%), y un concreto patrón a modo de comparación. A su vez se varió las relaciones a/c (0.35, 0.40 y 0.45) resultando 18 diseños en total. Los resultados de resistencia a los 28 días mostraron que para las relaciones a/c=0.35 el porcentaje óptimo de sustitución de relaves fue de 40%(63MPa), para la relación a/c=0.40 el porcentaje óptimo de sustitución fue de 30%(62MPa), mientras que para la relación a/c =0.45 el porcentaje óptimo fue de 20% (57 MPa). Al analizar se muestra que la resistencia aumentó un 5% respecto al concreto patrón para una relación a/c=0.35, para la relación a/c= 0.40 hubo un aumento de 7.8% respecto al concreto patrón mientras que para la última relación a/c= 0.45 hubo un incremento de 7.8% respecto al concreto patrón, siendo el diseño con relación a/c = 0.35 y 40% de sustitución de relaves de hierro la que obtuvo una mayor resistencia a la compresión frente a todos los diseños realizados.

Según el cuarto investigador (Shettima, 2017) llevo a cabo ensayos de compresión según la norma BS EN 12390-3 (2002). Se realizaron 5 diseños de mezcla, variando los porcentajes de sustitución de relave en 25%, 50%, 75%, 100% y un diseño patrón como se muestra en la Tabla 38. La resistencia a la compresión a los 7 y 28 días tuvo una tendencia de incremento hasta un porcentaje máximo (50% de relave), para luego disminuir. A los 7 días, la máxima resistencia a la compresión óptima fue 58.6 MPa, lo cual representa un 4.8% más respecto a la resistencia del concreto patrón (55.9 MPa), mientras que los 28 días el concreto con 50% de sustitución de relaves (65.6 MPa) incrementó un 3.3% más respecto a la resistencia del concreto patrón (63.5 MPa). A continuación, en la Figura 29 se muestra los resultados de la compresión a los 28 días.

**Figura 29**

*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto patrón y concreto con sustitución de relaves de hierro, a los 28 días de curado.*



Nota. Elaboración propia.

De lo mostrado, se acepta la  $H_1$ , pues la Figura 29 nos muestra que el reemplazo de porcentaje de relave de hierro incrementa la resistencia a la compresión del concreto de alto rendimiento

**Hipótesis 6: Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para incrementar la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento.**

Para poder analizar el porcentaje óptimo de relaves de hierro como reemplazo del agregado fino para el concreto de ultra alto rendimiento se requieren de resultados de ensayos provenientes de artículos, tesis e investigaciones relacionadas al tema.

Hipótesis auxiliar:

$H_0$ : Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino no incrementa la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento.

$H_1$ : Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino si incrementa la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento.

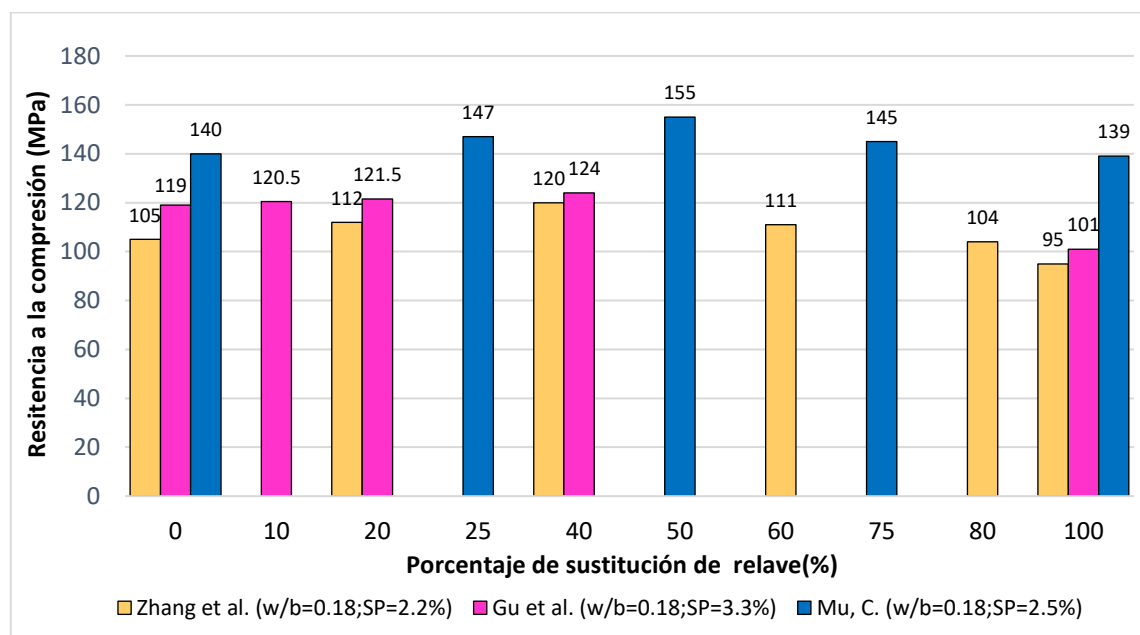
Según el primer investigador (Zhang et al., 2020) se realizaron los ensayos a la compresión según el estándar chino GB/T17671-1999 para edades de 7 y 28 días. Se diseñaron 6 tipos de mezcla: Mezcla patrón (0% de relaves de hierro), 20, 40, 60, 80 y 100% como reemplazo del agregado fino, pudiendo determinar como porcentaje de sustitución ideal un 40% al compararlo con el diseño inicial. Los ensayos mostraron una resistencia patrón a los 7 días (88 MPa) y 28 días (105 MPa); para 40% a los 7 días (95 MPa) y 28 días (120MPa). Los resultados muestran que la sustitución de 40% de relaves de hierro reflejan un aumento del 8% a los 7 días y un 14.3% a los 28 días en la resistencia a la compresión sobre la muestra patrón del concreto de ultra alto rendimiento.

El segundo investigador (Gu et al., 2022) llevo a cabo un ensayo a la compresión según el estándar chino GB/T17671-1999 en el cual se reemplazó el agregado fino en porcentajes de 0, 10, 20, 40 y 100%. Se ensayó a los 7 y 28 días, el resultado obtenido del concreto patrón tuvo la mayor resistencia a los 7 días (100MPa), pero el reemplazo de un 40% de relave de hierro como agregado fino obtuvo el mayor valor a la resistencia a la compresión a los 28 días (124MPa); 5 MPa sobre la muestra patrón. Al analizar se consiguió un incremento del 4.2% de la resistencia de una mezcla con un 40 % de relaves sobre el concreto patrón.

Según el tercer investigador (Mu, 2021) al realizar los ensayos a la compresión según la norma ASTM C490-17 a edades de 7 y 28 días. Se evaluaron 5 diseños de mezcla: Concreto patrón (0% de relaves de hierro), 25, 50, 75 y 100% de sustitución de por árido fino, el porcentaje óptimo fue un 50% de sustitución de relave de mineral de hierro. El diseño patrón obtuvo a los 7 días (108 MPa) y a los 28 días (140 MPa), mientras que un 50% de relave: a los 7 días (120MPa) y a los 28 días (155 MPa). A partir de estos resultados, se obtuvo que el concreto de ultra alto rendimiento con 50% de relaves de hierro a los 7 días de curado aumentó un 11.1% y a los 28 días aumentó un 10.7% su resistencia sobre el concreto patrón. Asimismo, se pudo observar en los resultados que un porcentaje de sustitución mayor al óptimo disminuye la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento. A continuación, en la Figura 30 se muestra los resultados de la compresión a los 28 días.

**Figura 30**

*Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto patrón y concreto con sustitución de relaves de hierro, a los 28 días de curado.*



*Nota.* Elaboración propia.

De lo mostrado, se acepta la  $H_1$ , la Figura 30 nos muestra que el reemplazo de porcentaje de relave de hierro si incrementa la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento.

## DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos de Zhang et al. (2020), Rao y Gayana (2019), Bangalore Chinnappa y Karra (2019) y Shettima (2017) se pudo analizar y rechazar la hipótesis 1, pudiendo demostrar que el relave de mineral de hierro mantiene o disminuye la trabajabilidad del concreto de alto rendimiento, influyendo el porcentaje de sustitución, tamaño y forma de los relaves, además de los materiales cementantes suplementarios en la elaboración de los diseños de mezcla, como se puede observar en la Figura 25.

Según los resultados obtenidos de Zhang et al. (2020), Zhao et al. (2021) y Gu et al. (2022) se pudo analizar y rechazar la hipótesis 2, pudiendo demostrar que el relave de mina de hierro reduce la trabajabilidad del concreto, ya que el diámetro de flujo tiende a disminuir como se puede observar en las investigaciones mencionadas de la Figura 26. Sin embargo, un reemplazo de hasta 50% de relaves aún garantiza un buen comportamiento estando los valores entre 7 a 12 pulgadas según los parámetros del Departamento de Transportes de Michigan.

Según los resultados obtenidos de Zhang et al. (2020) y Hao y Du (2017) se pudo analizar y contrastar la hipótesis 3, pudiendo demostrar que el porcentaje óptimo de reemplazo de relaves es del 100%, reduciendo la penetración de iones de cloruro; llegando a 1226 y 79.8 Coulomb respectivamente la carga que pasa en las muestras con sustitución de relaves. Por otra parte, según los resultados de Jayasimha et al. (2022), se obtuvo un reemplazo óptimo al 50% al obtener una carga de 175 Coulomb, reduciendo la penetración de iones cloruro en 44.4% respecto al diseño patrón, lo cual demuestra que la penetración de iones cloruro es muy baja pues acorde al ASTM, estas deben estar en el rango de 100 - 1000 Coulomb.

Según los resultados obtenidos de Mu (2021) y Zhang et al. (2020) se pudo analizar y contrastar la hipótesis 4, pudiendo demostrar que el porcentaje óptimo de reemplazo de relaves de hierro es del 100%, llegando a 16.5 y 13 Coulomb la carga que pasa en las muestras de UHPC, reduciendo un 25% y 35% la penetración de iones de cloruro respecto a las mezclas patrón, lo cual demuestra que la penetrabilidad es despreciable según el ASTM puesto que las cargas con menores a 100 Coulomb.

Según los resultados obtenidos de Rao y Gayana (2019), Jayasimha et al. (2022), Bangalore Chinnappa y Karra (2020) y Shettima (2017) se pudo analizar y contrastar



la hipótesis 5, demostrando que los diseños con relave de hierro incrementa su resistencia a la compresión respecto al diseño patrón, estando el porcentaje óptimo de reemplazo entre 30% al 40%, ya que un mayor porcentaje de sustitución de relaves muestra una tendencia de disminución de la resistencia; así mismo, la relación w/b se debe encontrar entre 0.32 a 0.40 lo cual garantiza una mayor resistencia a la compresión según la Figura 29.

Según los resultados obtenido de Zhang et al. (2020), Gu et al. (2022) y Mu (2021) se pudo analizar y contrastar la hipótesis 6 aceptada, pudiendo demostrar que los porcentajes de sustitución óptimos de relaves de mineral de hierro se encuentran entre 40% al 50% y que un mayor porcentaje de sustitución genera una disminución de su resistencia. La resistencia a los 28 días llegó a un rango de 120 MPa a 155 MPa, valores que se encuentran en el margen de un concreto de ultra alto rendimiento, como se observa en la Figura 30.

## CONCLUSIONES

1. Los resultados demostraron que el reemplazo del 40% de relave de hierro en el concreto de alto rendimiento incrementa la resistencia a la compresión llegando hasta 73.5 MPa, mientras que un reemplazo del 50% de relaves incrementa la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento hasta 155 MPa. Asimismo, el reemplazo del 100% de relaves de hierro mejora la resistencia a los cloruros del concreto de alto rendimiento alcanzado una penetrabilidad baja de hasta 790.8 Coulomb respectivamente, mientras que en el concreto de ultra alto rendimiento el reemplazo del 100% de relaves alcanza una penetrabilidad despreciable de 13 Coulomb. Sin embargo, la sustitución de relaves de hierro no mejora ni contribuye en el asentamiento o fluidez del concreto de alto y ultra alto rendimiento.
2. En base al análisis de los resultados de los autores, se concluye que el relave de mineral de hierro no mejora el asentamiento de un concreto de alto rendimiento. En su lugar, mantiene o disminuye la trabajabilidad en porcentajes menores, puesto que los autores “Bangalore Chinnapa y Karra” obtuvieron valores iguales a la muestra patrón respectivamente con 30% de sustitución de relaves de hierro, “Rao y Gayana” obtuvieron valores de asentamiento de 1.77” (Tabla 9) con 30% de sustitución, mientras que los autores “Zhang, et al. y Shettima” obtuvieron valores de asentamiento de 7.48” y 2.95” (Tabla 7 y 16) respectivamente con 100% de sustitución. Esto refleja que la trabajabilidad del concreto está influenciada por varios factores, como la cantidad de agua, materiales cementantes suplementarios, módulo de finura del relave y el porcentaje de superplastificante.
3. En base al análisis de los resultados de los autores, se concluye que el relave de mineral de hierro no mejora la fluidez de un concreto de ultra alto rendimiento. Disminuye la trabajabilidad y la fluidez en porcentajes menores si al sustituir al agregado no sobrepasa el 50%, puesto que los autores “Zhang et al. y Gu et al.” obtuvieron valores de fluidez de 7.48” y 8.27” (Figura 26) respectivamente con 40% de sustitución de relaves de hierro, mientras que el autor “Zhao et al.” obtuvo 9.84” (Figura 26) para un 50% de sustitución, manteniendo una buena trabajabilidad y una consistencia fluida.

4. En base al análisis de los resultados de los autores, se concluye que el relave de mineral de hierro si mejora la resistencia a los cloruros de un concreto de alto rendimiento. Disminuye la cantidad de carga que pasa por el concreto, puesto que los autores “Hao y Du” obtuvieron una disminución de un 3.5 % (Figura 13) con un 100% de sustitución de relaves de hierro, “Zhang et al.” obtuvo una disminución de un 6.07% (Figura 12) para un 100% de sustitución respecto al patrón añadiendo el aditivo SRA que mejora el efecto en la resistencia ante los cloruros, mientras que “Jayasimha et al.” al reemplazar un 50 % de relaves observó una disminución de 44.4% (Figura 11) respecto al diseño patrón.
5. En base al análisis de los resultados proveniente de los autores, se concluye que la sustitución del 100% de relaves de mineral de hierro por agregado fino incrementa la resistencia a la penetración de cloruros, puesto que según “Zhang et al. y Mu” con un reemplazo total de relaves, la carga que pasa se reduce a 13 y 16.5 Coulomb (Figura 14 y 15) respectivamente, mostrando mejores resultados sobre las muestras patrón.
6. En base al análisis de los resultados de los autores, se concluye que la sustitución de relaves de mineral hierro incrementa la resistencia a la compresión del concreto de alto rendimiento, si estos no sobrepasan un 40%, para “Jayasimha et al. y Bangalore Chinnappa y Karra” el porcentaje óptimo de sustitución resultó un 40% obteniendo en sus diseños 73.5 MPa y 63 MPa (Figura 18 y 19) respectivamente, mientras que “Rao y Gayana” al sustituir los relaves en un 30% y el metacaolín en un 10% obtuvieron 69.3 MPa (Figura 16) respecto a un diseño patrón de 52.5 MPa.
7. En base al análisis de los resultados de los autores, se concluye que los relaves de mineral de hierro si incrementan la resistencia a la compresión de un concreto de ultra alto rendimiento a los 28 días si el porcentaje de sustitución no sobrepasa el 50%, puesto que los autores “Gu et al. y Zhang et al.” obtuvieron valores de 120 MPa y 124 MPa (Figura 22 y 23) respectivamente con un 40% de sustitución de relaves de hierro por agregado fino, mientras que el autor “Mu” alcanzó los 155MPa (Figura 24) para un 50% de sustitución, mostrando así un aumento en la resistencia a la compresión respecto al diseño patrón.

## RECOMENDACIONES

1. Para mejorar el asentamiento del concreto de alto rendimiento, se recomienda optimizar la granulometría de los agregados, ya que la selección adecuada de estos elementos influye en la trabajabilidad del concreto. Se debería evaluar el tamaño y la distribución de partículas de los relaves de mineral de hierro que se planea incorporar, y realizar pruebas de laboratorio para determinar la combinación de agregados que brinde la trabajabilidad deseada sin comprometer la resistencia y otras propiedades esenciales del concreto.
2. Para mejorar la fluidez del concreto de ultra alto rendimiento, se debería de tomar en cuenta los porcentajes de reemplazo máximos de relaves a usar, la cantidad de superplastificante y la relación agua/aglutinante en los diseños de mezcla ya que el uso de relaves tiende a espesar las mezclas de concreto.
3. Si bien el presente estudio demostró que la incorporación de relaves de hierro produce en el concreto de alto rendimiento una mejora con respecto a la resistencia a los cloruros, hay una necesidad de investigar más a fondo los efectos al aplicar materiales complementarios como el SAP, SRA y CPFL en los diseños de mezcla.
4. Se recomienda realizar ensayos para analizar la resistencia a sulfatos del concreto de ultra alto rendimiento a fin de brindar mayor información del probable comportamiento de este concreto frente a otro tipo de ambiente.
5. Para mejorar la resistencia a la compresión del concreto de alto rendimiento, se sugiere realizar diseños de mezcla de relaves de hierro y materiales complementarios como el metacaolín o la alcofina a fin de aumentar la resistencia del concreto, sin embargo, se debe tomar en cuenta que estos materiales poseen una mayor cantidad de finos por lo que se debe de aumentar la cantidad de superplastificante a utilizar.
6. Para la elaboración de un concreto de ultra alto rendimiento con relaves se debe de tomar en cuenta el porcentaje ideal de la relación agua/aglutinante a fin de obtener una mayor resistencia a la compresión y buena trabajabilidad, siendo 0.18 la relación de partida para poder realizar los diseños de mezcla. Asimismo, tener en

consideración los tipos de relave a usar ya que su composición química podría variar esta relación.

7. Para futuras investigaciones se sugiere utilizar los relaves de mineral de hierro como sustituto del cemento en los dos tipos de concreto estudiados, ya que se ha podido observar que tienen una gran actividad puzolánica debido a la composición química que posee.

## REFERENCIAS

- ACI Committee 239R. (2018). *Ultra-High-Performance Concrete: An Emerging Technology Report*.  
[https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/239R-18\\_preview.pdf](https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/239R-18_preview.pdf)
- Ally, A. N., Blanche, M. M., Nana, U. J. P., Grâce, M. M., François, N., & Pettang, C. (2021). Recovery of Mining Wastes in Building Materials: A Review. *Open Journal of Civil Engineering*, 11(04), 379–397.  
<https://doi.org/10.4236/ojce.2021.114022>
- Anicama, G. (2010). *Estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicios*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/500>
- ASTM C1202- 19. (2022). *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*. <https://www.astm.org/c1202-19.html>
- Bangalore Chinnappa, G., & Karra, R. C. (2020). Experimental and statistical evaluations of strength properties of concrete with iron ore tailings as fine aggregate. *Journal of Hazardous, Toxic and Radioactive Waste*, 24(1).  
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)hz.2153-5515.0000480](https://doi.org/10.1061/(asce)hz.2153-5515.0000480)
- Chavarry, G. (2018). *Elaboración de concreto de alta resistencia incorporando partículas residuales del chancado de piedra de la Cantera Talambo, Chepén*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio de Tesis USAT. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/1340>
- Chavarry Vallejos, C., Chavarría Reyes, L., Valencia Gutiérrez, A., Pereyra Salardi, E., Arieta Padilla, J., & Rengifo Salazar, C. (2020). *Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica*. Pro Sciences, 4(31), 31-41. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss31.2020pp31-41>
- Das, S. K., Kumar, S., & Ramachandrarao, P. (2000). Exploitation of iron ore tailing for the development of ceramic tiles. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 20(8), 725–729. [https://doi.org/10.1016/s0956-053x\(00\)00034-9](https://doi.org/10.1016/s0956-053x(00)00034-9)
- De la Cruz, T., & Hugo, P. (2003). *Compendio de yacimientos minerales del Perú - [Boletín B 10]*. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/202>
- Dean, J. D., Stephens, J. E., & Bancroft, J. (1995). Use of mine tailings in construction materials. *Tailings and Mine Waste 1996* (1st Edition, pp. 567–576). CRC Press.

- Espinoza, A. (2010). *Estudio de dosificación de hormigón de ultra- alta resistencia, basado en el empaquetamiento de los áridos*. (Tesis de Master, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM. <https://oa.upm.es/4511/>
- García, L. (2018). *Concreto de alto desempeño utilizando hormigón con adición de microsilice y superplastificante en la ciudad de Huancayo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4908>
- IIMP. (2021). PERÚ PROYECTA RECUPERAR CERCA DE 700 TONELADAS DE COBRE PROVENIENTES DE RELAVES MINEROS HACIA EL AÑO 2030. <https://iimp.org.pe/actualidad-minera/peru-proyecta-recuperar-cerca-de-700-toneladas-de-cobre-provenientes-de-relaves-mineros-hacia-el-ano-2030#:~:text=Per%C3%BA%20cuenta%20con%20el%20potencial,las%20distintas%20categor%C3%ADas%20de%20relaves>.
- Jaramillo, D. (2020). *PROPIEDADES MECÁNICAS Y DE DURABILIDAD DE CONCRETOS DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES (UHPC), CON DIFERENTES MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS*. [Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1255>
- Jayasimha, N., Sujini, B., & Annapurna, B. P. (2022). UTILIZATION OF IRON ORE TAILING AS PARTIAL SUBSTITUTION TO FINE AGGREGATE FOR A SUSTAINABLE AND DURABLE HIGH-STRENGTH CONCRETE. *Journal of Tianjin University (Science and Technology)*,2022(12).  
doi:10.17605/OSF.IO/7KSQP
- Larrain Vial SAB. (2012). *Minería en el Perú Realidad y Perspectivas*. Empresa Editora El Comercio S.A.  
[https://www.larrainvial.com/comunicados/SitioPublico/multimedia/documentos/Mineria\\_en\\_el\\_Peru.pdf](https://www.larrainvial.com/comunicados/SitioPublico/multimedia/documentos/Mineria_en_el_Peru.pdf)
- Liu, W. Y., Xu, X., & An, Y. Y. (2011). Study on the sprayed concrete with iron tailings. *Advanced Materials Research*, 347-353, 1939-1943.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.347-353.1939>
- López, I. (2019). *INFLUENCIA DE LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS MINEROS SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN DE*

- MUY ALTO RENDIMIENTO*. [Tesis de doctorado, Universidad de Oviedo]. Repositorio institucional de la Universidad de Oviedo]. Repositorio institucional de la Universidad de Oviedo. <http://hdl.handle.net/10651/52632>
- Menéndez, J., & Muñoz, S. (2021). CONTAMINACIÓN DEL AGUA y SUELO POR LOS RELAVES MINEROS. *Paideia XXI*, 11(1), 141-154. <https://doi.org/10.31381/paideia.v11i1.3622>
- Ministerio de Energía y Minas. (2023). Anuario Minero 2022. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4700376/2022.pdf?v=1689975935>
- Norma Técnica Peruana. (2018). NTP 400.3037 Agregados. *Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto)*. <https://bit.ly/3s1cIL6>
- Orihuela, R. (2023, 10 de abril). Puno: Paratía se inundó con los relaves mineros de Ciemsa. *La República*. <https://larepublica.pe/sociedad/2023/04/09/puno-paratia-se-inundo-con-los-relaves-mineros-de-ciemsa-lrsd-733086>
- Ramirez, M. (2017). *Determinación de la manejabilidad de mezclas de concreto de bajo asentamiento utilizando el método de ensayo del consistómetro vebe*. [Tesis de licenciatura, Universidad Rafael Landívar]. Universidad Rafael Landívar. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrkd/2017/02/09/Ramírez-Maria.pdf>
- Rao, A., & Gayana, B. (2019). Effect of Metakaolin and Iron Ore Tailings on The Properties of High Strength Concrete. *SAMRIDDHI : A Journal of Physical Sciences, Engineering and Technology*, 11(SUP), 34-39. <https://doi.org/10.18090/samriddhi.v11iSUP-1.17364>
- Romero, A. (2015). *Tratamiento de relaves mineros contaminados con plantación de gramíneas (KIKUYO) para convertirlos en áreas verdes en las minas de la Región Central del Perú*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1352>
- Saavedra, R. & Beingolea, R. (2019). *Diseño y elaboración de concretos de alta resistencia usando relaves mineros y material de socavón mina para diseños de 280 kg/cm<sup>2</sup>, 350 kg/cm<sup>2</sup> y 450 kg/cm<sup>2</sup>*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santa María]. Repositorio Institucional de la UCSM. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9624>



- Shettima, A. (2017). *Development of sustainable concrete using iron ore tailing as sand replacement*. [Tesis de doctorado, Universiti Teknologi Malaysia]. Universiti Teknolofi Malaysia Institutional Repository.  
<http://eprints.utm.my/id/eprint/81669/1/ShettimaUmaraAliPFKA2017.pdf>
- Sika Perú. (2013). *Aditivos para Concreto- Una visión actual* [Brochure].  
[https://per.sika.com/content/dam/dms/pe01/4/Aditivos%20para%20Concreto\\_Brochure.pdf](https://per.sika.com/content/dam/dms/pe01/4/Aditivos%20para%20Concreto_Brochure.pdf)
- Silupu, J. W. E., Franco, J. E. F., Gutiérrez, R. E. B., & Pary, C. A. R. (2020). Efecto de la utilización de agregados de concreto reciclado sobre el ambiente y la construcción de viviendas en la ciudad de Huamachuco. *Puriq*, 2(1), 16-27. <https://doi.org/10.37073/puriq.2.1.68>
- Ventocilla, K. & Furlong, S. (2022). *Relave de mina de oro y hierro como sustituto del agregado fino para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto*. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional de la Universidad Ricardo Palma. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/6051>
- Zhang, W., Gu, X., Qiu, J., Liu, J., Zhao, Y., & Li, X. (2020). Effects of iron ore tailings on the compressive strength and permeability of ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 260.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119917>
- Zhang, Z., Zhang, Z., Yin, S., & Yu, L. (2020). Utilization of iron tailings sand as an environmentally friendly alternative to natural river sand in high-strength concrete: Shrinkage characterization and mitigation strategies. *Materials*, 13(24), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ma13245614>
- Zhao, S., Fan, J., & Sun, W. (2014). Utilization of iron ore tailings as fine aggregate in ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 50, 540–548. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.019>
- Zhao, Y., Gu, X., Qiu, J., Zhang, W., & Li, X. (2021). Study on the utilization of iron tailings in ultra-high-performance concrete: Fresh properties and compressive behaviors. *Materials*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/ma14174807>
- 穆创国.(2021).铁尾矿改性超高性能混凝土强度和渗透性研究. *粉煤灰综合利用* (06),68-72+136. doi:10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2021.06.013.
- 郝晋高 & 杜利鹏.(2017).铁尾矿砂石对C50混凝土性能的影响. *山西交通科技* (06),48-50. doi:CNKI:SUN: SXJT.0.2017-06-017.

顾晓薇,徐建宇,贾泽藩,韩继宝,陈亮霄 & 阿如日.(2022).极细高硅型铁尾矿制备超高性能混凝土研究. *金属矿山* (01),71-75. doi:10.19614/j.cnki.jsks.202201010.

## ANEXOS

### Anexo A: Matriz de consistencia

TÍTULO: RELAVES MINEROS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL CONCRETO DE ALTO Y ULTRA ALTO RENDIMIENTO						
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
¿En qué medida el relave minero como sustituto del agregado fino influye en las propiedades físico - mecánicas del concreto de alto y ultra alto rendimiento?	Determinar el relave minero como sustituto del agregado fino para mejorar las propiedades físico - mecánicas del concreto de alto y ultra alto rendimiento	Al determinar el relave minero como sustituto del agregado fino mejoran las propiedades físico - mecánicas del concreto de alto y ultra alto rendimiento.	Relave minero	Porcentaje de relaves de hierro	Normas nacionales e internacionales:  -ASTM C 1611 - Método de Prueba para el Flujo de Asentamiento	-El método es deductivo, la orientación es aplicada y según la el enfoque es cuantitativo
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE			
a. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino influye en el asentamiento del concreto de alto rendimiento?	a. Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar el asentamiento del concreto de alto rendimiento	a. Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino mejora el asentamiento del concreto de alto rendimiento.		Asentamiento/Fluid ez	-ASTM C 1202- Método de prueba estándar para la indicación eléctrica de la capacidad del hormigón para resistir la penetración de iones de cloruro	-El tipo de la investigación es descriptiva, explicativa y correlacional.
b. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino influye en la fluidez del concreto de ultra alto rendimiento?	b. Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar la fluidez del concreto de ultra alto rendimiento.	b. Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino mejora la fluidez del concreto de ultra alto rendimiento				-El nivel de la investigación es descriptivo.

c. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a los cloruros del concreto de alto rendimiento?	c. Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar la resistencia a los cloruros del concreto de alto rendimiento.	c. Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino mejora la resistencia a los cloruros del concreto de alto rendimiento.	Propiedades Físico - Mecánicas del concreto de alto y ultra alto rendimiento	Resistencia a los cloruros	-I. S: 9013 – 1978 Método de fabricación, curado y determinación de la resistencia a la compresión de hormigón de curado acelerado especímenes de prueba	-El diseño de la investigación es, según su propósito no experimental; según mediciones es longitudinal; y según la cronología es retrospectiva.
d. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a los cloruros del concreto de ultra alto rendimiento?	d. Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para mejorar la resistencia a los cloruros del concreto de ultra alto rendimiento.	d. Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino mejora la resistencia a los cloruros del concreto de ultra alto rendimiento.				
e. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino influye en la resistencia a la compresión del concreto de alto rendimiento?	e. Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para incrementar la resistencia a la compresión del concreto de alto rendimiento.	e. Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino incrementa la resistencia a la compresión del concreto de alto rendimiento	Resistencia a la compresión			
f. ¿En qué medida el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino influye la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento?	f. Determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino para incrementar la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento.	f. Al determinar el porcentaje óptimo de relave minero de hierro como sustituto del agregado fino incrementa la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto rendimiento.				

Nota. Elaboración Propia.

## Anexo B: Matriz de autores

Ítem	Autor	Título (español)	Resumen	Indicadores estudiados	Tipo de concreto	Año	Tipo de investigación
1	Zhang, W., Gu, X., Qiu, J., Liu, J., Zhao, Y., & Li, X.	Efectos de los relaves de mineral de hierro sobre la resistencia a la compresión y permeabilidad del hormigón de ultra alto rendimiento	Se realizó un ensayo para sustituir la arena fabricada con relaves de mineral de hierro en porcentajes de 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 % y 100 % en peso y ver su influencia en la resistencia a la compresión, permeabilidad y fluidez.	Resistencia a la Compresión, Resistencia a Cloruros, Fluidez	UHPC	2020	Artículo
2	Zhao, Y., Gu, X., Qiu, J., Zhang, W., & Li, X.	Estudio sobre la Utilización de Relaves de Hierro en Concretos de Ultra-Alto Desempeño: Propiedades en Fresco y Comportamientos a la Compresión	La arena de relaves de hierro se utiliza como agregado para reemplazar a la arena de río natural en porcentajes de 25, 50, 75 y 100% en peso, se evaluaron propiedades como la trabajabilidad, comportamiento a compresión, microporosidad y propiedades autógenas.	Resistencia Compresión, Fluidez	UHPC	2021	Artículo
3	JAYASIMHA. N, SUJINI B, ANNAPURNA B.	UTILIZACIÓN DE RELAVES DE MINERAL DE HIERRO COMO SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL ÁRIDO FINO PARA UN CONCRETO SOSTENIBLE Y DURADERO DE ALTA RESISTENCIA	Se realizó un ensayo para sustituir el agregado fino en porcentajes de 0, 10,20,30,40,50 %, para evaluar parámetros del concreto tales como trabajabilidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, módulo de Young, permeabilidad, sorción, difusión de iones de cloruro y resistencia al ataque ácido.	Resistencia a la Compresión, Resistencia a Cloruros, asentamiento	HPC	2022	Artículo

4	Zhiqiang Zhang, Zhilu Zhang, Shaoning Yin, Linwen Yu	Utilización de arena de relaves de hierro como una alternativa ecológica a la arena natural de río en concreto de alta resistencia: caracterización de la contracción y estrategias de mitigación	Se investigaron las características de contracción del concreto con arena de río, arena de relaves de hierro, junto con las propiedades como el asentamiento, el flujo de asentamiento, la resistencia a la compresión y a la flexión y el módulo de elasticidad dinámica.	Resistencia a la Compresión, Resistencia a Cloruros, Asentamiento	HPC	2020	Artículo
5	Rao & Gayana.	Efecto de los relaves de metacaolín y mineral de hierro en las propiedades del hormigón de alta resistencia	El estudio evalúa el efecto de la incorporación de metacaolín (MK) y relaves de mineral de hierro sobre las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto de alta resistencia para una relación agua/ligante constante de 0.33.	Resistencia a la Compresión, Asentamiento	HPC	2019	Artículo
6	SHETTIMA UMARA ALI	DESARROLLO DE CONCRETO SOSTENIBLE UTILIZANDO MINERAL DE HIERRO RELAVES COMO REEMPLAZO DE ARENA	Se utilizaron los relaves de mineral de hierro (IOT), como sustituto del agregado fino en distintos porcentajes para concretos grados 30 y 60 y relaciones agua/cemento de 0.60 y 0.40 respectivamente. Se evaluaron propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, además del comportamiento de lixiviación y características de los relaves.	Resistencia a la Compresión, Resistencia a Cloruros, Asentamiento	HPC	2017	Tesis Internacionales

7	N. Jayasimhaa, B. Sujini, BP Annapurna	Un estudio sobre las propiedades de durabilidad y resistencia del concreto de alta resistencia con reemplazo parcial de relaves de mineral de hierro con agregados finos.	Usando una relación A/C de 0.32, se realizaron mezclas de concreto con 0, 10, 20, 30, 40 y 50% IOT como reemplazo de agregados finos. El hormigón que contenía IOT se probó en cuanto a trabajabilidad, resistencia a la compresión y a la tracción, y prueba de durabilidad (absorción de agua, prueba de ácido, prueba química).	Resistencia a la Compresión, Asentamiento	HPC	2022	Artículo
8	Bangalore Chinnappa & Karra	Evaluaciones experimentales y estadísticas de propiedades de resistencia del concreto con relaves de mineral de hierro como agregado fino.	La investigación pretende analizar el uso de la alcofina como reemplazo del cemento y los relaves de mineral de hierro como reemplazo del agregado fino, evaluando propiedades del concreto como el asentamiento, resistencia a la compresión, resistencia a la compresión y flexión, todas estas propiedades fueron evaluadas para relaciones agua/cemento de 0.35, 0.40 y 0.45.	Resistencia a la Compresión, Asentamiento	HPC	2019	Artículo
9	Mu, C	Estudio de Resistencia y Permeabilidad del Concreto de Ultra- alto Desempeño Modificado por Relaves de Hierro.	Se estudiaron los relaves de mineral de hierro como sustituto de la arena, evaluando la resistencia a la compresión, flexión y resistencia a cloruros del UHPC.	Resistencia a la Compresión, Resistencia a Cloruros	UHPC	2021	Artículo

10	Hao J, Du L	Influencia de la arenisca de relaves de hierro en las propiedades del hormigón C50	Se pretende evaluar la arena de relaves de hierro como reemplazo a la arena y grava y así poder evaluar las propiedades como la trabajabilidad, resistencia a la compresión, resistencia a las heladas y permeabilidad.	Resistencia a la Compresión, Resistencia a Cloruros, Asentamiento	HPC	2017	Artículo
11	Gu X, XuJian Y, Jia z, han j, Chen L, ah r	Preparación de concreto de ultra alto rendimiento a partir de relaves de hierro ultrafinos con alto contenido de silicio	Se utiliza la teoría del empaquetamiento para poder diseñar un concreto de ultra alto rendimiento con relaves de hierro en lugar de arena, se evaluaron propiedades de suspensión y mecánicas en el concreto de ultra alto rendimiento.	Resistencia a la Compresión, Fluidez	UHPC	2022	Artículo

---

*Nota.* Elaboración Propia.