



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Sustitución de la escoria de acero como remplazo del agregado fino para  
mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**AUTORES**

Fernandez Cordova, Walter Clemente

ORCID: 0000-0002-3280-2548

Guzman Chanca, Edgar

ORCID: 0000-0002-5941-5978

**ASESOR**

Chavarría Reyes, Liliana Janet

ORCID: 0000-0002-1759-2132

**Lima, Perú**

**2022**

## **Metadatos Complementarios**

### **Datos de autores**

Fernandez Cordova, Walter Clemente

DNI: 75338403

Guzman Chanca, Edgar

DNI: 75325319

### **Datos de asesor**

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

### **Datos del jurado**

#### **JURADO 1**

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

#### **JURADO 2**

Chavarry Vallejos, Carlo Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

#### **JURADO 3**

Torres Chung, César Roberto

DNI: 41182279

ORCID: 0000-0002-3212-2817

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 02.01.01

Código del Programa: 732016

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis familiares, compañeros y amigos quienes me brindaron apoyo, conocimientos y consejos a lo largo de mis cinco años de estudio.

(Fernandez Cordova, Walter Clemente)

Esta tesis está dedicada a todos mis seres amados, amigos y compañeros; quienes, han sido el soporte perfecto para nunca decaer y mantenerme firme en cada etapa del proceso del desarrollo de esta tesis.

(Guzman Chanca, Edgar)

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar; a nuestros padres, quienes siempre confiaron y creyeron en nosotros; a nuestros familiares, que con firmes consejos y motivación siempre nos apoyaron; a nuestros asesores Liliana J. Chavarría Reyes y Carlos M. Chavarry Vallejos que compartieron con nosotros lo más valioso que poseen, el conocimiento. (Fernandez Cordova, Walter Clemente y Guzman Chanca, Edgar)

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	1
1.1.1. Mapa del proyecto .....	2
1.2. Formulación del problema .....	2
1.2.1. Problema General .....	2
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos de la Investigación .....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Delimitación de la investigación.....	3
1.4.1. Geográfica.....	4
1.4.2. Temporal .....	4
1.4.3. Temática.....	4
1.4.4. Muestral .....	4
1.5. Justificación de la investigación.....	4
1.5.1. Conveniencia .....	4
1.5.2. Relevancia social .....	4
1.5.3. Aplicaciones practicas .....	4
1.5.4. Utilidad metodológica.....	5
1.5.5. Valor teórico .....	5
1.6. Importancia del estudio .....	5
1.6.1. Nuevos conocimientos.....	5
1.6.2. Aportes.....	5
1.7. Limitaciones del estudio .....	5
1.7.1. Falta de estudios previos de investigación.....	6
1.7.2. Metodológicos o prácticos.....	6

1.7.3. Medidas para la recolección de datos .....	6
1.7.4. Obstáculos en la investigación.....	6
1.8. Alcance.....	6
1.9. Viabilidad del estudio .....	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1. Marco histórico .....	7
2.2. Investigaciones relacionadas al tema .....	8
2.2.1. Investigaciones internacionales .....	8
2.2.2. Investigaciones nacionales.....	9
2.2.3. Artículos relacionados con el tema.....	11
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio .....	18
2.4. Definición de términos básicos .....	24
2.5. Fundamentos teóricos que sustenten la hipótesis.....	25
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>26</b>
3.1. Hipótesis.....	26
3.1.1. Hipótesis general.....	26
3.1.2. Hipótesis específicas.....	26
3.3. Sistema de variables .....	26
3.3.1. Definición conceptual y operacional .....	26
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>28</b>
4.1. Método de investigación .....	28
4.2. Tipo de investigación .....	28
4.3. Nivel de investigación.....	28
4.4. Diseño de investigación .....	28
4.5. Población y muestra .....	28
4.5.1. Población .....	28
4.5.2. Muestra .....	29
4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos.....	29
4.6.1. Instrumento de recolección de datos.....	29
4.7. Descripción de procesamientos de análisis .....	29

<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA</b>	
<b>    INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>30</b>
5.1. Resultados de la investigación.....	30
5.1.1. Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la trabajabilidad del hormigón. ....	31
5.1.2. Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón. ....	35
5.1.3. Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la resistencia a la flexión del hormigón. ....	56
5.1.4. Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la resistencia a la tracción. ....	73
5.2. Constatación de Hipótesis.....	89
5.2.1. Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la trabajabilidad del hormigón.....	89
5.2.2. Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la resistencia a la compresión del hormigón .....	90
5.2.3. Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la resistencia a la flexión del hormigón .....	93
5.2.4. Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la resistencia a la tracción del hormigón.....	95
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>102</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>104</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>106</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>112</b>
Anexo N° 1: Matriz de Consistencia .....	112
Anexo N° 2: Investigaciones consultadas.....	114
Anexo N° 3: Operalización de la variable .....	115

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Análisis granulométrico del agregado fino. ....	20
Tabla N° 2: Clasificación según su asentamiento.....	23
Tabla N° 3: Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción.....	23
Tabla N° 4: Propiedades físicas de la escoria de acero.....	23
Tabla N° 5: Tipos de Cementos hidráulicos .....	24
Tabla N° 6: Composición química de la escoria de acero según lugar de procedencia .....	31
Tabla N° 7 Recopilación de investigaciones del efecto escoria de acero en las propiedades físico-mecánicas del hormigón .....	31
Tabla N° 8: Análisis granulométrico de la escoria de acero .....	32
Tabla N° 9: Resultados de asentamiento para diferentes porcentajes de remplazo de escoria de acero .....	32
Tabla N° 10: Reducción del asentamiento a diferentes porcentajes de sustitución ..	33
Tabla N° 11 Resultados del ensayo de asentamiento del hormigón para diferentes porcentajes de escoria de acero .....	34
Tabla N° 12: Reducción del asentamiento a diferentes porcentajes de sustitución ..	35
Tabla N° 13: Propiedades Físicas de la escoria de acero.....	35
Tabla N° 14 Resultados de resistencia a la compresión para diferentes porcentajes de escoria de acero .....	36
Tabla N° 15: Incremento de resistencia a la compresión a los 7 días de curado. ....	37
Tabla N° 16: Incremento de resistencia a la compresión a los 14 días de curado ....	38
Tabla N° 17: Incremento de resistencia a la compresión a los 28 días de curado ....	39
Tabla N° 18: Propiedades químicas de la escoria de acero .....	40
Tabla N° 19: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para diferentes porcentajes de remplazo .....	40
Tabla N° 20: Incremento de resistencia a la compresión a los 7 días de curado. ....	41
Tabla N° 21: Incremento de resistencia a la compresión a los 14 días de curado ....	42
Tabla N° 22: Incremento de resistencia a la compresión a los 28 días de curado. ...	43
Tabla N° 23: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión .....	44
Tabla N° 24: Incremento de resistencia a la compresión a los 7 días de curado. ....	45

Tabla N° 25: Incremento de resistencia a la compresión a diferentes porcentajes de sustitución con respecto al diseño patrón a los 14 días de curado. ...	46
Tabla N° 26: Incremento de resistencia a la compresión a los 28 días de curado. ...	47
Tabla N° 27 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión .....	48
Tabla N° 28: Incremento de resistencia a la compresión a los 7 días de curado. ....	50
Tabla N° 29: Incremento de resistencia a la compresión a los 14 días de curado. ...	51
Tabla N° 30: Incremento de resistencia a la compresión a los 28 días de curado. ...	52
Tabla N° 31: Propiedades físicas de la escoria de acero.....	52
Tabla N° 32: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión .....	53
Tabla N° 33: Incremento de resistencia a la compresión a los 7 días de curado. ....	54
Tabla N° 34: Incremento de resistencia a la compresión a los 14 días de curado. ...	55
Tabla N° 35: Incremento de resistencia a la compresión a los 28 días de curado. ...	56
Tabla N° 36: Incremento de resistencia a la flexión a los 28 días de curado.....	58
Tabla N° 37: Incremento de resistencia a la flexión a los 14 días de curado.....	59
Tabla N° 38: Incremento de resistencia a la flexión a los 28 días de curado.....	60
Tabla N° 39: Resultados de ensayos de resistencia a la flexión para diferentes porcentajes de escoria de acero .....	61
Tabla N° 40: Incremento de resistencia a la flexión a los 7 días de curado.....	62
Tabla N° 41: Incremento de resistencia a la flexión a los 14 días de curado.....	63
Tabla N° 42: Incremento de resistencia a la flexión los 28 días de curado. ....	64
Tabla N° 43: Resultados de ensayos de resistencia a la flexión para diferentes porcentajes de escoria de acero .....	65
Tabla N° 44: Incremento de resistencia a la a los 7 días de curado. ....	66
Tabla N° 45: Incremento de resistencia a la flexión a los 14 días de curado.....	67
Tabla N° 46: Incremento de resistencia a la flexión a los 28 días de curado.....	68
Tabla N° 47 Resultados de ensayos de resistencia a la flexión para diferentes porcentajes de escoria de acero .....	69
Tabla N° 48: Incremento de resistencia a la flexión a los 7 días de curado.....	70
Tabla N° 49: Incremento de resistencia a la flexión a los 14 días de curado.....	71
Tabla N° 50: Incremento de resistencia a la flexión a los 28 días de curado.....	72

Tabla N° 51 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para diferentes porcentajes de escoria de acero .....	73
Tabla N° 52: Incremento de resistencia a la tracción a los 7 días de curado. ....	74
Tabla N° 53: Incremento de resistencia a la tracción a los 14 días de curado. ....	75
Tabla N° 54: Incremento de resistencia a la tracción a los 28 días de curado. ....	76
Tabla N° 55 Resultados de ensayos de resistencia a la tracción para diferentes porcentajes de escoria de acero .....	77
Tabla N° 56: Incremento de resistencia a la tracción a los 7 días de curado. ....	78
Tabla N° 57: Incremento de resistencia a la tracción a los 14 días de curado. ....	79
Tabla N° 58: Incremento de resistencia a la tracción a los 28 días de curado. ....	80
Tabla N° 59 Resultados de ensayos de resistencia a la tracción para diferentes porcentajes de escoria de acero .....	81
Tabla N° 60: Incremento de resistencia a la tracción a los 7 días de curado. ....	82
Tabla N° 61: Incremento de resistencia a la tracción a los 14 días de curado. ....	83
Tabla N° 62: Incremento de resistencia a la tracción a los 14 días de curado. ....	84
Tabla N° 63: Resultados de ensayos de resistencia a la tracción para diferentes porcentajes de escoria de acero .....	85
Tabla N° 64: Incremento de resistencia a la tracción a los 7 días de curado. ....	86
Tabla N° 65: Incremento de resistencia a la tracción a diferentes porcentajes de sustitución con respecto al diseño patrón a los 14 días de curado ...	87
Tabla N° 66: Incremento de resistencia a la tracción a diferentes porcentajes de sustitución con respecto al diseño patrón a los 28 días de curado ...	88
Tabla N° 67 Porcentaje de sustitución óptimo en resistencia a la compresión.....	92
Tabla N° 68 Porcentaje de sustitución óptimo en resistencia a la flexión. ....	95
Tabla N° 69 Porcentaje de sustitución óptimo en resistencia a la tracción.....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Árbol de problemas.....	2
Figura N° 2: Horno de oxígeno básico .....	19
Figura N° 3: Horno de arco eléctrico.....	19
Figura N° 4: Esquema de los patrones de tipos de fracturas .....	21
Figura N° 5: Diagrama de Ensayo aguante a la tracción del hormigón.....	22
Figura N° 6: Dimensiones del cono de Abrams .....	23
Figura N° 7: Matriz de hipótesis Fuente: Elaboración propia .....	25
Figura N° 8: Resultado de asentamiento vs porcentaje de escoria de acero.....	33
Figura N° 9: Resultado de trabajabilidad vs porcentaje de escoria .....	34
Figura N° 10: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 7 días.....	37
Figura N° 11: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 14 días.....	38
Figura N° 12: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 28 días.....	39
Figura N° 13: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 7 días.....	41
Figura N° 14: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 14 días.....	42
Figura N° 15: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 28 días.....	43
Figura N° 16: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 7 días.....	45
Figura N° 17: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 14 días.....	46
Figura N° 18: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 28 días.....	47
Figura N° 19: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 7 días.....	49

Figura N° 20: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 14 días.....	50
Figura N° 21: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 7 días.....	58
Figura N° 22: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 14 días.....	59
Figura N° 23: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 28 días.....	60
Figura N° 24: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 7 días.....	62
Figura N° 25: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 14 días.....	63
Figura N° 26: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 28 días.....	64
Figura N° 27: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 7 días.....	66
Figura N° 28: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 14 días.....	67
Figura N° 29: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 28 días.....	68
Figura N° 30: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 7 días.....	70
Figura N° 31: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 14 días.....	71
Figura N° 32: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 28 días.....	72
Figura N° 33: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 7 días .....	74
Figura N° 34: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 14 días .....	75
Figura N° 35: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 28 días .....	76
Figura N° 36: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 7 días .....	78
Figura N° 37: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 14 días .....	79
Figura N° 38: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 28 días .....	80
Figura N° 39: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 7 días .....	82
Figura N° 40: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 14 días .....	83
Figura N° 41: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 28 días .....	84
Figura N° 42: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 7 días .....	86
Figura N° 43: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 14 días .....	87
Figura N° 44: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 28 días .....	88
Figura N° 45: Resultados de trabajabilidad para diferentes autores.....	89
Figura N° 46: Resultados de resistencia a la compresión a los 7 días de curado para diferentes autores.....	90
Figura N° 47: Resultados de resistencia a la compresión a los 14 días de curado para diferentes autores.....	91

Figura N° 48: Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de curado para diferentes autores.....	91
Figura N° 49: Resultados de resistencia a la flexión a los 7 días para diferentes autores .....	93
Figura N° 50: Resultados de resistencia a la flexión a los 14 días para diferentes autores.....	94
Figura N° 51: Resultados de resistencia a la flexión a los 28 días para diferentes autores.....	94
Figura N° 52: Resultados de resistencia a la tracción a los 7 días para diferentes autores .....	96
Figura N° 53: Resultados de resistencia a la tracción a los 14 días para diferentes autores.....	96
Figura N° 54: Resultados de resistencia a la tracción a los 28 días para diferentes autores.....	97

## RESUMEN

La presente investigación con el título “Sustitución de la escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón”, tiene como objetivo mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón sustituyendo el agregado fino por escoria de acero, en base a la determinación de los porcentajes de sustitución óptimo en la mejora del hormigón.

Es una investigación de carácter descriptivo y de estilo bibliográfico, de nivel descriptivo con centrada en la explicación y correlación. Las fuentes consultadas fueron de tipo experimental, documental, longitudinal y estudio de cohorte. Como resultado del trabajo desarrollado, se observa que al aumentar el porcentaje de sustitución de escoria por el agregado fino se va reduciendo la trabajabilidad, resultando una reducción máxima en promedio de 5 cm, los resultados también mostraron que el reemplazo del agregado fino por escoria de acero mejoró las propiedades mecánicas, los rangos de 30% y 40% de la sustitución los que produjo los mejores resultados en la resistencia a la compresión, flexión y tracción; incrementándose la resistencia en un promedio máximo de un rango 40% al 50% en cada una de ellas..

La sustitución del agregado fino por escoria de acero es una opción sustentable ya que mejora las propiedades mecánicas (compresión, flexión y tracción) del hormigón, esto se demostró en los porcentajes de sustitución estudiados del rango 10% al 40%; no obstante, esto reduce el asentamiento cambiando su consistencia, siendo conveniente el empleo de aditivos que aumenten la trabajabilidad.

**Palabras claves:** Escoria de acero, agregado fino, trabajabilidad, asentamiento, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia a la tracción.

## **ABSTRACT**

The present investigation with the title "Substitution of steel slag as a replacement for fine aggregate to improve the physical-mechanical properties of concrete", aims to improve the physical-mechanical properties of concrete by replacing fine aggregate with steel slag, in based on the determination of the optimal substitution percentages in the improvement of the concrete.

It is an investigation of a descriptive nature and bibliographical style, of a descriptive level with a focus on explanation and correlation. The sources consulted were experimental, documentary, longitudinal and cohort study. As a result of the work carried out, it is observed that by increasing the percentage of slag substitution by fine aggregate, workability is reduced, resulting in a maximum reduction of 5 cm on average, the results also showed that the replacement of fine aggregate by slag of steel improved the mechanical properties, the ranges of 30% and 40% of the substitution which produced the best results in the resistance to compression, bending and traction; increasing the resistance in a maximum average of a range 40% to 50% in each of them.

The substitution of fine aggregate for steel slag is a sustainable option since it improves the mechanical properties (compression, bending and traction) of the concrete, this was demonstrated in the percentages of substitution studied ranging from 10% to 40%; however, this reduces the settlement by changing its consistency, making it convenient to use additives that increase workability.

**Keywords:** Steel slag, fine aggregate, workability, settlement, compressive strength, flexural strength and tensile strength.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, existe una demanda constante de construcciones debido a los diversos tipos de necesidades humanas, lo que hace necesario un alto uso de materiales de construcción. Entre ellos está el agregado fino, un recurso natural no renovable, lo que hace necesario el uso de materiales que puedan sustituirlo adecuadamente, como la escoria de acero.

La presente tesis nos permite ampliar los conocimientos del uso de la escoria de acero como remplazo del agregado fino en distintos porcentajes de sustitución, dando a conocer los beneficios de este material en el área de construcción, desarrollando una alternativa viable al agregado fino.

La obtención de un hormigón de alta calidad, resistente y duradero requiere conocer sus características físicas y mecánicas. En consecuencia, es imprescindible investigar la trabajabilidad, la resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión. Por ello, en esta investigación sobre la sustitución del agregado fino por la escoria de acero, se examinó estas propiedades.

El actual proyecto de investigación se divide en 6 capítulos. En el capítulo I se encuentra la realidad del problema, los problemas generales y específicos, y los objetivos generales con los específicos, la importancia y las limitaciones se abordan I. El capítulo II presenta un marco histórico, investigaciones relacionadas, un marco teórico y científico, así como definiciones de términos fundamentales y fundamentos teóricos. El capítulo III contiene una hipótesis y un sistema de variables. El procedimiento de investigación, tipo, el nivel y el diseño de la investigación, así como el espacio y una demostración se contemplan en el capítulo IV. En el capítulo V contiene la presentación y análisis de resultados de la investigación, y como parte final se presenta la discusión, las conclusiones y las recomendaciones.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción de la realidad problemática

No es exagerado decir que el hormigón es uno de los materiales más utilizados después del agua. Desempeña un papel importante en la construcción, ya que afecta directamente a la infraestructura y la economía. Este material es un compuesto que consiste en materiales de grano grueso llamados agregados o rellenos, incrustados en forma de matriz con la ayuda de cemento o un material aglutinante que rellena los vacíos que hay entre cada una de las partículas de agregado y las une. Los agregados suelen tomarse de roca natural, ya sea piedra triturada o grava natural (Chandini, 2017). Además, alrededor de 3/4 del volumen de hormigón se compone de agregados. Por lo tanto, las propiedades importantes como fortaleza, duración y facilidad de utilización dependen en gran medida de la composición y calidad de los materiales utilizados. Por lo tanto, ha sido un desafío introducir alternativas viables de sustitutos agregados adecuados (Chandini, 2017).

Desde el año 1900 hasta 2010, la cantidad de elementos naturales que se utilizan en los inmuebles y en las instalaciones de transportes en todo el mundo se multiplicó exponencialmente. Los agregados constituyen la mayor parte de estos insumos de materias primas y son el grupo de materiales más extraído a nivel mundial, más que energías de origen natural y de biomasa. En la mayoría de las regiones, la arena es un recurso universal, es decir, un recurso que está abierto a todos, ya que solo los altos costos limitan su uso. Debido a que el consumo es difícil de regular, los recursos comunes son propensos a la tragedia de los comunes, y las personas pueden extraerlos egoístamente sin considerar las consecuencias a largo plazo, lo que eventualmente conduce a la sobreexplotación o degradación. Incluso donde la extracción de arena está regulada, a menudo está sujeta a una extracción y un comercio ilegales desenfrenados. Por lo tanto, el déficit de la arenilla es una nueva dificultad con alcances sociales, económicas y medioambientales relevantes. (Torres, Brandt, Lear, & Liu, 2017).

El uso de escoria de acero en las mezclas de hormigón ha demostrado ser útil para solucionar ciertos inconvenientes surgidos en la industria del hormigón. La escoria de acero se utilizó en el hormigón convencional para optimizar sus características

mecánicas, físicas y químicas. Al mismo tiempo, el reciclaje de la escoria de desecho industrial es el contenido central del desarrollo sostenible. El único problema potencial con el agregado de escoria de acero son sus características expansivas y reacciones indeseables entre la escoria y los componentes del hormigón. (Chandini, 2017, p. 34)

### 1.1.1. Mapa del proyecto

En la Figura N°1 se observa el mapa de problemas donde se detalla las causas y consecuencias en la investigación.

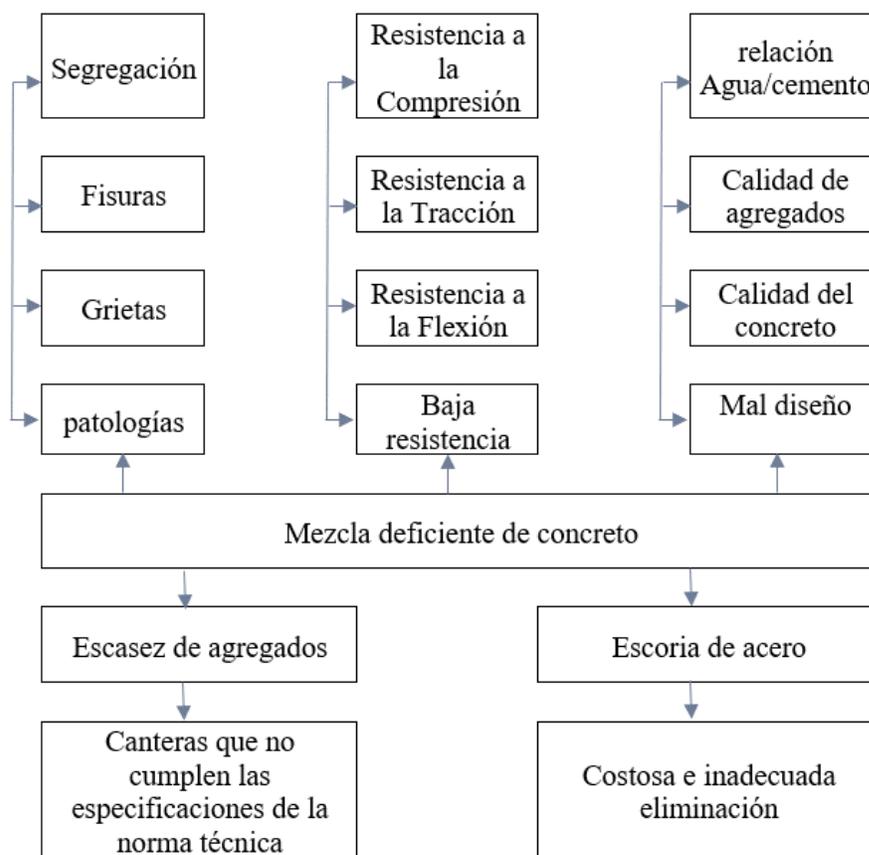


Figura N° 1: Árbol de problemas  
Fuente: Elaboración propia

## 1.2. Formulación del problema

### 1.2.1. Problema General

¿Cómo la sustitución de la escoria de acero como remplazo del agregado fino influye en las características físico-mecánicas del hormigón?

### 1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino influye en la trabajabilidad del hormigón?
- b) ¿Cómo el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino influye en la resistencia a la compresión del hormigón?
- c) ¿Cómo el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino influye en la resistencia a la flexión del hormigón?
- d) ¿Cómo el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino influye en la resistencia a la tracción del hormigón?

### 1.3. Objetivos de la Investigación

#### 1.3.1. Objetivo general

Determinar el porcentaje de sustitución de la escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la trabajabilidad del hormigón.
- b) Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón.
- c) Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la resistencia a la flexión del hormigón.
- d) Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la resistencia a la tracción del hormigón.

### 1.4. Delimitación de la investigación

#### 1.4.1. Geográfica

La presente investigación se desarrollará en base a las tesis, artículos y revistas consultadas nacionales e internacionales donde se utilice la escoria de acero como una alternativa de remplazo al agregado fino. El diseño de concreto que utiliza escoria de acero puede realizarse en climas normales (20 a 22 °C) como climas cálidos (38 a 40 °C) sin que los resultados obtenidos se vean afectados (Qasrawi, 2018)

#### 1.4.2. Temporal

Se realizará durante los meses de mayo y noviembre del presente año 2022.

#### 1.4.3. Temática

- a) Campo: Mejora de las propiedades físico-mecánicas del hormigón.
- b) Área académica: Ingeniería civil
- c) Línea de investigación: Tecnología del hormigón
- d) Sub - línea de investigación: Diseño de mezclas de hormigón

#### 1.4.4. Muestral

La muestra de estudio son los ensayos de resistencia a la compresión, tracción, flexión, trabajabilidad con escoria acero en reemplazo del agregado fino en el hormigón realizados por los autores de las tesis y artículos referenciados a la construcción de elementos de concreto simple estructural.

### 1.5. Justificación de la investigación

#### 1.5.1. Conveniencia

La presente investigación propone una alternativa óptima al usar escoria para dejar de depender del agregado fino en el diseño de un hormigón con la finalidad de reducir el uso de este ya que cada vez va escaseando más este material.

#### 1.5.2. Relevancia social

La relevancia social de la investigación es promover el uso de la escoria de acero como sustituto del agregado fino en el diseño de un hormigón, de esta manera se aprovechará la escoria, que muchas veces es depositada en los vertederos sin uso alguno.

#### 1.5.3. Aplicaciones practicas

El uso de la investigación propone a usar un diseño que será más económico pues la escoria de acero casi no tiene uso alguno y por ello su costo es mínimo comparado con los agregados, además ayudara a cuidar el medio ambiente por que se dejara de eliminar la escoria en vertederos que por tener un costo elevado para las empresas muchas veces son depositados en ríos (Alvarez & Lozano, 2020).

#### 1.5.4. Utilidad metodológica

Se utilizará artículos anexados en Scopus, Google Académico, ScienceDirect, Ebsco, ProQuest, normativas nacionales e internacionales, etc. ello como una metodología a emplear con palabras claves para facilitar la búsqueda, además con 3 a 6 años como máximo de antigüedad.

#### 1.5.5. Valor teórico

Los resultados de la investigación se podrán utilizar para nuevas hipótesis de diseños de hormigón las cuales pueden ser adicionando la escoria al diseño, como sustituto del agregado grueso, así como también sustituyendo al cemento, etc.

### 1.6. Importancia del estudio

#### 1.6.1. Nuevos conocimientos

La presente tesis utilizara distintas fuentes nacionales e internacionales, que tienen como tema principal el uso de la escoria de acero como remplazante del agregado fino modificando las propiedades físico-mecánicas del concreto, con el objetivo de mejorarlas.

#### 1.6.2. Aportes

Dar a conocer el uso de nuevas alternativas a los agregados provenientes de los residuos siderúrgicos (escoria de acero) determinando un porcentaje parcial para el agregado fino. Se realizaron tablas y gráficos comparativos para analizar la influencia de la escoria de acero en las propiedades físico-mecánicas del concreto.

### 1.7. Limitaciones del estudio

#### 1.7.1. Falta de estudios previos de investigación

Al tratarse de insumos que no están difundidos como alternativas de reemplazo de los agregados en nuestro medio, se tuvo que optar por una mayor cantidad de investigaciones internacionales.

#### 1.7.2. Metodológicos o prácticos

En la presente investigaciones no se presentan limitaciones metodológicas ya que las investigaciones consultadas incluían normas estandarizadas.

#### 1.7.3. Medidas para la recolección de datos

Las investigaciones consultadas tuvieron en cuenta diferentes diseños de mezclas según el porcentaje de reemplazo de escoria de acero por el agregado fino con la finalidad de mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón. Se tendrá información que permita analizar y visualizar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas.

#### 1.7.4. Obstáculos en la investigación

Se presentaron ciertas limitaciones ya que no todas las investigaciones encontradas nos mencionan las propiedades físicas de los materiales usados, no muestran los ensayos realizados para evaluar la calidad de los agregados a utilizar.

#### 1.8. Alcance

El área de estudio de la presente investigación documental es tecnología del concreto debido al análisis de la influencia de la sustitución de la escoria de acero como reemplazo del agregado fino, que será utilizado como una referencia para las futuras investigaciones sobre alternativas de remplazo para los agregados naturales.

#### 1.9. Viabilidad del estudio

La investigación al ser de tipo documental permitió que la recopilación de información sea constante seguidamente ser analizados, estos fueron recopilados de las investigaciones consultadas.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco histórico

La industria del cemento se ha enfrentado a una gran cantidad de retos, como la disminución de las reservas de recursos energéticos fósiles, la disminución de la disponibilidad de materiales, el continuo aumento de la solicitud de cemento y demás elementos de fabricación, la creciente importancia del cambio climático para el medio ambiente y una gran crisis financiera global (S.Imbabi, Carrigan, & McKenna, 2012, p. 194).

Por ello, actualmente existe una tendencia hacia la construcción sostenible, también conocida como “construcción verde”, que emplea elementos producidos con poco consumo energético. Este tema conduce a la utilización de materias primas procedentes de residuos o subproductos de plantas industriales como alternativa a las piezas de hormigón. (S.Imabi et al., 2012, como se cito en Cruz et al., 2014).

La industria siderúrgica provoca graves problemas medioambientales debido a la acumulación de residuos de escorias siderúrgicas, que pueden ser recicladas y utilizadas en hormigón. El uso de materiales de desecho , tal como es la escoria de acero, por ejemplo, en el hormigón tiene efectos positivos. Actualmente se ha evidenciado que el uso de la escoria de acero en estructuras de hormigón ayuda a solucionar ciertos inconvenientes detectados en la industria como en el hormigón convencional para la mejora de sus características mecánicas, físicas y químicas. (Qasrawi, 2014)

Hernández et al. (2014) en su artículo afirma que:

El uso de la escoria de horno de alto horno (EAH) como remplazo del material cementante y del agregado fino ha sido estudiado por diversos autores que han demostrado que mejora la resistencia a la compresión del hormigón además que el módulo de elasticidad presenta valores similares a un hormigón tradicional, sin embargo el uso de la escoria de horno de cubilote (EHC) no ha sido estudiada con la misma intensidad es por ello que en su artículo presenta resultados del uso de escoria

de EHC como remplazo parcial del agregado fino, resultando que la resistencia a la compresión aumente con el tiempo para todos los hormigones evaluados.

## 2.2. Investigaciones relacionadas al tema

### 2.2.1. Investigaciones internacionales

Morales et al. (2017) en su investigación indica que al utilizar hormigón de alto desempeño en pavimentos rígidos ayuda a mitigar el efecto medioambiental de la eliminación de residuos escorias de acería. Por ello, se probó la firmeza a la tracción de las composiciones utilizando las recomendaciones del comité ACI para los cálculos de dosis. La mezcla final supero en un 19% la resistencia especificada para determinar las propiedades mecánicas del hormigón endurecido.

Reyes & Viligua (2019) en su investigación plantea el uso de la escoria como agregado grueso para mezclas de hormigón rígido, se realizaron diferentes ensayos según normas ASTM, seguido de una serie de ensayos como: Compresión, resistencia a flexión en dos puntos de carga, etc. En la investigación se planteó el diseño de vigas de hormigón utilizando escoria de acero es factible, con todos los datos recabados a través del desarrollo de este trabajo, se concluyó que el impacto ambiental puede reducirse a medida que se mejora la tecnología.

Figuroa et al. (2019) en su obra de estudio plantea la optimización de la producción de hormigón que cuente con alta resistencia a través del uso de acero recicladas de tornos como sustituto parcial de los finos, y dosificando el material de dos minas usando el código ACI para obtener el  $f_{cr}$  requerido = 57.39 MPa, además se detallan las respectivas mezclas de prueba y los resultados obtenidos de las diversas pruebas donde las mezclas reemplazadas con 10% de finos superan la resistencia especificada ( $f'_c$ ) en un 45% y 6% de la resistencia requerida.

Sosa (2017) indica en su investigación, indica que en la preparación de hormigones autocompactantes de alta resistencia y baja permeabilidad a través de escoria Reemplazo parcial de agregado fino usando acero Escorias de horno eléctrico en forma de áridos gruesos y finos, y escorias de cubilote añadidas tras su recuperación. Para ello se establecieron las características de todos los elementos utilizados y se encontró que con escorias de hierro y acero se puede producir hormigón fluido, estable y de alto

desempeño. La adición de una gran cantidad de residuos incrementa considerablemente la intensidad de la presión.

Alsadig , D.(2019) la investigación se basó, en evaluar la eficacia de la escoria de acero eléctrico como material de sustitución en los morteros de cemento para establecer el nivel de su puzolanicidad. Las propiedades del cemento mezclado con escoria de acero se han estudiado a nivel químico y laboratorios físicos, por ello se prepararon dos mezclas de hormigón con escoria siderúrgica en mezclas separadas con 5% reemplazo. Se realizó la prueba de resistencia a la compactación con distintos niveles de porcentaje de escoria de horno de arco eléctrico (0%, 5%, 10%, 15% y 20%, el estudio demostró que el uso de la escoria siderúrgica local como material puzolánico es muy eficiente en la industria del cemento.

#### 2.2.2. Investigaciones nacionales

Keyller (2019) en su investigación menciona que existe una elevada solicitud de recursos para la industria de la construcción en Perú, lo que ha provocado un efecto medioambiental y una disminución del valor añadido, por ellos plantean reemplazar el agregado grueso por escoria de acero, realizaron ensayos reemplazando al agregado grueso al 25%, 50% y 100% y comparándolo con ensayos de un hormigón estándar donde los resultados muestran que en el hormigón con escoria de acero su resistencia a la compresión es mayor que un hormigón estándar pero ello solo hasta un 50% , ya que si se reemplaza un porcentaje mayor los resultados son desfavorables.

Álvarez & Lozano (2021) en su investigación menciona que se buscó dar a conocer el impacto que ocasiona la escoria de acero en las resistencia, además que buscan disminuir la demanda y dependencia de los agregados reemplazándolos por escoria de acero al agregado fino por el 10%, 20%, 30% y el 40%, finalmente comparándolo con un hormigón base el cual es elaborado por agregados naturales, mostrando resultados de aumento de resistencia a la compresión ,aumentando en mayor cantidad mientras más porcentaje reemplaza, sin embargo al llegar al 40% va disminuyendo el aumento de resistencia con respecto a un hormigón base , en los ensayos de resistencia a la flexión se observaron que el aumento es proporcional a cuanto más porcentaje se reemplace.

Benites & Torres (2019) en su investigación menciona que se reemplazó el adiconado grueso por la escoria de acero en un hormigón simple con un  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>. El objetivo principal de la investigación fue evaluar las propiedades del hormigón simple adicionando diferentes porcentajes de la escoria de acero, siendo reemplazo parcial del agregado grueso. Se realizó diferentes ensayos de laboratorio para determinar las características físicas del agregado grueso, agregado fino y la escoria de acero, cumpliendo con la Norma Técnica Peruana de ensayo de materiales. Se realizaron probetas de hormigón simple patrón y en las otras se adicionó escoria de acero, reemplazando al agregado grueso el 25%, 50% y 100% de su peso del agregado grueso, luego con la prensa hidráulica para hormigón se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días respectivamente. La investigación concluye que el uso de escoria de acero mejora la resistencia a la compresión del hormigón simple, también en la evaluación económica, el hormigón simple patrón resulta barato a comparación del hormigón simple adicionado con escoria de acero en todos sus porcentajes.

Aquino (2019) en su investigación menciona que el objetivo principal de este estudio fue analizar las propiedades mecánicas del hormigón de resistencia media usando escoria en lugar de agregado grueso y microsíllice, usando 5%, 10% y 15% del peso de cemento durante 7 días y 28 días, los resultados mostraron que la resistencia a la compresión y a la flexión aumentaron con el tiempo, logrando los objetivos propuestos, pero registraron pérdida de resistencia en el ensayo de tracción.

García & Ríos (2020) en su investigación menciona que en el Perú no es común el uso de escoria de acero en la elaboración de hormigón además que con el uso de este material en el hormigón se puede mejorar sus propiedades para atenuar el paso de los rayos x. Se realizaron ensayos de fabricación de bloques cuadrados de hormigón reemplazando el 30% y 50% a los agregados finos y gruesos por escoria y donde compararon con otro hormigón, pero fabricado con agregados naturales, los resultados muestran que el hormigón con escoria atenúa mejor los rayos x que un hormigón estándar.

Corcuera & Vela (2018) en su investigación, se propone utilizar escoria de acero en lugar de piedra en el proceso de producción del hormigón con el objetivo de reducir el efecto de las basuras de acero en el medio ambiente. La forma en que se utiliza la escoria de acería en esta investigación es reemplazando las piedras en porcentajes del 20%, 35%, 50% y 65%. Luego se realizaron pruebas para validar diversas propiedades como la penetración del agua y la resistencia a la compresión, también para medir su permeabilidad, también se evaluaron e interpretaron las propiedades a nivel físico de las muestras de escoria de acero en su estado natural recolectadas en la planta de Pisco. Comparando los resultados de las pruebas se validó que, si se mejora la resistencia del hormigón, siempre y cuando la sustitución sea de 65%, incluso mejoro la impermeabilidad. La investigación sirvió como apoyo para mejorar la mezcla y optimizar las propiedades del hormigón, además en la investigación se presentó un análisis económico que apoyó la propuesta.

### 2.2.3. Artículos relacionados con el tema

Ochoa et al. (2018) este articulo aborda que la mejora de una cubierta de rodadura con un alto nivel de tráfico, por ello se realizan dos mezclas asfálticas espesas en agua caliente y se utiliza escoria granulada a alta temperatura en lugar de arena árida. En la mezcla se empleó un cemento bituminoso con un índice de penetración de 80/100, y las pruebas con escoria de acero mostraron un valor de estabilidad promedio de alrededor de un 10% más alto según el diseño estándar del método RAMCODES. Además, el flujo se redujo en un promedio de 2,4 a 2,7 mm, o aproximadamente un 36,5 %, en comparación con las mezclas convencionales. Esto demuestra un rendimiento superior para resistir problemas de servicio como ahuellamiento.

Camarena & Díaz (2022) este articulo tiene como resultado evaluar la incidencia de la escoria como aditivo en la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y la manejabilidad de un hormigón de Fc: 20594 Kpa, utilizando 10%, 15% y 20% de escoria como aditivo fino, con el fin de determinar una alternativa para el uso de materiales reciclado , a fin de elaborar un hormigón eficaz, rentable y respetuoso con el entorno, los resultados muestra que el diseño optimo a usar es el de 10% pues después de este porcentaje ya no se ve beneficiada el hormigón.

Cruz et al (2014) de acuerdo con esta investigación las características del hormigón mejorado con escoria de acero se evaluaron mediante distintos análisis, determinando su método de rotura, su resistencia a la compresión, su capacidad de absorber, su capacidad de rotura, su módulo elástico, su gravedad y su masa unitaria. Las muestras de prueba se fabricaron y curaron sumergiéndolas durante 7, 14, 28 y 60 días. La buena granulometría de la escoria ha permitido clasificarla en la categoría de arena gruesa, bien clasificada y con pocos o ningún fino. Aunque los valores de humedad natural y absorción de agua son bajos, no afectan el diseño de la mezcla. La resistencia a la compresión aumentó con el tiempo para todos los hormigones evaluados. Ninguna de las muestras analizadas alcanzó la resistencia de diseño a los 28 días (14 MPa). Dependiendo de las propiedades del material utilizado, en el diseño híbrido se obtiene una alta relación a/c (0.68), esta relación puede debilitar la resistencia mecánica del material.

Torres et al (2018) este trabajo evalúa la resistencia mecánica y la durabilidad del hormigón de escoria de acero activado con base en el uso de una solución de silicato de sodio hidratado como activador. Además, estos hormigones se comportan en cuanto a la intensidad de la resistencia y porosidad comparables a los observados en el hormigón de Cemento Portland. Los ensayos realizados mostraron mejores propiedades que los hormigones convencionales en cuanto a desarrollo mecánico y durabilidad, es decir, tienen una microestructura más densa

Dong et al. (2021) en este trabajo los autores analizan las propiedades físicas y químicas de la escoria de acero (SSA), enfocándose en reemplazarla con agregados naturales como un medio sostenible para reducir el uso de los recursos naturales, revisando los logros y desafíos del hormigón SSA, clasificándolo en cuatro secciones: Producción, desempeño, manejo y propiedades del hormigón SSA (propiedades físico-mecánicas, durabilidad, conductividad eléctrica y sustentabilidad). Según los datos recabados, el resultado es que el proceso de producción de SSA determina principalmente las propiedades finales de SSA, además el hormigón SSA puede cumplir con los requisitos generales de ingeniería y mejorar la resistencia del hormigón porque mejora la adherencia en la zona de transición de interfaz (ITZ), sin embargo las desventajas del hormigón SSA son: La expansión de volumen debido al óxido de calcio

libre y trabajabilidad reducida debido a la alta angularidad, textura áspera y que el SSA absorbe agua y, finalmente, el hormigón SSA demuestra una solución ambiental sostenible.

Guo et al. (2019) el propósito de este estudio fue investigar el uso de escoria de acero sin procesar en hormigón ordinario y de alta resistencia, enfocándose en el efecto de la escoria de acero como agregado fino en las propiedades de compresión del hormigón. Utilizar dos tipos de hormigón (hormigón de resistencia normal y de alta resistencia) y ocho porcentajes de sustitución de árido fino por las escorias siderúrgicas (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 60%, 80% y 100%), utilizados como parámetros de prueba. Se realizaron una serie de pruebas de compresión axial en cilindros de hormigón con escoria fina de acero (SSC). Se analizaron los efectos de la tasa de sustitución de la escoria de acero sobre la relación tensión-deformación, la resistencia a la compresión, la relación de expansión, el módulo de elasticidad y la tenacidad del hormigón ordinario y de alta resistencia. Además, se discute el mecanismo de falla de SSC bajo compresión. Los resultados muestran que la resistencia a la compresión de SSC no es monótona con el aumento del contenido de escoria de acero, y el uso de escoria de acero como agregado fino en las mezclas de hormigón tiene un efecto positivo en la capacidad de absorción de energía. En comparación con el hormigón ordinario, SSC con un contenido óptimo de escoria de acero puede mostrar mejores propiedades de compresión.

Lim (2016) nos presenta Las propiedades, caracterización, aplicaciones de la escoria de acero, enfocándose la investigación en analizar aquellas aplicaciones de la escoria de acero que afectan directamente a los problemas ambientales, incluido la remediación y la mitigación de actividades que tienen un impacto negativo en el medio ambiente, llegando a la conclusión que las escorias pueden ser remplazos prometedores para la forma convencional de aplicación de absorbente y aglutinante en varios campos, además en el tratamiento de carreteras, construcción y aguas residuales y que es de fácil uso, bajo costo y la alta disponibilidad de este material. }

Papachristoforou et al (2020) el presente trabajo investiga el desempeño del hormigón con una escoria de acero de horno de arco eléctrico (EAF) como agregado grueso y

refuerzo de fibra de acero. La escoria EAF se probó para determinar su idoneidad como agregado de hormigón con respecto a las propiedades químicas, la granulometría, la densidad específica aparente, la absorción de agua y el índice de descamación. Las mezclas de hormigón de prueba se prepararon con escoria EAF como agregado grueso sin refuerzo o con fibras de acero de 30 mm o 60 mm en una relación de volumen de 0.7%. Los hormigones de prueba se compararon con hormigones de referencia con agregados gruesos de piedra caliza natural para determinar la mejora potencial debido al uso de escoria EAF o debido al uso de diferentes tamaños de fibra de acero. El programa de ensayos consistió en medir las propiedades del hormigón fresco, así como las propiedades mecánicas y la tenacidad del hormigón endurecido. Los resultados en hormigón fresco mostraron que la absorción de agua de la escoria EAF debe tenerse en cuenta en la etapa de diseño, de lo contrario, hay una pérdida de trabajabilidad en el hormigón fresco y que el uso de escoria EAF conduce a un aumento considerable en la densidad. Sin embargo, las propiedades mecánicas del hormigón con agregados de escoria EAF fueron significativamente más altas en comparación con el hormigón de referencia. Este aumento también se registró en la tenacidad y resistencia al impacto del hormigón reforzado con fibra de acero (SFRC). Las mediciones de durabilidad relacionadas con la contracción por secado, la resistencia a la abrasión y la resistencia a la congelación y descongelación mostraron que el uso de escoria EAF como agregado grueso mejoró el rendimiento del SFRC. En cuanto al comportamiento térmico, se midió la conductividad térmica de los hormigones de ensayo, mientras que las probetas de SFRC endurecido se sometieron a temperaturas elevadas de hasta 870 C. Después del calentamiento, se investigó la microestructura del hormigón y se ensayaron las probetas en cuanto a resistencia a la compresión y resistencia a la compresión. velocidad del pulso ultrasónico. Los resultados muestran que, aunque los agregados de escoria EAF tienden a formar microfisuras a temperaturas superiores a 600 C y la tasa de pérdida de resistencia aumenta, existe un riesgo reducido de desprendimiento.

Qasrawi (2018) en esta investigación los añadidos de origen natural en el hormigón autocompactante (HAC) se sustituyen, en su totalidad o en parte, por añadidos gruesos de escoria de acero (SSA) en condiciones normales y cálidas pudiendo utilizar estas dos condiciones climáticas sin que los resultados sean afectados. Las propiedades

frescas (capacidad de trabajo, estabilidad, sangrado, contenido de aire y densidad fresca) son las cruciales que afectan las propiedades finales del HAC. Por lo tanto, es importante evaluar el impacto de SSA en las propiedades frescas de las mezclas SCC. Las propiedades que se estudian incluyen movilidad y capacidad de llenado, capacidad de paso; estabilidad; segregación y sangrado. A este respecto, se emplean varios métodos de prueba: flujo de asentamiento, embudo en V, caja en L, segregación en columna, segregación por tamiz, sonda de segregación y pruebas VSI. Además, se miden el contenido de aire y la densidad fresca también se incluye el efecto del clima cálido en todas estas propiedades. Los resultados muestran que es posible producir HAC utilizando agregado de escoria de acero en condiciones de clima normal y cálido, por lo tanto, se puede producir SCC verde sostenible, por último las propiedades frescas se vuelven sensibles para proporciones de reemplazo de SSA superiores al 50%. Estas propiedades son más sensibles en climas cálidos.

Sohail et al (2020) este artículo nos indica se han planteado demandas para evaluar la viabilidad de utilizar agregados sostenibles alternativos en el hormigón debido al rápido agotamiento de los recursos de agregados vírgenes. Por ello se enfoca, en una comparación de las propiedades fisicoquímicas de los agregados de gabra natural (NGA) y los agregados de piedra caliza natural (NLA) comúnmente utilizados y sus posibles alternativas sostenibles, los agregados de hormigón reciclado (RCA) y los agregados de escoria de acero (SSA). La idoneidad de estos agregados alternos se evalúa a través de varias pruebas estandarizadas, también se reportan las composiciones químicas, propiedades mineralógicas y morfológicas de estos agregados, para determinar los posibles lixiviados de metales peligrosos al medio ambiente cuando se utilizan como agregados de hormigón, se llevó a cabo la espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente sobre digestiones ácidas de estos agregados. Adicionalmente, se incorporaron microfibras de basalto (BMF) para mejorar las propiedades mecánicas de los hormigones elaborados con RCA y NLA locales, que se consideran débiles y no aptos para su uso como áridos en hormigón estructural. Los resultados experimentales revelaron que tanto RCA como SSA podrían usarse como agregados alternativos sostenibles para tener una producción más limpia de hormigón estructural.

Premkumar et al (2022) en su investigación nos indica en la actualidad, la preparación del hormigón con materiales convencionales se vuelve más costosa como consecuencia de la progresiva necesidad de materias primas para la fabricación. Tras numerosas investigaciones, se acepta que será posible la preparación de hormigón con materiales alternativos o de desecho industrial. Existen una variedad de materiales de desecho industriales como cenizas volantes, humos de sílice, pulpa de papel, GGBFS, polvo de ladrillo y cantera, etc., se eliminan directamente en el medio ambiente y causan diversos problemas de salud, ambientales y económicos. Por lo tanto, es necesario un método de eliminación o tratamiento efectivo para reducir los problemas sociales mencionados anteriormente. Se intenta utilizar ceniza volante (FA) y escoria de acero residual (SS) para utilizar un material de reemplazo efectivo para el ingrediente del hormigón. En este estudio, se utilizó material de desecho de la industria siderúrgica como reemplazo parcial del agregado fino (FIA) variando los porcentajes de reemplazo del 0 % al 60 % en un intervalo del 10 % en hormigón de alto volumen de cenizas volantes (HVFAC) de grado M30 con diferentes proporciones de cenizas volantes (40%, 50% y 60%). El comportamiento de HVFAC se evaluó mediante diferentes propiedades de resistencia en diferentes períodos de curado de 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días. Se observa que el reemplazo del 50% de la escoria de acero muestra mejores resultados cuando el HVFAC se preparó con un 40% de cenizas volantes, un mayor incremento de las cenizas volantes reduce la resistencia del hormigón independientemente del porcentaje de reemplazo de la escoria de acero.

Baalamurugan et al (2021) el objetivo de esta investigación es desarrollar un compuesto de protección contra la radiación de alta densidad utilizando escoria de acero de horno de inducción (IF) como agregado (grueso/fino) en hormigón. En la actualidad, estos tipos de materiales se obtienen de recursos naturales y se utilizan para el blindaje contra la radiación gamma, también se estudio la densidad y la firmeza a la compresión, además se sometieron a irradiación bloques de hormigón utilizando fuentes de radiación gamma. Se han revisado las morfologías de las muestras de hormigón y los cambios estructurales antes y después de la irradiación mediante análisis SEM y XRD. Los resultados muestran que la sustitución del 40 % como agregado grueso y el 100 % como agregado fino de escoria en el hormigón aumenta la

densidad y la resistencia a la compresión del hormigón convencional. Concluyendo que es una opción viable y rentable contra la radiación y reducir la explotación de recursos naturales.

Mahalingam et al (2018). El autor en su estudio se enfoca en el uso de escorias de acero como reemplazo parcial del agregado fino en la producción de hormigón. El agregado fino fue sustituido por estos residuos en diferentes proporciones (20%, 40% y 60 %) en peso del agregado fino. El objetivo fue investigar la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción dividida y las propiedades del material del hormigón. Los resultados experimentales indican que el hormigón mezclado con escoria del 40% alcanza la máxima resistencia. El alcance de esta investigación fue investigar las propiedades del hormigón con agregados de escoria de acero. Las propiedades del hormigón se probaron con agregados de escoria de acero.

Pruthviraj et al (2019). Esta investigación tiene como objetivo estudiar el efecto de la escoria de acero como reemplazo parcial del agregado fino con 0%, 10%, 20%, 30% y 40%. Las probetas se ensayaron después de 14 y 28 días de curado. Los gráficos de resultados muestran las variaciones en la resistencia a la compresión para agregado fino reemplazado por escoria de acero para 14 y 28 días de curado con agua. Los reemplazos del 30% y 40% son reemplazos óptimos de agregado fino por escoria de acero.

Desai et al (2018). Nos muestran que la escoria de acero se puede utilizar en la industria de la construcción como agregados en el concreto reemplazando los agregados naturales. En este estudio la arena se reemplaza en un 0%, 10%, 20% y 30% por la escoria de acero. Se han realizado diversas pruebas para conocer las propiedades de ingeniería del hormigón endurecido como la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y la resistencia a la tracción por división del hormigón con agregado de escoria de acero fueron similares a las del hormigón convencional. La resistencia puede verse afectada con el tiempo, por lo que los efectos a largo plazo sobre las propiedades endurecidas del hormigón requieren una mayor investigación.

Sateesh et al (2015). El siguiente artículo tiene como objetivo estudiar experimentalmente, el efecto de la sustitución parcial de agregado fino por escoria siderúrgica, sobre las diversas propiedades de resistencia y durabilidad del hormigón.

Los resultados indican que, para el hormigón convencional, la sustitución parcial del hormigón por escoria siderúrgica mejora la resistencia a la compresión, a la tracción, a la flexión. El grado de penetración de los iones de fluoruro se evalúa en función de los límites establecidos en la norma ASTM C 1202.

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

#### a) Escoria de Acero

Su composición mineral es similar al Clinker de cemento e incluye dióxido de silicio amorfo ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), silicato tricálcico ( $\text{C}_3\text{S}$ ), silicato dicálcico ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) y aluminoferrita tetracálcica ( $\text{C}_4\text{AF}$ ) (Chen et al., 2020). Debido a sus ingredientes activos de hidratación, la escoria de acero finamente molida se utiliza como aditivo mineral para cemento u hormigón (Motz & Geiseler, 2001). La escoria gruesa de acero se puede utilizar directamente como alternativa a los áridos naturales. Sus implicaciones pueden ser absorción de tintes, secuestro de  $\text{CO}_2$  (actividad mineralógica), agricultura, actividad antibacteriana, mitigación de la emisión de metano, ladrillos resistentes a los ácidos, mezclas asfálticas, material aglomerante, mortero, hormigón, remoción de metales pesados (Baalamurugan et al, 2021).

#### b) Clasificación de Escoria de acero

Diversos autores clasifican a la escoria de acero en tres o dos tipos: siendo siempre dos permanentes en las investigaciones consultadas, las cuales son El horno de oxígeno básico (BOF) y El horno de arco eléctrico (EAF), además que sola estas dos se utilizan en la producción de cemento debido al alto contenido de  $\text{CaO}$ , mientras que las otras escorias de acero productos de otros hornos no se utilizan por su bajo contenido de  $\text{CaO}$  (Baalamurugan et al, 2021) además, la diferencia es mínima entre estos tipos de escoria de acero (BOF y EAF) (Álvarez & Lozano, 2020).

Proceso de oxígeno básico: En el Horno Básico de Oxígeno (BOF), el metal líquido caliente del alto horno, la chatarra y los fundentes, que contienen cal ( $\text{CaO}$ ) y cal dolomítica, son cargados en un horno. Se introduce una lanza en el convertidor y a continuación se introduce oxígeno a elevada presión. Luego, el oxígeno se combina con las impurezas y las elimina (Chandini, 2017), como se muestra en la Figura N° 2.

Proceso de horno de arco eléctrico: El horno de arco eléctrico (EAF) no utiliza metal caliente, sino chatarra de acero en frío. El material cargado se calienta a estado líquido por medio de una corriente eléctrica (los arcos eléctricos de alta potencia, en lugar de combustibles gaseosos, se utilizan para producir el calor necesario para fundir la chatarra de acero reciclada y convertirla en acero de alta calidad). Mientras tanto, se inyecta oxígeno en el horno eléctrico de arco para purificar el acero. Esta escoria que flota en la superficie del acero fundido se vierte luego (Chandini, 2017), ver Figura N° 2.

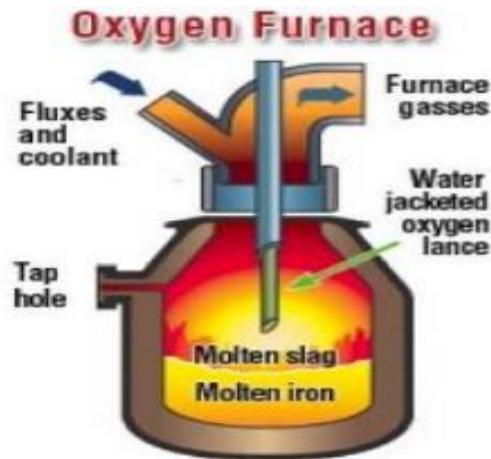


Figura N° 2: Horno de oxígeno básico

Fuente: “Uso de escoria de acero en concreto como agregado fino”, por Chandini (2017, p.35)

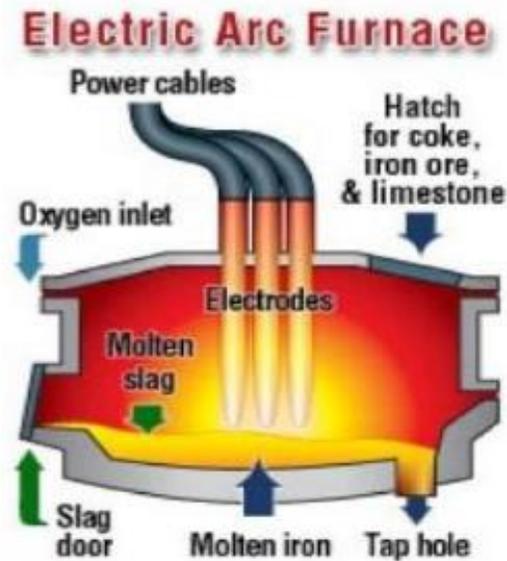


Figura N° 3: Horno de arco eléctrico

Fuente: “Uso de escoria de acero en concreto como agregado fino”, por Chandini (2017, p.35)

c) Agregados

“Un compendio de sustancias originarias de la naturaleza o de la síntesis que pueden ser procesadas o creadas y tienen un tamaño que está ubicado dentro de los parámetros de esta norma técnica.” (NTP 400 011, 2008).

Agregado fino: “Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 75  $\mu$ m (No. 200); deberá cumplir con los límites establecidos en la presente norma” (NTP 400 011, 2008).

Tabla N° 1:  
Análisis granulométrico del agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que pasa (%)
9.5 mm(3/8 pulg)	100
4.75 mm(N° 4)	95 a 100
2.36 mm(N° 8)	80 a 100
1.18 mm(N° 16)	50 a 85
600 $\mu$ m(N° 30)	25 a 60
300 $\mu$ m(N° 50)	05 a 30
150 $\mu$ m(N° 100)	0 a 10

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037

Agregado grueso: es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (No. 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, y que cumple con los límites establecidos en la presente NTP (NTP 400 011, 2008).

d) Resistencia a la compresión

Se mide haciendo girar sondas cilíndricas de hormigón en una máquina para ensayos de compresión de acuerdo con las normas establecidas. Esta propiedad del hormigón es la que se ve habitualmente en el diseño de edificios y otras estructuras (Terrejos y Carvajal, 2016).

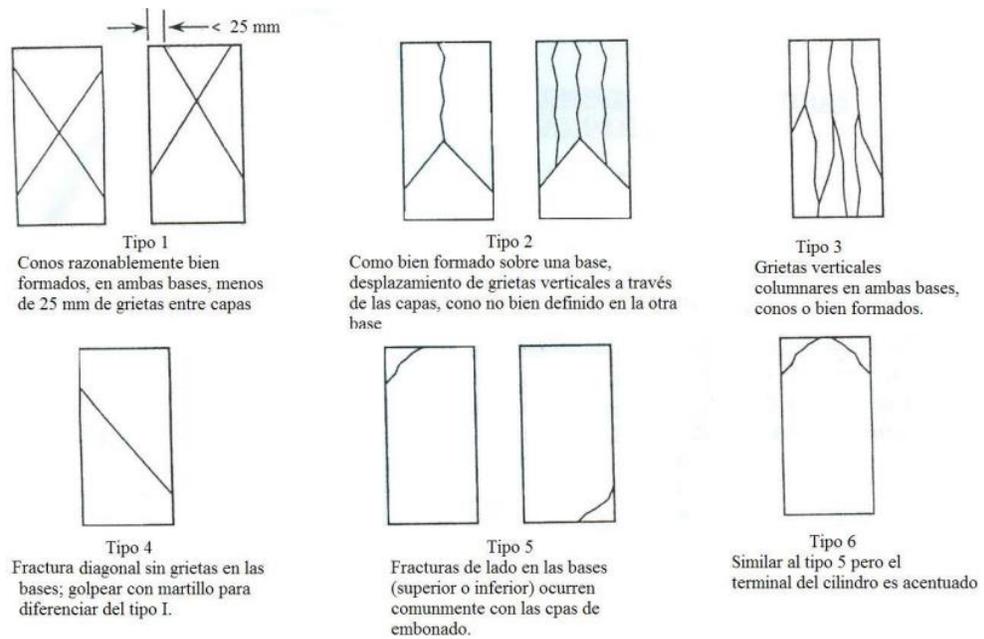


Figura N° 4: Esquema de los patrones de tipos de fracturas  
Fuente: Norma Técnica Peruana 339.034 (2015)

e) Resistencia a la tracción

El hormigón tiene una baja capacidad de tensión, por lo que no se tiene en cuenta en el momento del diseño estructural; no obstante, la resistencia a la tensión es crucial en el cultivo del hormigón a causa de la reducida capacidad de contracción del hormigón como resultado de la desecación o de la reducción de la temperatura. Generalmente existe una correlación directamente entre la resistencia a la compactación y la resistencia a la tracción (Mogollón, 2018).

f) Resistencia a la Flexión

Se define como una medida de la resistencia a tener una rotura, por ejemplo, de una viga o losa (Mogollón, 2018). La norma ASTM C78 también se utiliza para las pruebas de resistencia a la flexibilidad.

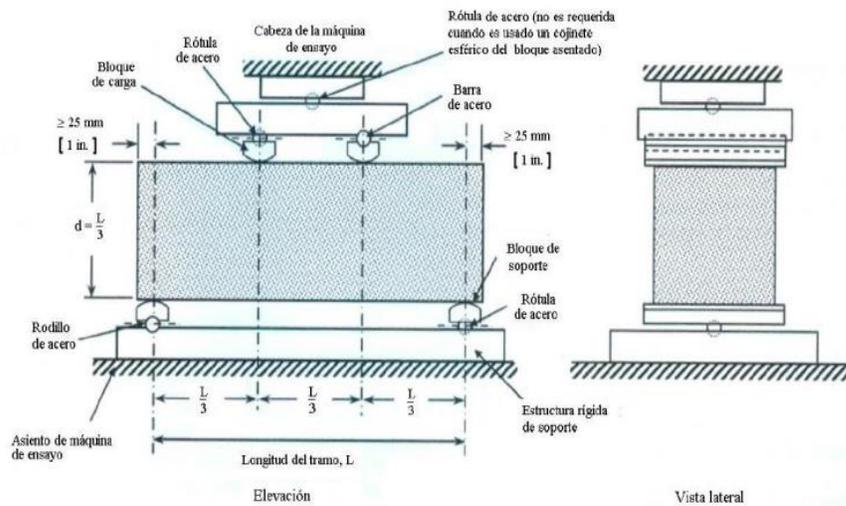


Figura N° 5: Diagrama de Ensayo aguante a la tracción del hormigón.  
Fuente: Normativa peruana de carácter técnico 339.078 (2012)

### g) Ensayo de asentamiento del hormigón

Es un experimento que se realiza a temperatura ambiente para conocer la firmeza de la mezcla que se ajusta a los criterios previstos en la obra. El procedimiento para conocer el grado de asentamiento de la muestra se realiza mediante el método de Abrams como o el análisis de asentamiento (Anco & Sarmiento, 2021) ver figura N° 6. En la tabla N° 2 muestras la clasificación según el asentamiento del hormigón fresco.

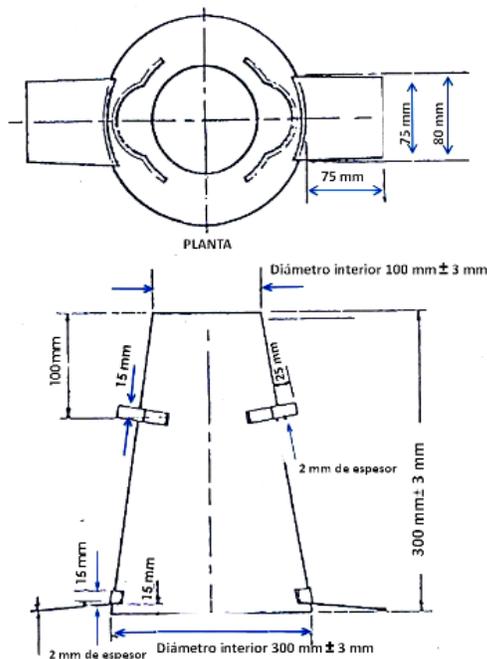


Figura N° 6: Dimensiones del cono de Abrams  
 Fuente: Normativa peruana de carácter técnico 339.035 (2009)

Tabla N° 2:  
 Clasificación según su asentamiento

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración Ligero, varillado
Fluida	>5"	Muy trabajable	Varillado

Fuente: Abanto (2009)

Tabla N° 3:  
 Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción

Tipos de Construcción	Asentamiento(cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros y zapatas de cimentación reforzados	7.5	2.5
Zapatas, cajones y muros de subestructura simples.	7.5	2.5
Losas, vigas y muros reforzados	10.0	2.5
Columnas y placas.	10.0	2.5
Pavimentos	7.5	2.5
Construcción pesada de concreto en masa.	5.0	2.5

Fuente: "Tablas de Dosificación ACI 211 – Diseño de mezclas"

Tabla N° 4:  
 Propiedades físicas de la escoria de acero

N°	Propiedades	Escoria de acero
1	Densidad aparente (Kg/m3)	3000-3600
2	Peso unitario (kg/m3)	2000-2600
3	Absorción de agua (%)	0.4 - 3.5
4	Valor de trituración (%)	6-14
5	Valor de impacto (%)	8-20
6	Abrasión de los ángeles (%)	8-15

Fuente: Qia dong et al. (2021)

h) Norma E.060

"La presente normativa establece los requerimientos y demandas mínimas para el estudio, el cálculo, los recursos, la fabricación, el control de calidad y la inspección de las estructuras de hormigón armado, pretensado y simple." (Normativa E060, 2019).

i) Norma Técnica Peruana.

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

2.4. Definición de términos básicos

a) Agua

La finalidad primaria es que el cemento se hidrate, aunque también se emplea para mejorar la manejabilidad de la combinación. Está claro que el agua afecta a la capacidad de resistencia, manejabilidad y rendimiento del hormigón (Abanto, 2017).

b) Cemento

Cemento hidráulico: "Es el cemento que fragua, endurece y desarrolla resistencia por reacción química tanto al aire como bajo el agua" (Ministerio de la producción, 2020, p.3).

Cemento Portland: "Cemento hidráulico producido por la pulverización del Clinker, el cual está compuesto de silicatos de calcio cristalinos hidráulicos", Ministerio de la producción (2020, p.3)

Tabla N° 5:  
Tipos de Cementos hidráulicos

Cementos	Tipo	Denominación
Hidráulicos		
Cementos	Tipo I	Cemento Portland de uso general
Portland	Tipo II	Cemento Portland de uso general de moderada resistencia a los sulfatos

	Tipo III	Cemento Portland de alta resistencia inicial
	Tipo IV	Cemento Portland de bajo calor de hidratación
	Tipo V	Cemento Portland de alta resistencia a los sulfatos
Cementos Portland	Tipo IS	Cemento Portland adicionado con escoria de alto horno
	Tipo IP	Cemento Portland adicionado puzolánico
	Tipo I(PM)	Cemento Portland adicionado con puzolánico modificado
	Tipo IL	Cemento Portland adicionado con caliza
	Tipo IT	Cemento Portland adicionado ternario
	Tipo Ico	Cemento Portland adicionado compuesto
Cementos hidráulicos especificados o por desempeño	Tipo GU	Cemento Hidráulico de uso general
	Tipo HE	Cemento Hidráulico de alta resistencia inicial
	Tipo MS	Cemento Hidráulico de moderada resistencia a los sulfatos
	Tipo HS	Cemento Hidráulico de alta resistencia a los sulfatos

Fuente: Ministerio de la producción (2020)

## 2.5. Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis

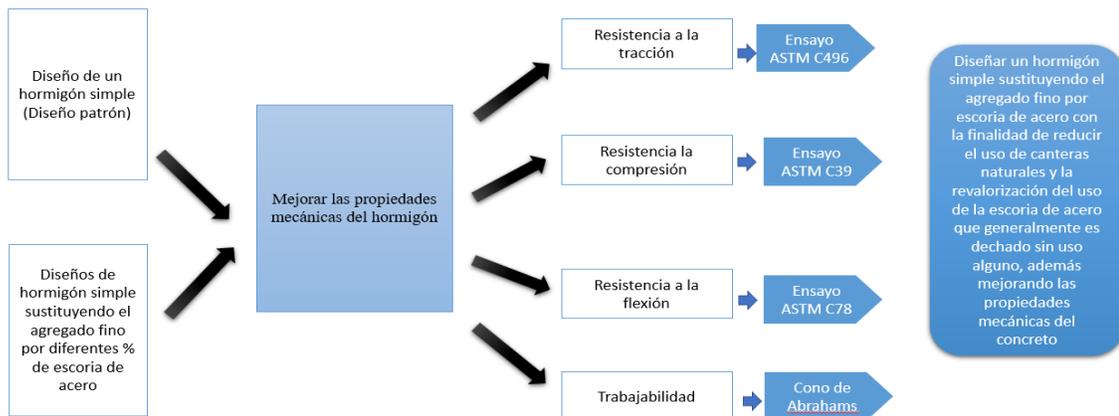


Figura N° 7: Matriz de hipótesis

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis general

- a) La sustitución de la escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora las propiedades físico-mecánicas del hormigón.

#### 3.1.2. Hipótesis específicas

- a) Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la trabajabilidad del hormigón.
- b) Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la resistencia compresión del hormigón.
- c) Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la resistencia a la flexión del hormigón.
- d) Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la resistencia a la tracción del hormigón

### 3.2. Variables

#### 3.2.1. Variables dependientes

Propiedades físico-mecánicas del hormigón.

#### 3.2.2. Variables Independientes

Porcentaje de escoria de acero como reemplazo parcial del agregado fino.

### 3.3. Sistema de variables

#### 3.3.1. Definición conceptual y operacional

- a) Escoria de acero

De acuerdo con la ASTM, la escoria se entiende por una sustancia gruesa no metálica compuesta por silicios de calcio, hierro y formas oxidadas de madera, aluminio, calcio y magnesio. (Tirado, 2018).

- b) Resistencia a la compresión

Se define como la propiedad para soportar procesos de trituración bajo condiciones de carga estática o creciente (Hernández et al, 2018).

- c) Resistencia a la flexión

Identificar la capacidad de carga de la flexibilidad de una viga prismática no reforzada, se utilizará una viga con dimensiones de 6"x6"x21". De nuevo, se

aplicará la media de la demanda total a  $1/3$  de la viga. En este caso, la viga no reforzada. El tercio central de la viga estará sometido a flexión pura (Norma técnica peruana 339 078, 2018).

d) Trabajabilidad

La capacidad de trabajo de una determinada combinación de hormigón se puede mezclar, manipular, transportar y verter hasta su ubicación final con una mínima pérdida de uniformidad (Quiroz & Salamanca, 2006).

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 4.1. Método de investigación

El método empleado en la presente investigación es deductivo ya que se recopilarán resultados de los autores referenciados demostrando que al reemplazar el agregado fino mejora las propiedades físico-mecánicas del hormigón y de orientación básica. Asimismo, se empleó enfoque cuantitativo y como instrumento de recolección de datos será retrolectivo ya que los datos serán obtenidos de fuentes secundarias existentes.

### 4.2. Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva, explicativa y correlacional porque existe una problemática específica explicando las causas y consecuencias; también puede conocerse si una variable tiene un efecto sobre la otra cuando existe una dependencia entre ellas.

### 4.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación será descriptivo ya que se busca analizar los resultados recopilados de tesis, ensayos, artículos y libros para determinar un porcentaje óptimo de escoria de acero para sustituir un porcentaje de agregado fino en la muestra que beneficie en las propiedades mecánicas.

### 4.4. Diseño de investigación

Según las investigaciones de los autores consultados, se utilizó un diseño experimental, dado que las variaciones de la variable independiente se hicieron observando el efecto o relación que existe con las variables dependientes. Según el número de mediciones será longitudinal porque se tomarán más de dos medidas en los datos obtenidos por los autores referenciados. Finalmente, según la cronología de las observaciones es retrospectivo porque se van a recurrir de fuentes existentes.

En el Anexo N° 3 se muestra un cuadro resumen de las tipologías de los autores referenciados en la presente investigación.

### 4.5. Población y muestra

#### 4.5.1. Población

Esta tesis es de tipo descriptivo, por lo que se incluye en el conjunto de estudios sobre la sustitución de las escorias del hormigón por el agregado en esos estudios.

#### 4.5.2. Muestra

Se elaboraron probetas de hormigón sustituyendo el añadido fino por escorias de acero en un 10% , 20%,30%,40% del peso total agregado fino Álvarez (2020).

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

#### 4.6.1. Instrumento de recolección de datos

En la recopilación de fundamentos se usaron investigaciones pasadas, títulos científicos, normas y libros usando las distintas plataformas de bases académicas como Proquest, Scopus, Science direct, etc, estos datos fueron obtenidos a partir de ensayos realizados en laboratorios de las investigaciones citadas.

### 4.7. Descripción de procesamientos de análisis

Los resultados, gráficos y tablas se obtendrán de tesis , artículos científicos , normas , libros y revistas existentes para recopilar resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, flexión, tracción, densidad y asentamiento. Se usará Microsoft Excel para registrar toda la recopilación de datos encontrando así el porcentaje óptimo de escoria de acero que al ser el reemplazo parcial del agregado fino mejora las propiedades físico-mecánicas del hormigón .

## **CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **5.1. Resultados de la investigación**

Se presentará los resultados de la trabajabilidad y ensayos los cuales fueron resistencia a la compresión, flexión y tracción evaluándolos a los 7, 14 y 28 días de curado y un rango establecido de 10%, 20%, 30%, 40% de porcentaje de remplazo. Para el análisis y comparación del uso de la escoria con la intención de mejorar las cualidades físicas y mecánicas del hormigón se presenta una recopilación de artículos científicos y tesis de carácter nacional e internacional.

Para el desarrollo de la fase experimental, se realizó una investigación metódica como resultado del estudio, artículos y revisiones científicas relacionadas con las propiedades físicas mejoradas del acero mediante la sustitución del agregado por escoria de acero; todos estos estudios tomaron como referencia estándares de la ASTM internacional y la normativa peruana (NTP), con el objetivo de disminuir los márgenes de error y mantener la fiabilidad y la validez de los resultados logrados en los procedimientos de tratamiento de datos. En consecuencia, se realizaron los siguientes estudios: Granulometría, contenido de humedad, peso específico y porcentaje de absorción. Estos estudios son necesarios con el fin de conocer las cualidades técnicas de los elementos añadidos y para diseñar las mejores mezclas posibles. Finalmente, durante la fase de curado, las muestras de hormigón se exponen a los ensayos de compresión, flexión y tracción durante los períodos de 7, 14 y 28 días. Para determinar las resistencias más altas a las que se someterán los experimentos mencionados, utilizando el material predominante.

Se muestra en la Tabla N° 6 valores promedio de la composición química de la escoria de acero en diferentes países, teniendo en común que el CaO es el elemento más abundante.

Tabla N° 6:  
Composición química de la escoria de acero según lugar de procedencia

País	CaO %	MgO %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	FeO %	MnO %	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	S
Japón	40	4	25	5	19	7	-	0.006
Suecia	46	5	11	5	28	4	0.7	-
EE. UU.	41	10	17	8	18	4	0.6	0.2
Alemania	32	10	15	4	31	4	1.4	0.1
Brasil	33	10	18	6	30	5	-	-
Italia	41	8	14	7	20	6	0.9	0.1

Fuente: Álvarez & Lozano (2021).

Tabla N° 7  
Recopilación de investigaciones del efecto escoria de acero en las propiedades físico-mecánicas del hormigón

Propiedades del hormigón	Numero de literaturas	Efecto(%)		
		Positivo	Negativo	Insignificante
Resistencia a la compresión	46	76	11	13
Resistencia a la tracción	24	75	13	12
Resistencia a la flexión	22	73	23	4
Módulo de elasticidad	19	84	5	11
Absorción de agua	9	33	56	11

Fuente: Quia Dong, et al (2021).

5.1.1. Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la trabajabilidad del hormigón.

Referencia 1: Uso de escoria de acero en hormigón como agregado fino (Chandini, 2017).

Primero se realizó el análisis granulométrico del agregado fino como se muestra en la Tabla N° 8, todas las mezclas se prepararon para obtener un hormigón de trabajabilidad media. De igual manera el ensayo de trabajabilidad se realizó de acuerdo con la norma ASTM C 143.

Tabla N° 8:  
Análisis granulométrico de la escoria de acero

Tamiz Tamaño(mm)	ASTM Designación	Arena % que pasa	Escoria de acero % que pasa	ASTM Limites
10.000	3/8"	100	100	100
5.000	#4	99.9	99	100
2.400	#8	99.6	95.6	95-100
1.200	#16	98.9	85.4	80-100
0.600	#30	91.3	72.1	50-85
0.300	#50	45.1	56.2	25-60
0.150	#100	8.6	40	10-30
0.075	#200	1	20.5	NA

Fuente: Chandini, R. (2017)

Tabla N° 9:  
Resultados de asentamiento para diferentes porcentajes de remplazo de escoria de acero

Porcentaje de sustitución de escoria de acero (%)	Asentamiento (cm)
0	12.00
10	11.70
20	10.70
30	10.00
40	8.70

Fuente: Chandini, R. (2017)

En la Figura N° 8 se muestra el comportamiento de la trabajabilidad del hormigón de las distintas cantidades de escoria de acero en sustitución del agregado fino. Observando que a medida que se agrega más porcentaje de escoria de acero se va reduciendo el Slump obteniendo una mezcla con una consistencia de plástica a semifluida.

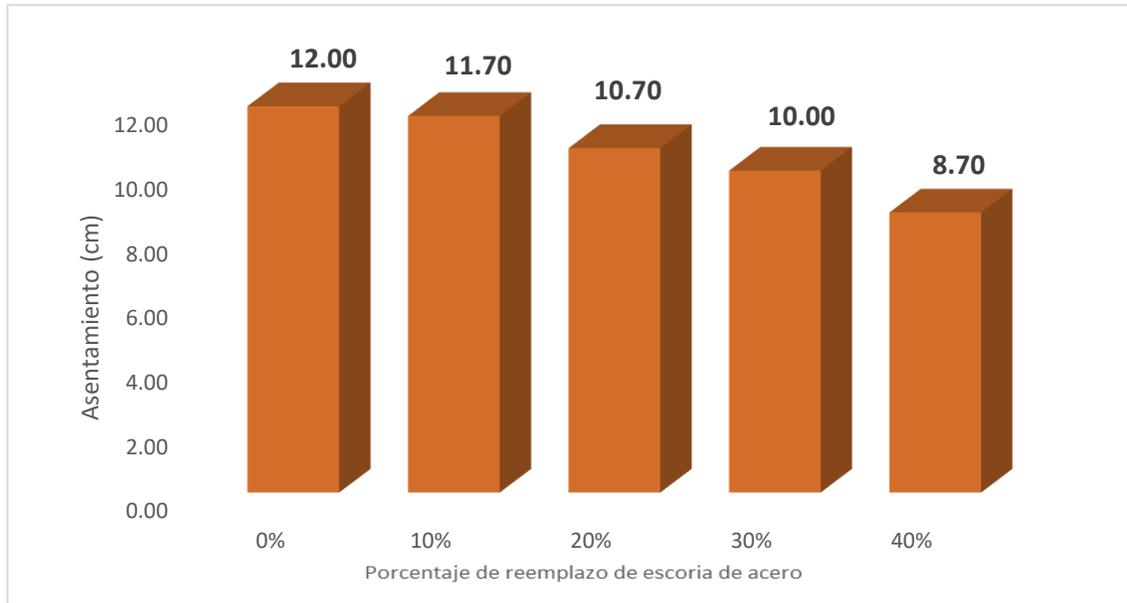


Figura N° 8: Resultado de asentamiento vs porcentaje de escoria de acero.  
Fuente: Chandini, R. (2017)

Tabla N° 10:  
Reducción del asentamiento a diferentes porcentajes de sustitución

Porcentaje de sustitución (%)	Reducción de asentamiento con respecto al diseño patrón (cm)
10	0.30
20	1.30
30	2.00
40	3.30

Fuente: Elaboración propia

Referencia 2: Análisis comparativo de la resistencia a la compresión, flexión y trabajabilidad del hormigón tradicional frente a un hormigón con escoria siderúrgica como árido fino (Camarena, A. & Días, G. 2021).

Los resultados de los ensayos de asentamiento obtenidos por Camarena & Días con respecto a la trabajabilidad nos refleja que a mayor porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino reduce el asentamiento, observando que al remplazar el 40% de agregado fino por escoria de acero reduce hasta un 35% del asentamiento con respecto a la mezcla base, como se muestra en la Tabla N° 11..

Tabla N° 11

Resultados del ensayo de asentamiento del hormigón para diferentes porcentajes de escoria de acero

Porcentaje de sustitución de escoria de acero (%)	Asentamiento (cm)
0	11.43
10	10.16
20	7.62
30	5.99
40	4.09

Fuente: Camarena & Días (2021)

En la Figura N° 9 se observa mediante el grafico el comportamiento de la escoria de acero como remplazo del agregado fino, evidenciando la reducción de la trabajabilidad mientras se incrementa el porcentaje de sustitución.

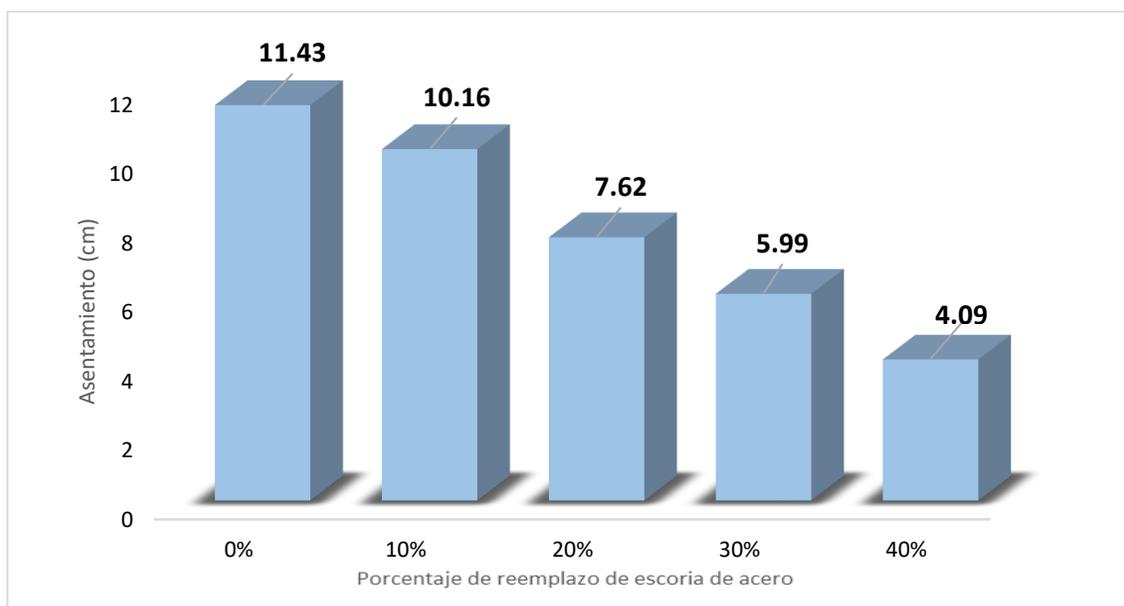


Figura N° 9: Resultado de trabajabilidad vs porcentaje de escoria

Fuente: Camarena & Días (2021)

Tabla N° 12:  
Reducción del asentamiento a diferentes porcentajes de sustitución

Porcentaje de sustitución (%)	Reducción de asentamiento con respecto al diseño patrón (cm)
10	1.27
20	3.81
30	5.44
40	7.34

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón.

Referencia 1: Diseño de concreto utilizando escoria de acero a partir de la sustitución del agregado fino y su impacto en la resistencia a compresión y resistencia a flexión, Lima – 2020. Álvarez & Lozano (2021).

A continuación, se detallan las características físicas de la escoria de acero obtenidas después de los diferentes ensayos de laboratorio, se puede observar el alto porcentaje de absorción 2.27% y bajo contenido de humedad, como se muestra en la Tabla N° 13, estos datos se requieren para elaborar un diseño de hormigón.

Tabla N° 13:  
Propiedades Físicas de la escoria de acero

Propiedades	Valores
Peso específico	3307.85 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado	2069.53 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto	1919.71 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de humedad	0.33%
Absorción	2.27%
Módulo de fineza	3.73

Fuente: Álvarez & Lozano (2021)

En la Tabla N° 14Tabla N° 19, se muestra los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión en diferentes porcentajes de sustitución de 10%, 20%, 30% y 40% a los 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla N° 14  
Resultados de resistencia a la compresión para diferentes porcentajes de escoria de acero

Porcentaje de sustitución de escoria de acero (%)	Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
0	7	252
	14	269
	28	293
10	7	248
	14	265
	28	302
20	7	279
	14	306
	28	343
30	7	336
	14	348
	28	395
40	7	309
	14	331
	28	361

Fuente: Álvarez & Lozano (2021)

El ensayo de resistencia a la compresión sirve para comprobar la resistencia de determinadas muestras cilíndricas del hormigón durante un periodo predeterminado de 7, 14 y 28 días de curado en caliente. Los resultados del hormigón de control y de los hormigones con escoria de acero como sustituto del agregado fino se muestran en los gráficos en porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40% a los 7, 14, y 28 días.

En la Figura N° 10 se muestra los porcentajes de sustitución estudiados a los 7 días de curado, se observa que al 10% de sustitución la resistencia a la compresión se reduce un 1.58% con respecto al diseño patrón, luego desde el 20% hasta el 40% la

resistencia mejora, además la resistencia al 30% es el porcentaje con mejor desempeño.

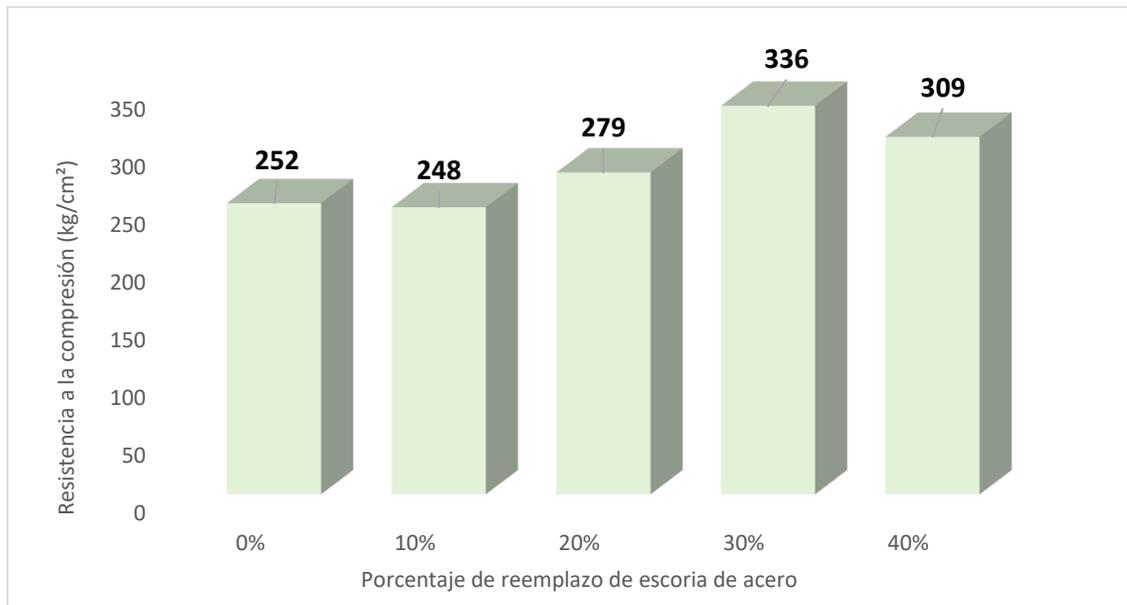


Figura N° 10: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 7 días.  
Fuente: Álvarez & Lozano (2021)

Tabla N° 15:

Incremento de resistencia a la compresión a los 7 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	-2
20	11
30	33
40	23

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 11, se muestra los porcentajes de sustitución estudiados a los 14 días de curado, se observa que al 10% la resistencia a la compresión se reduce en un 1.5% con respecto al diseño patrón, luego desde el 20% se va aumentando la resistencia siendo el 30% el porcentaje óptimo y al 40% la resistencia decrece, pero siendo aun mayor que el diseño patrón por un 23%.

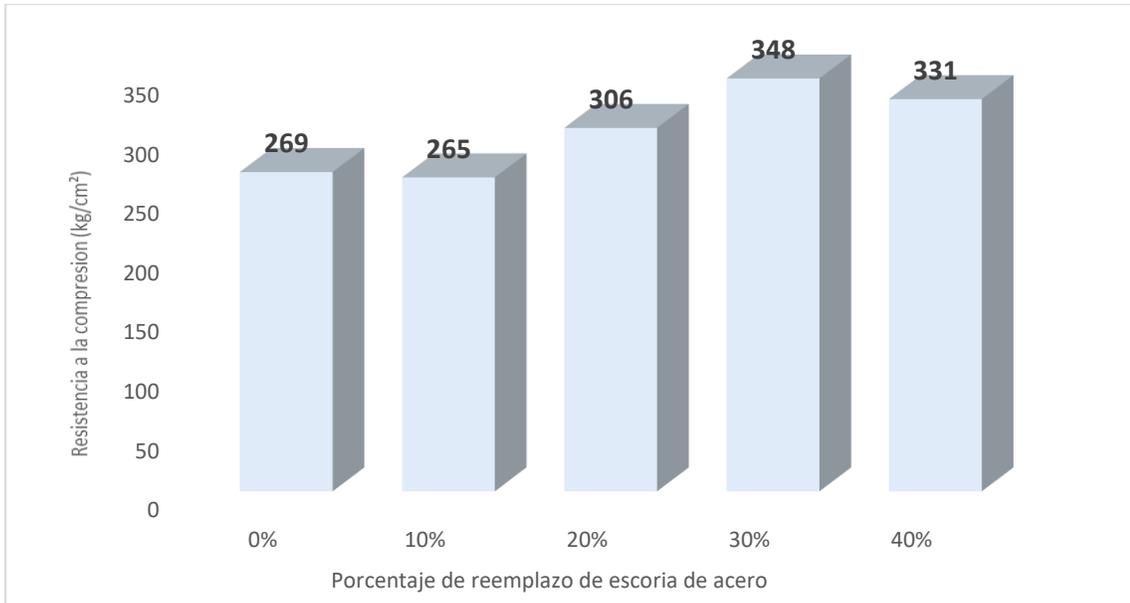


Figura N° 11: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 14 días.  
Fuente: Álvarez & Lozano (2021)

Tabla N° 16:

Incremento de resistencia a la compresión a los 14 días de curado

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	-1
20	14
30	29
40	23

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 12, se muestra los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, a diferencia de los 7 y 14 días de curado la resistencia a la compresión a los 28 días mejora en todos los porcentajes de sustitución estudiados, sin embargo, dándose el mismo comportamiento en que el 30% es el porcentaje de sustitución con mejor desempeño.

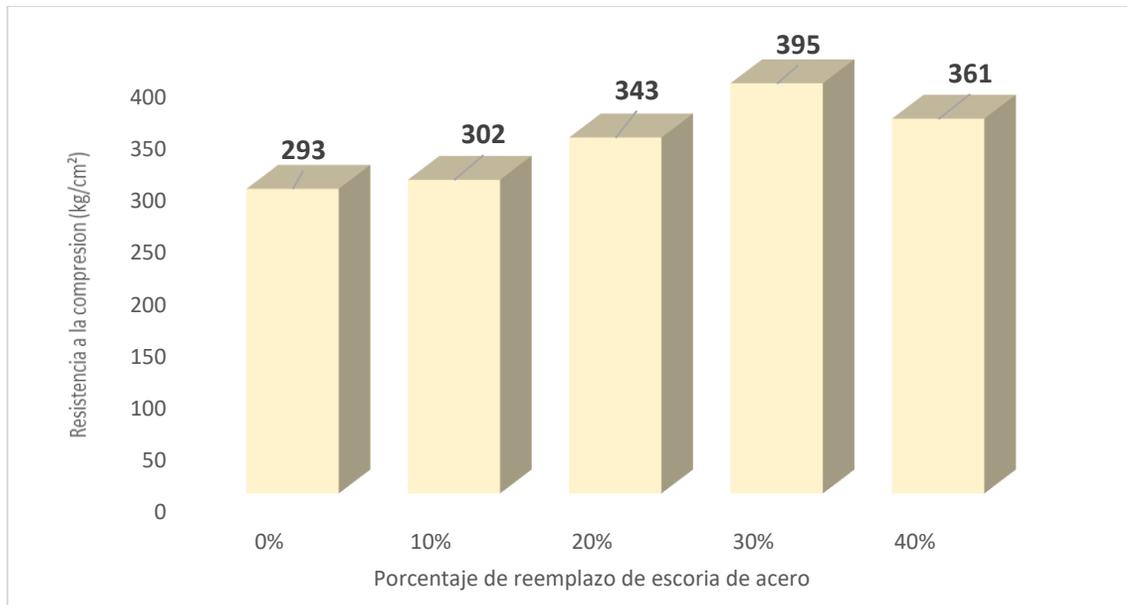


Figura N° 12: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 28 días.  
Fuente: Álvarez & Lozano (2021)

Tabla N° 17:  
Incremento de resistencia a la compresión a los 28 días de curado

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	3
20	17
30	35
40	23

Fuente: Elaboración propia

Referencia 2: Un estudio experimental sobre reemplazo parcial de agregado fino usando escoria de acero (Mahalingam et al, 2018).

Para la elaboración de ensayos, este artículo utilizó cemento portland de grado 53, agregado fino con gravedad específica de 2.6, agregado grueso con una gravedad específica de 2.67 y agua potable con valor de pH de 7.

La estructura química de la escoria de acero nos muestra que contiene mayor contenido de óxido de calcio (CaO) (ver Tabla N° 18Tabla N° 18), la escoria de acero presenta forma muy angular, una densidad de 1911.1 kg/m<sup>3</sup> y una gravedad específica de 2.93.

Tabla N° 18:  
Propiedades químicas de la escoria de acero

Constitución	Composición (%)
CaO	40 a 52
SiO <sub>2</sub>	10 a 19
FeO	10 a 40
MnO	5 a 8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 a 3

Fuente: Mahalingam, et al (2018)

En la Tabla N° 19, se muestra los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión en diferentes porcentajes de sustitución de 10%, 20%, 30% y 40%.

Tabla N° 19:  
Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para diferentes porcentajes de remplazo

Porcentaje de sustitución de escoria de acero (%)	Tiempo de curado (días)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	7	214
	14	325
	28	355
10	7	240
	14	364
	28	391
20	7	268
	14	409
	28	426
30	7	290
	14	431
	28	466
40	7	313
	14	458
	28	505

Fuente: Mahalingam, et al (2018)

En la Figura N° 13, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 7 días de curado, en la figura se observa que la resistencia a la compresión va aumentando mientras se incrementa el porcentaje de sustitución siendo el 40% el porcentaje óptimo dándose un incremento de 46% con respecto al diseño patrón.

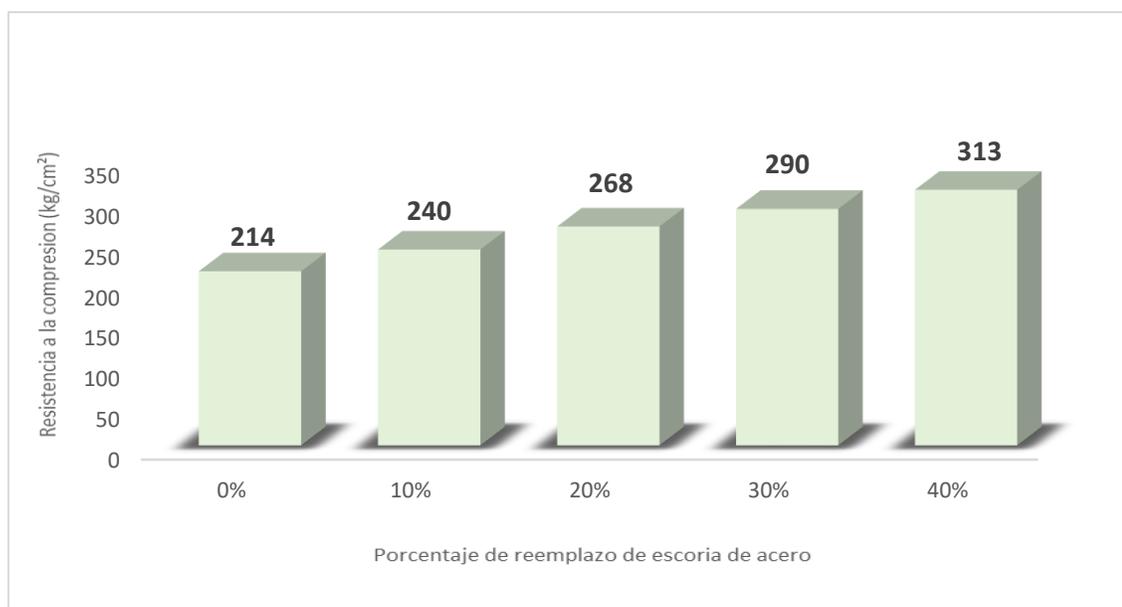


Figura N° 13: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 7 días.  
Fuente: Mahalingam, et al (2018)

Tabla N° 20:

Incremento de resistencia a la compresión a los 7 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	12
20	25
30	36
40	46

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 14, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 14 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la compresión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 12%, en el porcentaje de

sustitución de 20% el incremento fue de 26%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 32% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 41%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

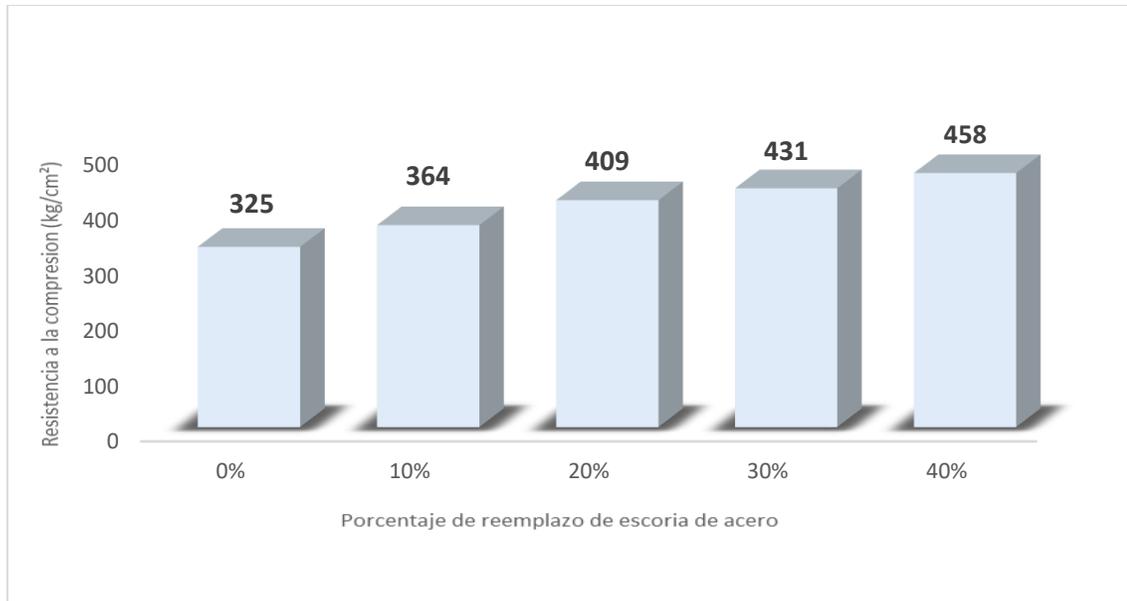


Figura N° 14: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 14 días.  
Fuente: Mahalingam, et al (2018)

Tabla N° 21:  
Incremento de resistencia a la compresión a los 14 días de curado

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	12
20	26
30	32
40	41

Fuente: Mahalingam, et al (2018)

En la Figura N° 15, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la compresión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 10%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 20%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 31% y en el porcentaje

de sustitución de 40% el incremento fue de 42%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

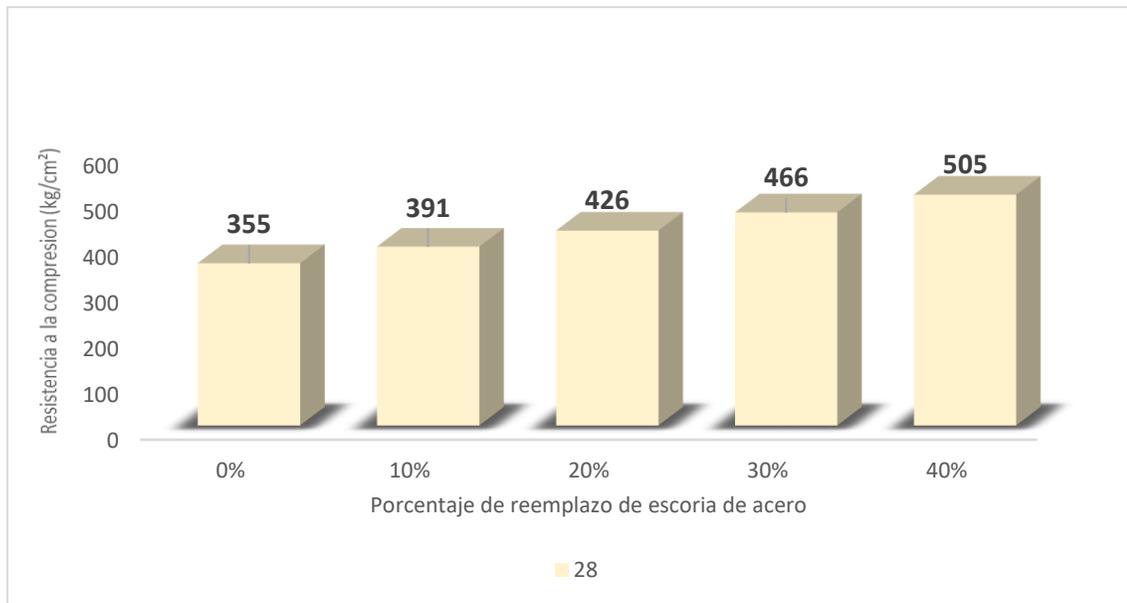


Figura N° 15: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 28 días.  
Fuente: Mahalingam, et al (2018)

Tabla N° 22:  
Incremento de resistencia a la compresión a los 28 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	10
20	20
30	31
40	42

Fuente: Mahalingam, et al (2018)

Referencia 3: Uso de Escoria de Acero en Concreto como Agregado Fino (Chandini, R., 2017).

El artículo presentado por Chandini busca comprobar si es óptimo usar escoria de acero como reemplazo del agregado fino y además de verificar que porcentaje de sustitución es el más adecuado para obtener el mejor resultado con respecto a la resistencia a la compresión.

En la Tabla N° 23, nos muestra los resultados de la resistencia a la compresión en los ensayos realizados a las probetas sin escoria y con diferentes porcentajes de escoria de acero 10%, 20% 30% y 40% a los 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla N° 23:  
Resultados de ensayos de resistencia a la compresión

Porcentaje de sustitución de escoria de acero (%)	Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	7	189
	14	245
	28	265
10	7	224
	14	279
	28	299
20	7	236
	14	284
	28	300
30	7	245
	14	297
	28	316
40	7	261
	14	293
	28	304

Fuente: Chandini, R. (2017)

En la Figura N° 16, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 7 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la compresión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 19%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 25%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 30% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 38%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

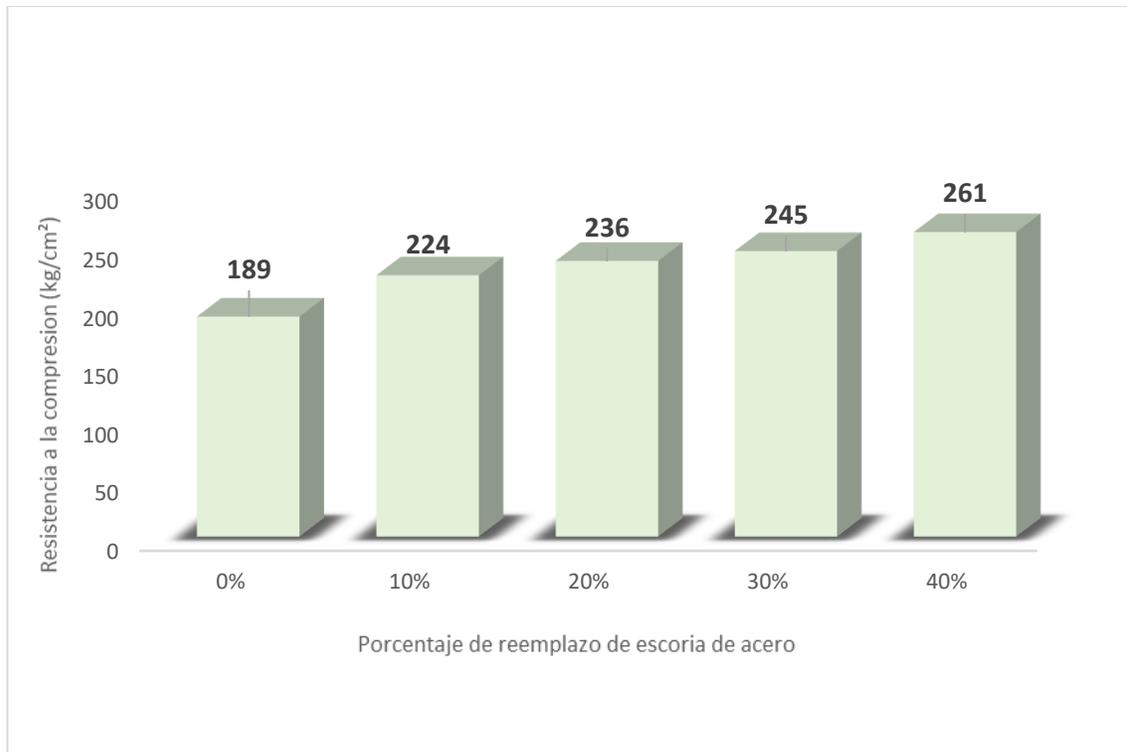


Figura N° 16: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 7 días.  
Fuente: Chandini R. (2017)

Tabla N° 24:  
Incremento de resistencia a la compresión a los 7 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	19
20	25
30	30
40	38

Fuente: Chandini R. (2017)

En la Figura N° 17, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 14 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la compresión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 14%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 16%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 21% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 20%, siendo el 30% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

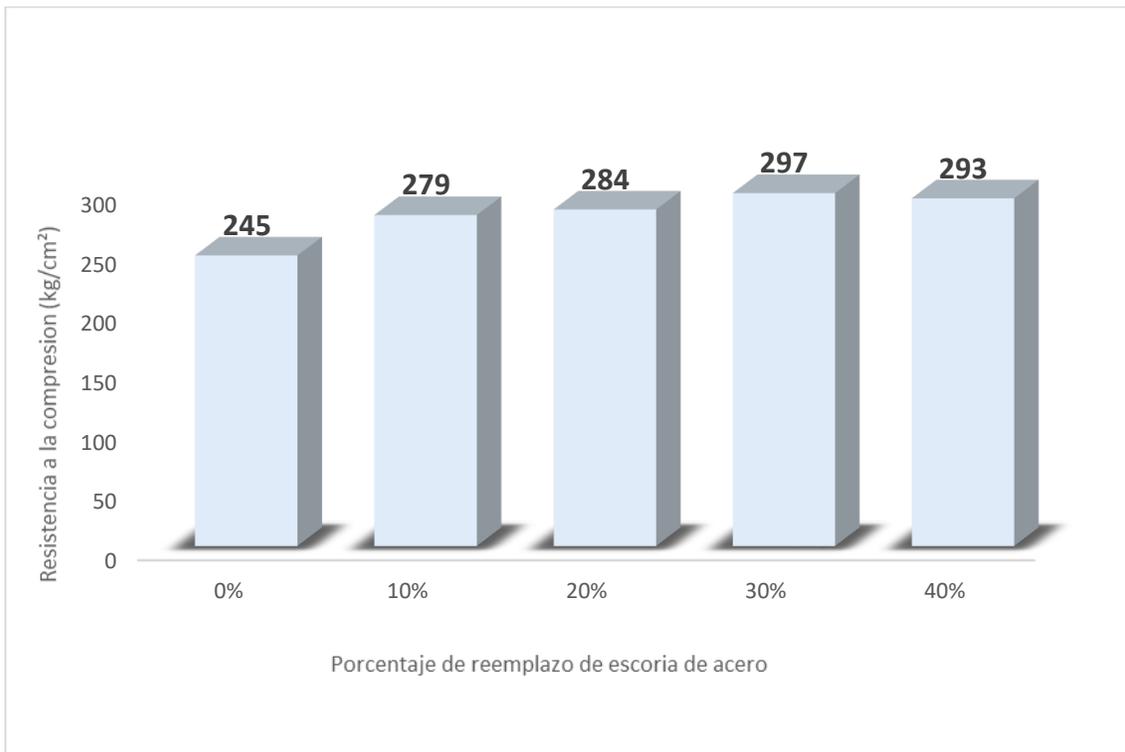


Figura N° 17: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 14 días.  
Fuente: Chandini R. (2017)

Tabla N° 25:

Incremento de resistencia a la compresión a diferentes porcentajes de sustitución con respecto al diseño patrón a los 14 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia (%)
10	14
20	16
30	21
40	20

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 18, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la compresión hasta llegar al 30% después se empieza a reducir, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 13%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 13%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 19% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 15%, siendo el 30% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

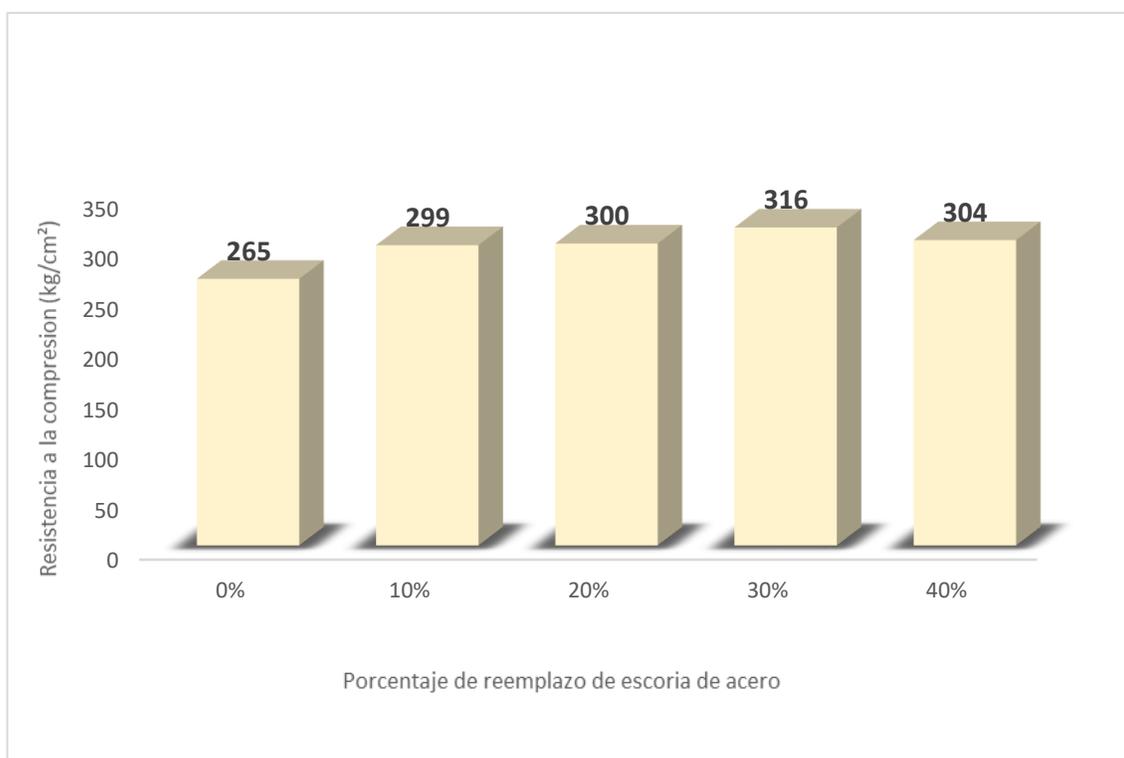


Figura N° 18: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 28 días.  
Fuente: Chandini R. (2017)

Tabla N° 26:  
Incremento de resistencia a la compresión a los 28 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	13
20	13
30	19
40	15

Fuente: Elaboración propia

Referencia 4: Investigación sobre el comportamiento del hormigón con árido fino sustituido por escoria de acería (Naveen, et al, 2020)

En la Tabla N° 27, nos muestra los resultados de la resistencia a la compresión en los ensayos realizados a las probetas sin escoria y con diferentes porcentajes de escoria de acero 10%, 20% 30% y 40% a los 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla N° 27

Resultados de ensayos de resistencia a la compresión

Porcentaje de sustitución de escoria de acero (%)	Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
	7	199
0	14	304
	28	385
	7	204
10	14	311
	28	395
	7	209
20	14	320
	28	406
	7	214
30	14	326
	28	414
	7	223
40	14	342
	28	433

Fuente: Naveen, et al (2020)

En la Figura N° 19, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 7 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la compresión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 3%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 5%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 8% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 12%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

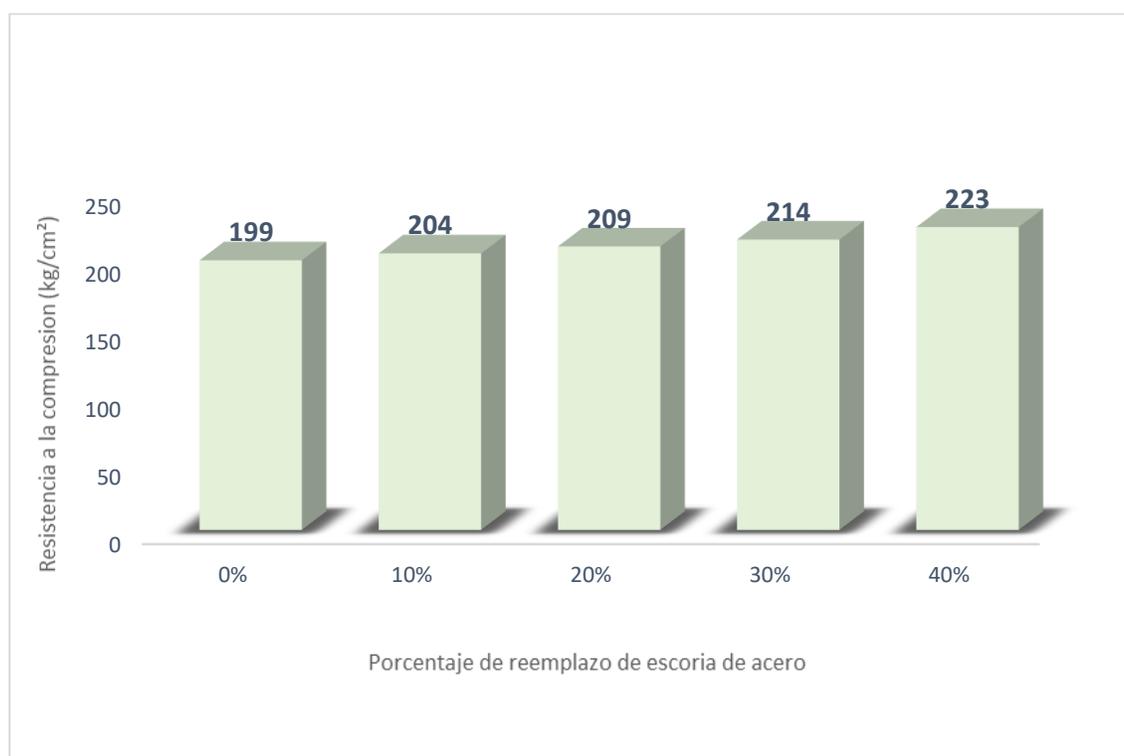


Figura N° 19: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 7 días.  
Fuente: Naveen, et al (2020)

Tabla N° 28: Incremento de resistencia a la compresión a los 7 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	3
20	5
30	8
40	12

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 20, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 14 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la compresión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 2%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 5%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 7% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 13%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

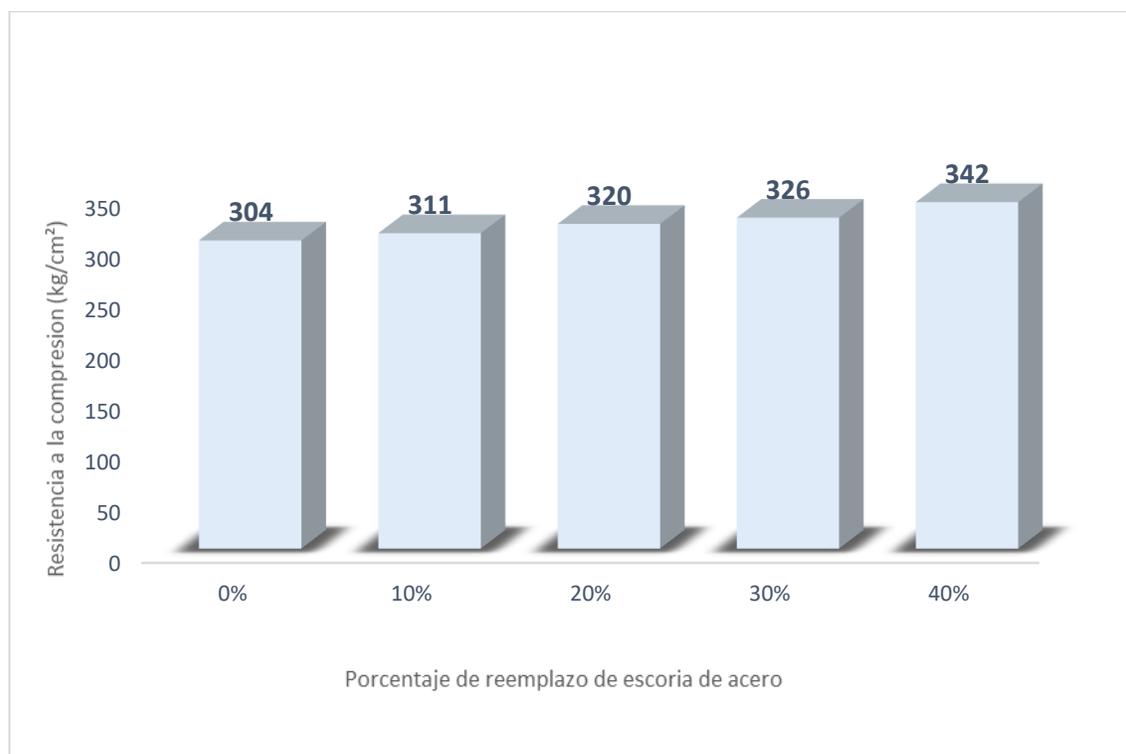


Figura N° 20: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 14 días  
Fuente: Naveen, et al (2020)

Tabla N° 29:  
Incremento de resistencia a la compresión a los 14 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	2
20	5
30	7
40	13

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 21, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la compresión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 3%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 5%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 8% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 12%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

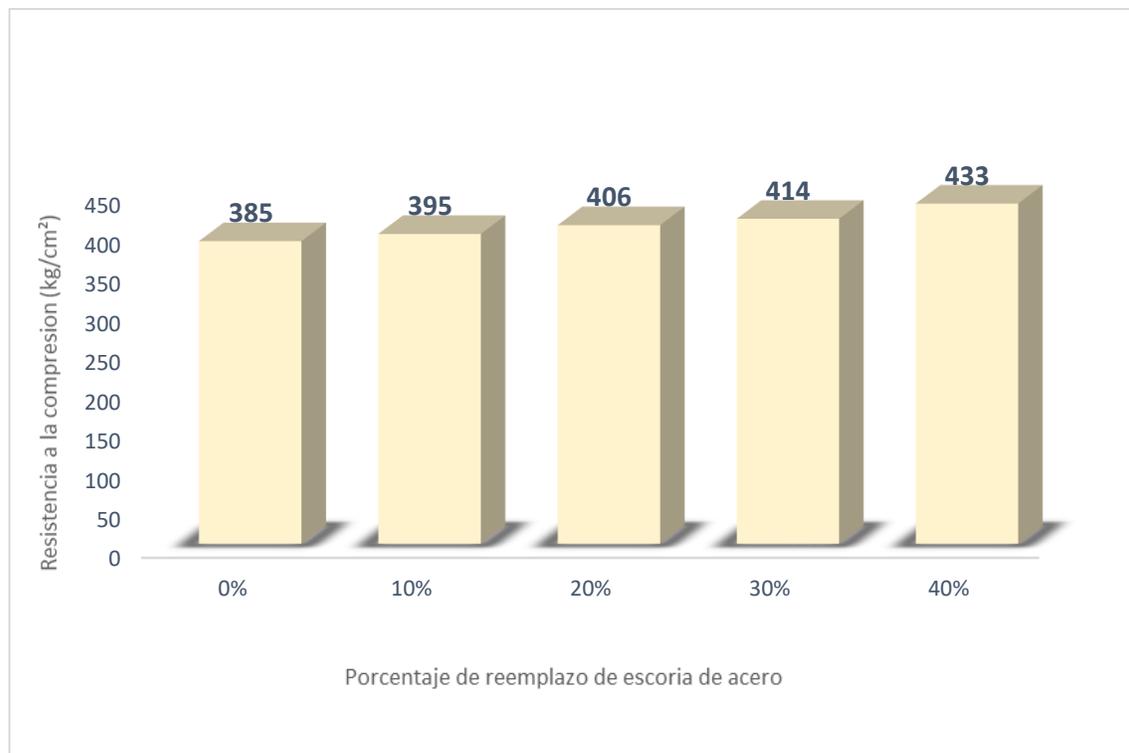


Figura N° 21: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 28 días  
Fuente: Naveen, et al (2020)

Tabla N° 30:  
Incremento de resistencia a la compresión a los 28 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	3
20	5
30	8
40	12

Fuente: Elaboración propia

Referencia 5: Consecuencia de la sustitución parcial de agregado fino por escoria siderúrgica y su impacto en la resistencia a compresión del concreto (Pruthviraj, et al, 2018)

Los diseños de mezclas de esta investigación fueron realizados de acuerdo con las pautas del método recomendado de Indian Standard IS, se usó un cemento grado 53, a continuación, se presenta las propiedades físicas de la escoria de acero tomadas en cuenta para la elaboración del diseño de mezclas como se muestra en la Tabla N° 31.

Tabla N° 31:  
Propiedades físicas de la escoria de acero

Propiedad	Valores
Gravedad específica	3.2-3.6
Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1600-1920
Absorción	hasta 3%

Fuente: Pruthviraj, et al (2016)

En la Tabla N° 32, nos muestra los resultados de la resistencia a la compresión en los ensayos realizados a las probetas sin escoria y con diferentes porcentajes de escoria de acero 10%, 20% 30% y 40% a los 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla N° 32:  
Resultados de ensayos de resistencia a la compresión

Porcentaje de sustitución de escoria de acero (%)	Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
	7	165
0	14	238
	28	383
	7	184
10	14	258
	28	408
	7	194
20	14	270
	28	423
	7	271
30	14	334
	28	460
	7	200
40	14	278
	28	433

Fuente: Pruthviraj, et al (2018)

En la Figura N° 22, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 7 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la compresión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 12%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 18%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 64% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 21%, siendo el 30% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

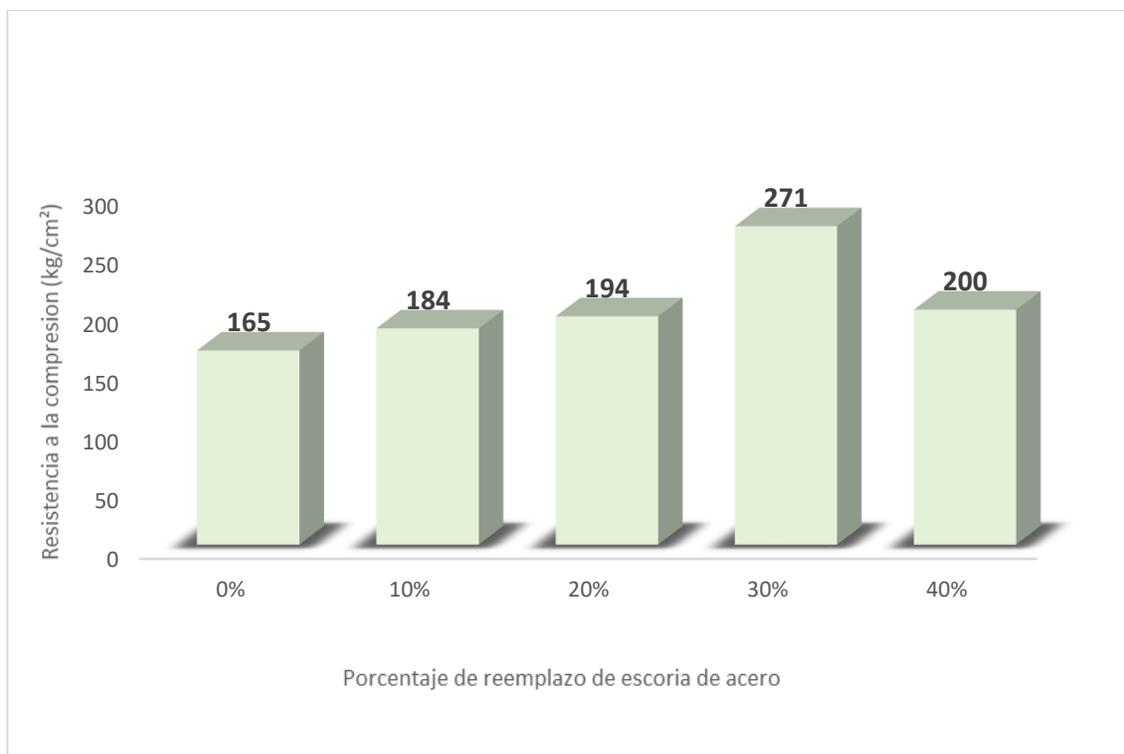


Figura N° 22: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 7 días  
Fuente: Pruthviraj, et al (2018)

Tabla N° 33:

Incremento de resistencia a la compresión a los 7 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	12
20	18
30	64
40	21

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 23, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 14 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la compresión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 8%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 13%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 40% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 17%, siendo el 30% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

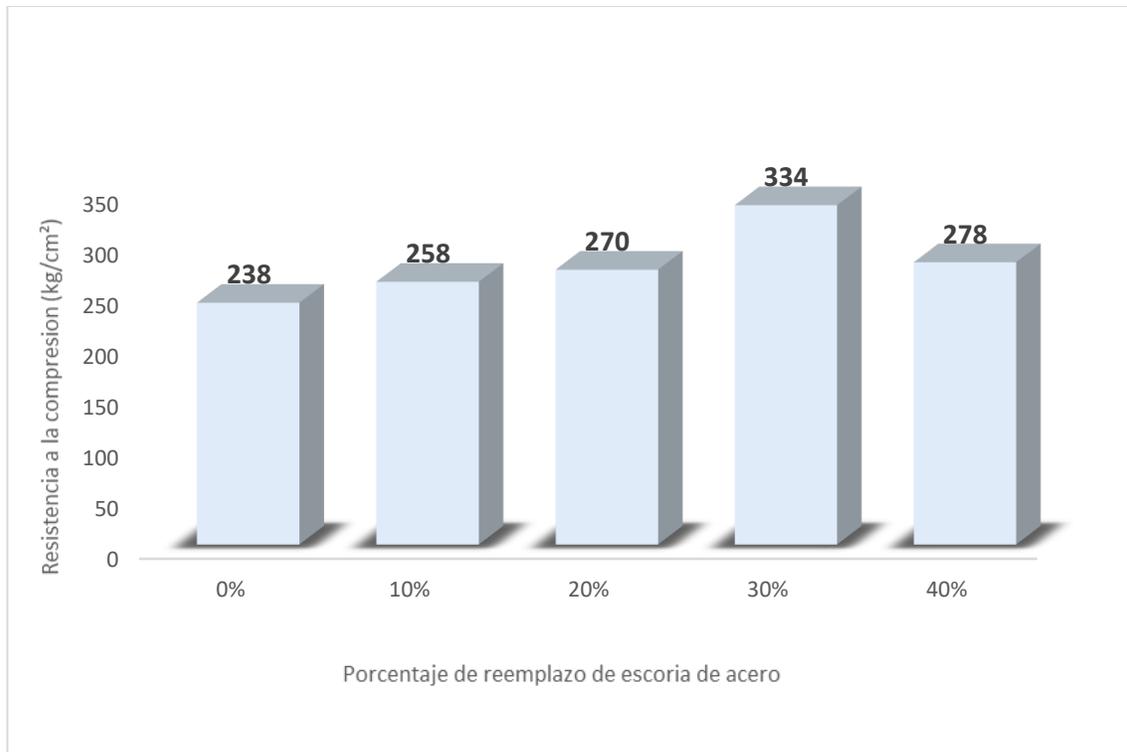


Figura N° 23: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 14 días  
Fuente: Pruthviraj, et al (2018)

Tabla N° 34:  
Incremento de resistencia a la compresión a los 14 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	8
20	13
30	40
40	17

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 24, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la compresión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 7%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 10%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 20% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 13%, siendo el 30% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

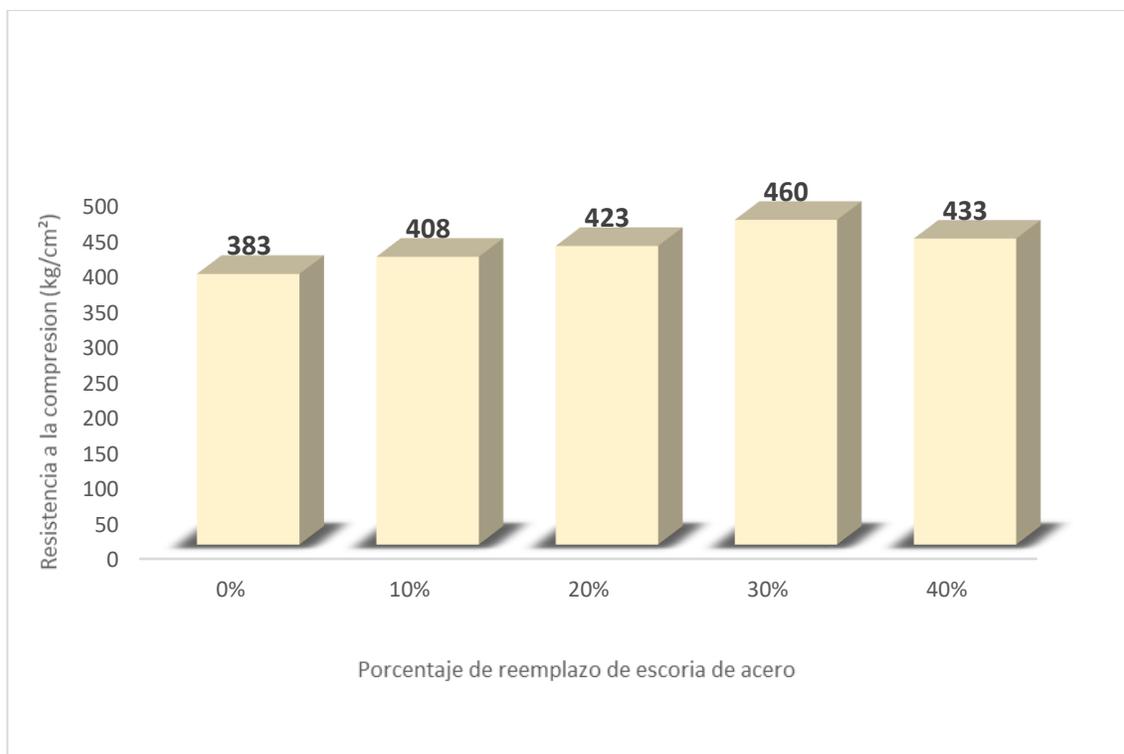


Figura N° 24: Resistencia a la compresión vs diferentes porcentajes de sustitución a los 28 días  
Fuente: Pruthviraj, et al (2018)

Tabla N° 35:

Incremento de resistencia a la compresión a los 28 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	7
20	10
30	20
40	13

Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Determinar el porcentaje de escoria de acero como reemplazo del agregado fino para mejorar la resistencia a la flexión del hormigón.

Referencia 1: Diseño de concreto utilizando escoria de acero a partir de la sustitución del agregado fino y su impacto en la resistencia a compresión y resistencia a flexión, Lima – 2020 (Álvarez, 2021).

En la Tabla N° 31 nos muestra los resultados de la resistencia a la flexión en los ensayos realizados a las probetas sin escoria y con diferentes porcentajes de escoria de acero 10%, 20% 30% y 40% a los 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla N° 31:  
Resultados de ensayos de resistencia a la flexión:

Porcentaje de sustitución de escoria de acero (%)	Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	7	36
	14	46
	28	58
10	7	37
	14	49
	28	60
20	7	42
	14	52
	28	63
30	7	45
	14	55
	28	66
40	7	51
	14	62
	28	72

Fuente: Álvarez & Lozano (2021)

En la Figura N° 21, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 7 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la flexión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 3%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 17%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 25% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 42%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

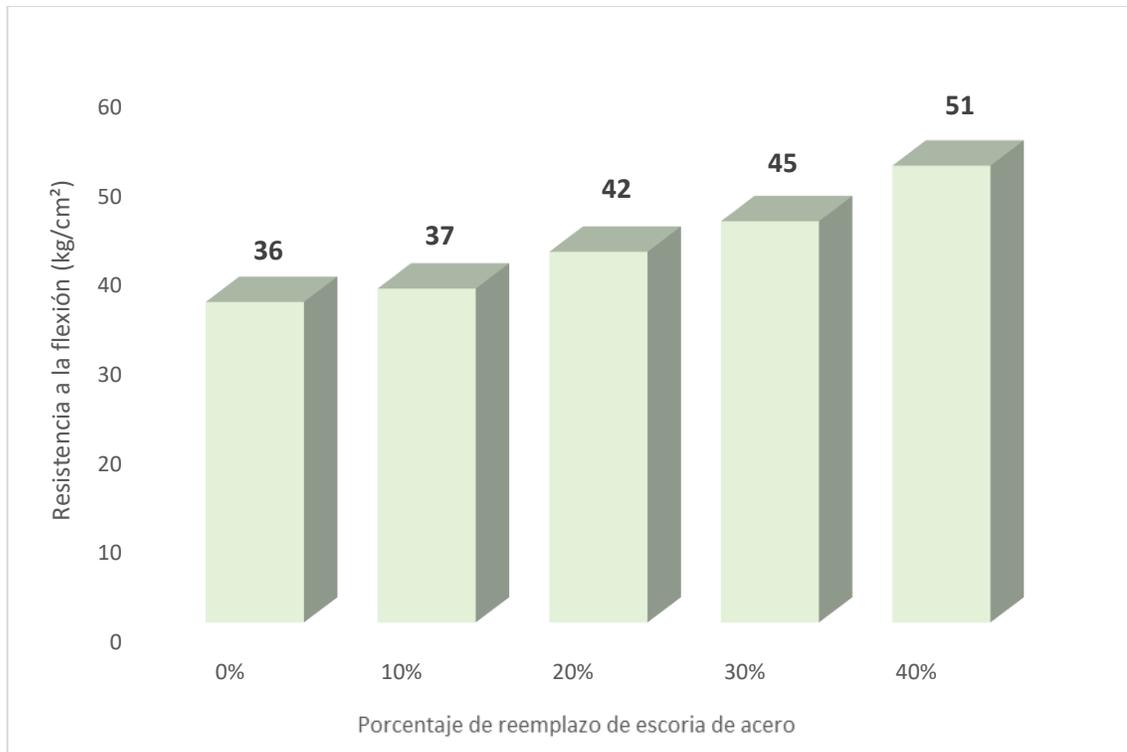


Figura N° 21: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 7 días.  
Fuente: Álvarez & Lozano (2021)

Tabla N° 36:  
Incremento de resistencia a la flexión a los 28 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	3
20	17
30	25
40	42

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 22, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 14 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la flexión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 7%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 13%, en el porcentaje de sustitución de 30% el

incremento fue de 20% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 35%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

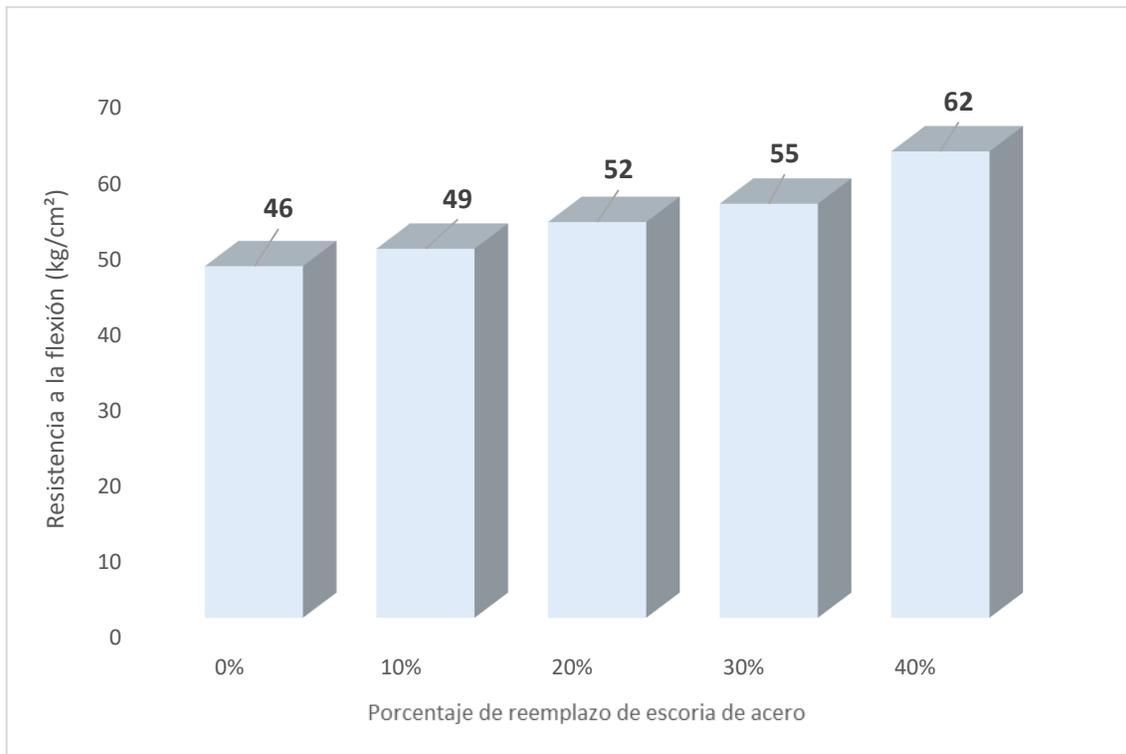


Figura N° 22: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 14 días.

Fuente: Álvarez & Lozano (2021)

Tabla N° 37:

Incremento de resistencia a la flexión a los 14 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)	
10	7	
20	13	
30	20	
40	35	

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 23, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la flexión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 3%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 9%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento

fue de 14% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 24%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

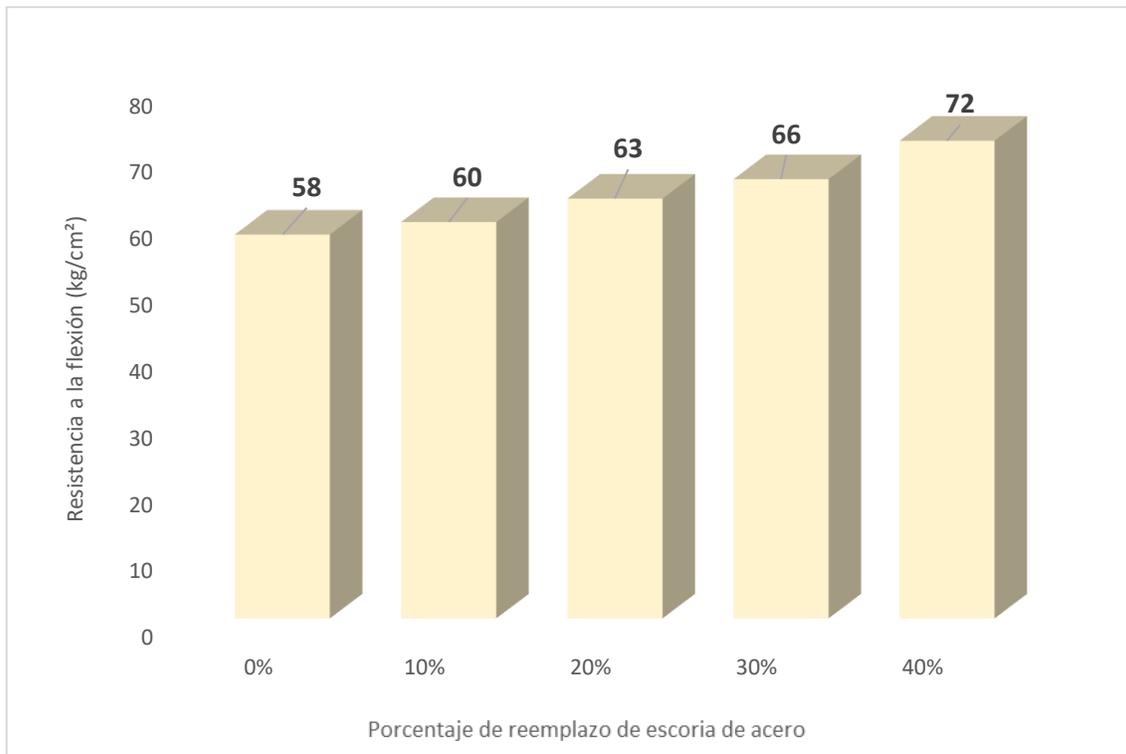


Figura N° 23: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 28 días.  
Fuente: Álvarez & Lozano (2021)

Tabla N° 38:  
Incremento de resistencia a la flexión a los 28 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	3
20	9
30	14
40	24

Fuente: Elaboración propia

Referencia 2: Investigación sobre el comportamiento del hormigón de alto volumen de cenizas volantes fabricado con árido fino sustituido por escoria de acería (Raikar et al, 2020).

En la Tabla N° 39 nos muestra los resultados de la resistencia a la flexión en los ensayos realizados a las probetas sin escoria y con diferentes porcentajes de escoria de acero 10%, 20% 30% y 40% a los 7, 14 y 28 días de (Ver tabla N° 36)

Tabla N° 39:  
Resultados de ensayos de resistencia a la flexión para diferentes porcentajes de escoria de acero

Tipo de concreto	Tiempo de curado (días)	Resistencia a la flexión
0	7	47
	14	52
	28	60
10	7	51
	14	54
	28	62
20	7	56
	14	58
	28	63
30	7	64
	14	66
	28	69
40	7	39
	14	47
	28	63

Fuente: Raikar, et al (2020)

En la Figura N° 24, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 7 días de curado, se observa que desde el 10% de sustitución se va incrementando la resistencia a la flexión hasta llegar al 30% luego se reduce en el 40% hasta ser incluso menor a la resistencia del diseño patrón, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 9%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 19%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 36% y en el porcentaje de sustitución de 40% la resistencia se redujo un 17% , siendo el 30% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

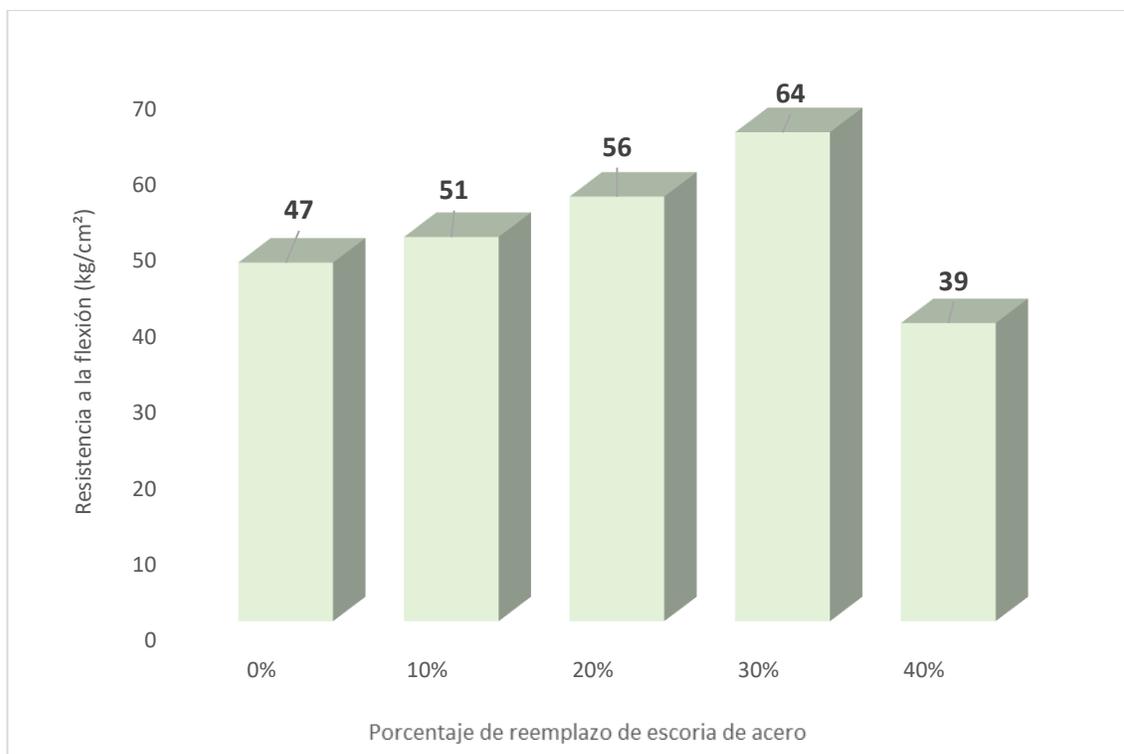


Figura N° 24: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 7 días.  
Fuente: Raikar, et al (2020)

Tabla N° 40:  
Incremento de resistencia a la flexión a los 7 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	9
20	19
30	36
40	-17

Fuente: Raikar, et al (2020)

En la Figura N° 25, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 14 días de curado, se observa que desde el 10% de sustitución se va incrementando la resistencia a la flexión hasta llegar al 30% luego se reduce en el 40% hasta ser incluso menor a la resistencia del diseño patrón, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 4%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 12%, en el porcentaje de sustitución de

30% el incremento fue de 27% y en el porcentaje de sustitución de 40% la resistencia se redujo un 10% , siendo el 30% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

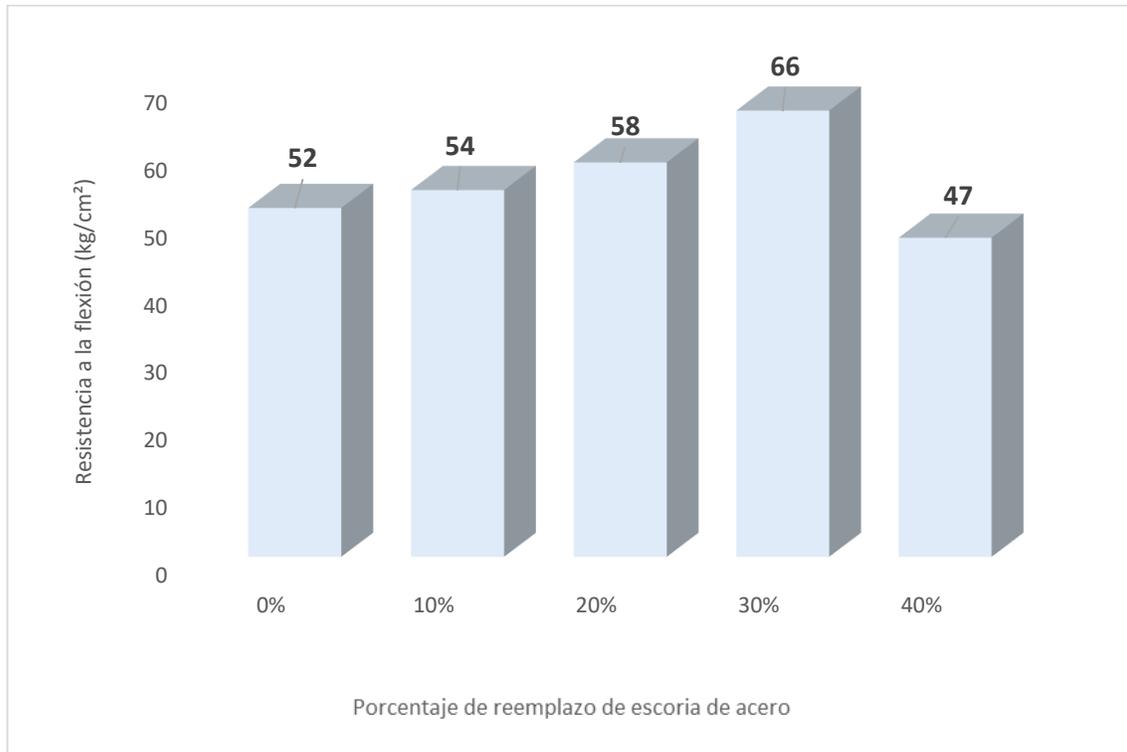


Figura N° 25: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 14 días.  
Fuente: Raikar, et al (2020)

Tabla N° 41:  
Incremento de resistencia a la flexión a los 14 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	4
20	12
30	27
40	-10

Fuente: Raikar, et al (2020)

En la Figura N° 26, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa la tendencia sigue igual a la de los 7 y 14 días porque igualmente esta va incrementando la resistencia a la flexión desde el 10% hasta el

30% siendo esta su máximo y al 40% empieza a decaer la resistencia, sin embargo el resultado de este último porcentaje de sustitución es aún mayor con respecto al diseño patrón, tendencia diferente a los resultados de los 7 y 14 días de curado, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 3%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 5%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 15% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 5%, siendo el 30% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

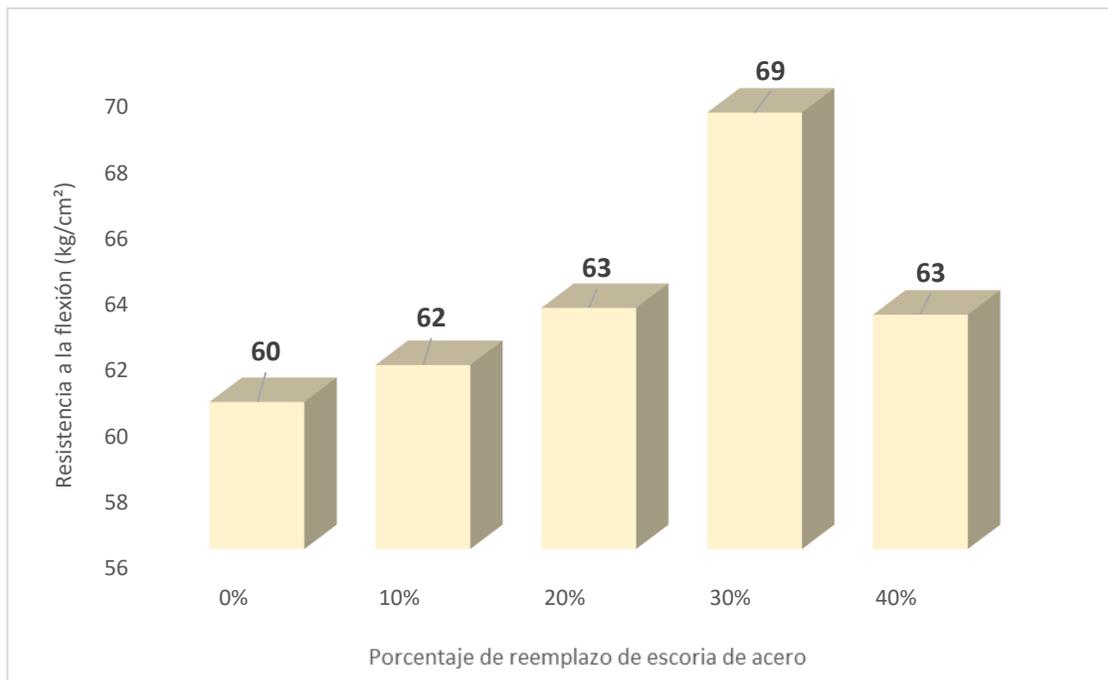


Figura N° 26: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 28 días  
Fuente: Raikar, et al (2020)

Tabla N° 42:  
Incremento de resistencia a la flexión los 28 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	3
20	5
30	15
40	5

Fuente: Raikar, et al (2020)

Referencia 3: investigación sobre el comportamiento del hormigón de alto volumen de cenizas volantes fabricado con árido fino sustituido por escoria de acería.

Naveen, et al (2020)

En la Tabla N° 43, nos muestra los resultados de la resistencia a la flexión en los ensayos realizados a las probetas sin escoria y con diferentes porcentajes de escoria de acero 10%, 20% 30% y 40% a los 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla N° 43:

Resultados de ensayos de resistencia a la flexión para diferentes porcentajes de escoria de acero

Tipo de concreto	Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	7	33
	14	41
	28	46
10	7	33
	14	41
	28	46
20	7	34
	14	42
	28	47
30	7	34
	14	42
	28	47
40	7	35
	14	43
	28	48

Fuente: Naveen et al (2020)

En la Figura N° 27, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 7 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la flexión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de

resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 1%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 2%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 4% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 6%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

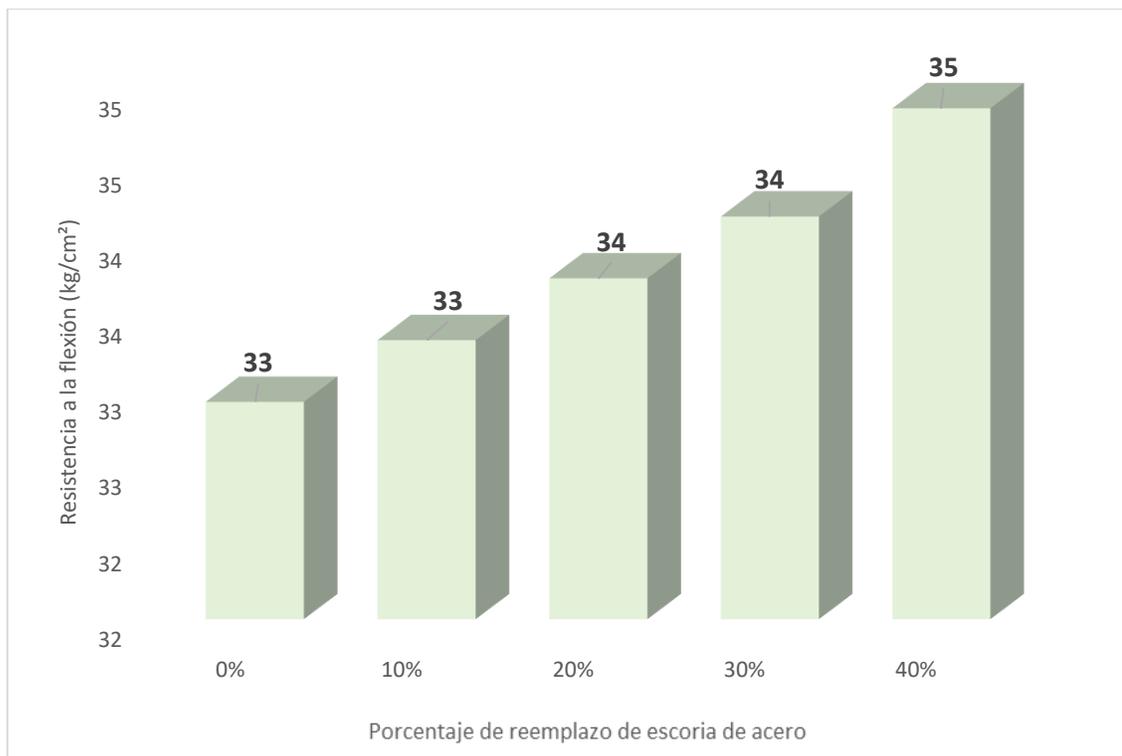


Figura N° 27: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 7 días  
Fuente: Naveen et al (2020)

Tabla N° 44:  
Incremento de resistencia a la a los 7 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	1
20	2
30	4
40	6

Fuente: Naveen, et al (2020)

En la Figura N° 28, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 14 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando

la resistencia a la flexión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 1%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 3%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 4% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 6%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

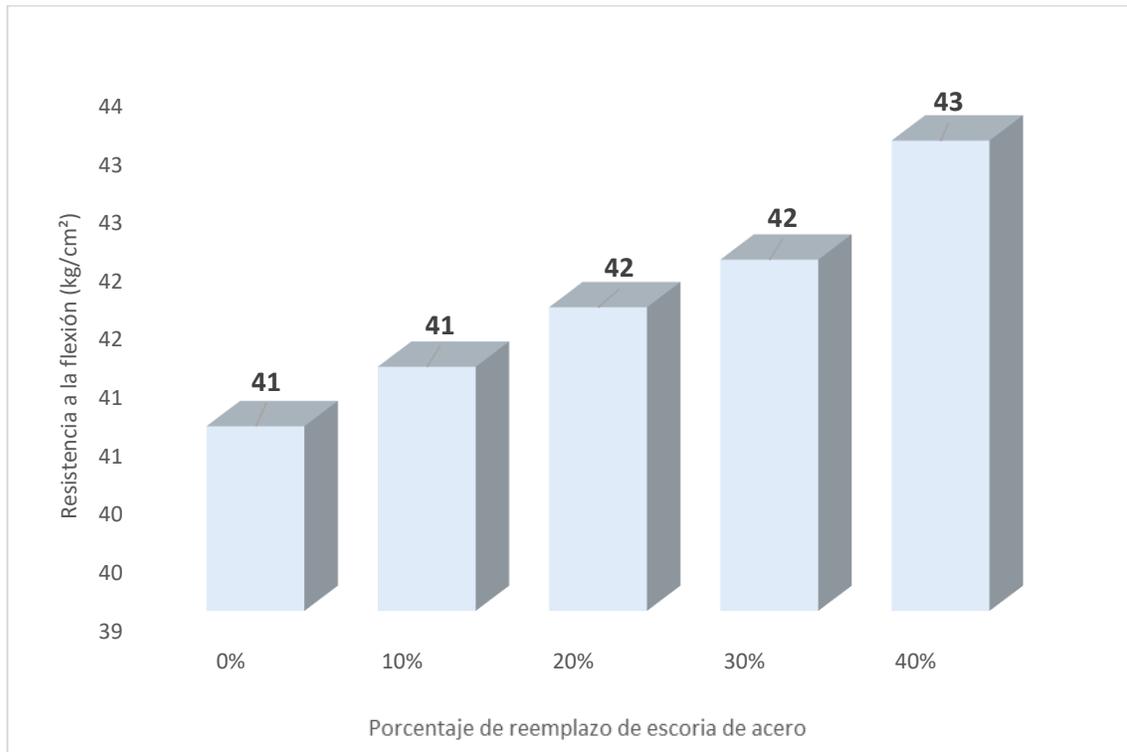


Figura N° 28: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 14 días  
Fuente: Naveen et al (2020)

Tabla N° 45:  
Incremento de resistencia a la flexión a los 14 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)	
10	1	
20	3	
30	4	
40	6	

Fuente: Naveen, et al (2020)

En la Figura N° 29, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la flexión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 1%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 2%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 4% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 6%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

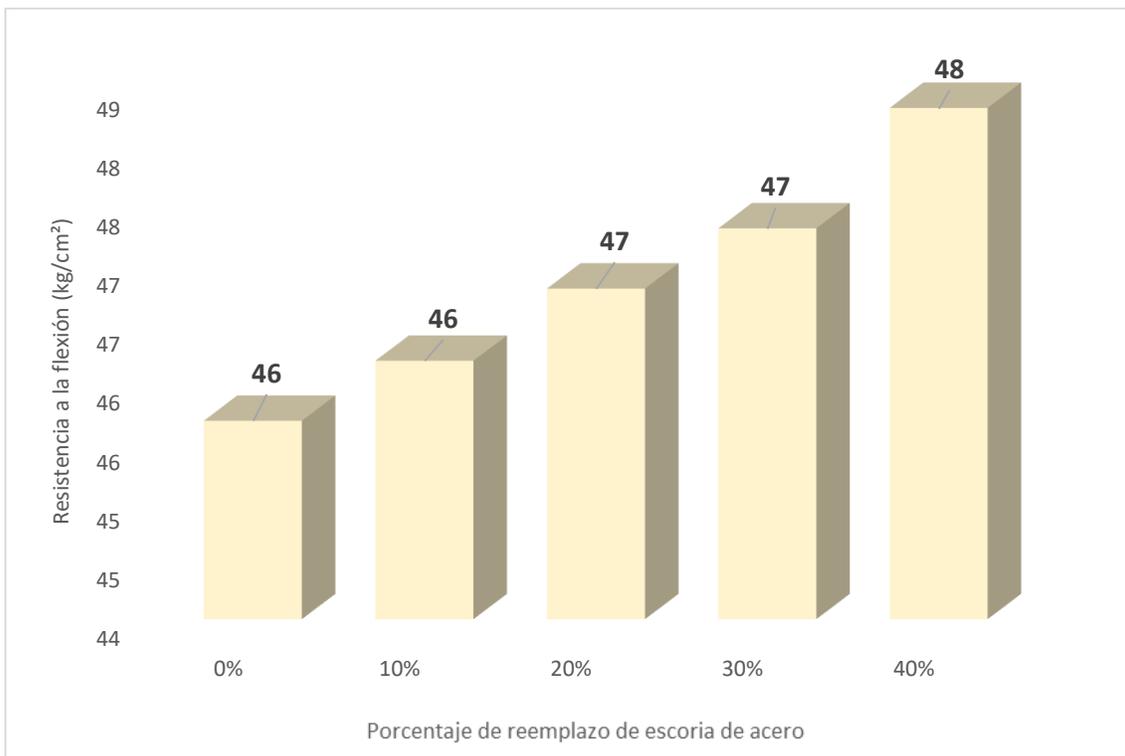


Figura N° 29: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 28 días  
Fuente: Naveen et al (2020)

Tabla N° 46:  
Incremento de resistencia a la flexión a los 28 días de curado

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)	
10	1	
20	2	
30	4	
40	6	

Fuente: Naveen, et al (2020)

Referencia 4: Reemplazo parcial de agregado fino usando acero. Desai, et al (2018)

En la Tabla N° 47, nos muestra los resultados de la resistencia a la flexión en los ensayos realizados a las probetas sin escoria y con diferentes porcentajes de escoria de acero 10%, 20% 30% y 40% a los 7, 14 y 28 días de curado

Tabla N° 47

Resultados de ensayos de resistencia a la flexión para diferentes porcentajes de escoria de acero

Porcentaje de sustitución de escoria de acero (%)	Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
0	7	30
	14	43
	28	48
10	7	35
	14	50
	28	56
20	7	39
	14	53
	28	58
30	7	37
	14	52
	28	57
40	7	42
	14	56
	28	61

Fuente: Desai, et al (2018)

En la Figura N° 30, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 7 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la flexión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 17%, en el porcentaje de

sustitución de 20% el incremento fue de 30%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 23% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 40%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

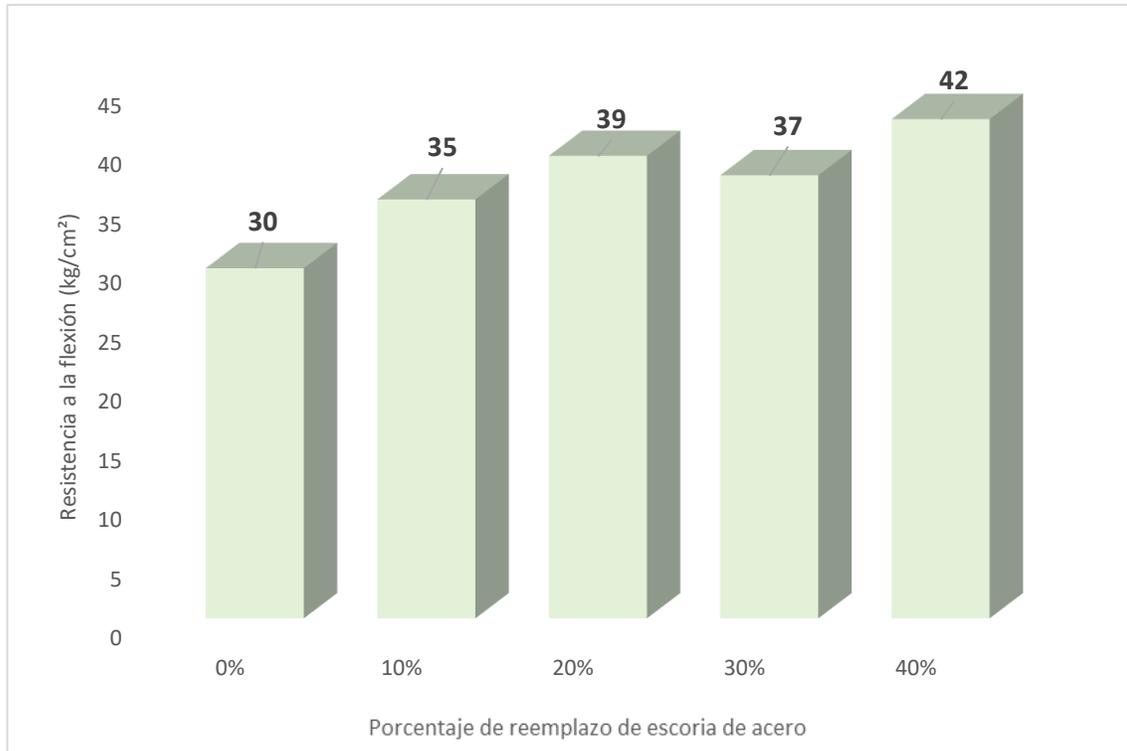


Figura N° 30: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 7 días  
Fuente: Desai et al (2020)

Tabla N° 48:  
Incremento de resistencia a la flexión a los 7 días de curado

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	17
20	30
30	23
40	40

Fuente: Desai, et al (2018)

En la Figura N° 31, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 14 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la flexión, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 16%, en el porcentaje de

sustitución de 20% el incremento fue de 23%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 21% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 30%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño

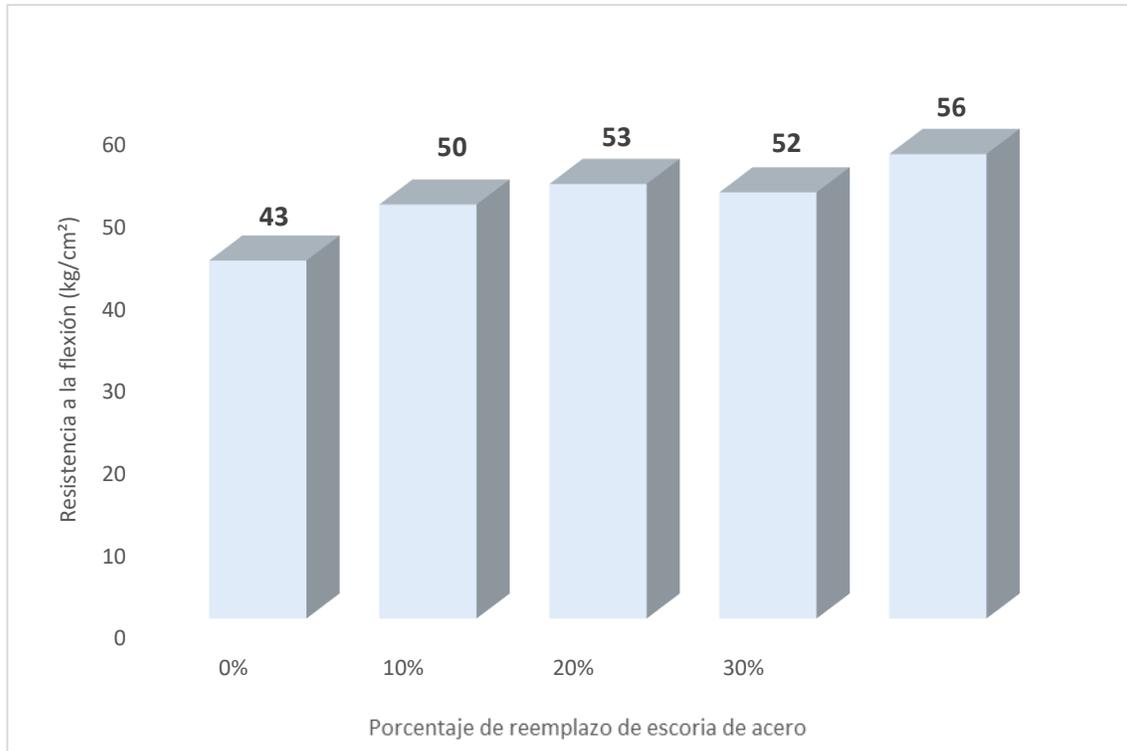


Figura N° 31: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 14 días  
Fuente: Desai et al (2020)

Tabla N° 49:  
Incremento de resistencia a la flexión a los 14 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	16
20	23
30	21
40	30

Fuente: Desai, et al (2018)

En la Figura N° 32 , se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la flexión, en el porcentaje de sustitución de 10% el

incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 17%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 21%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 19% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 27%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño

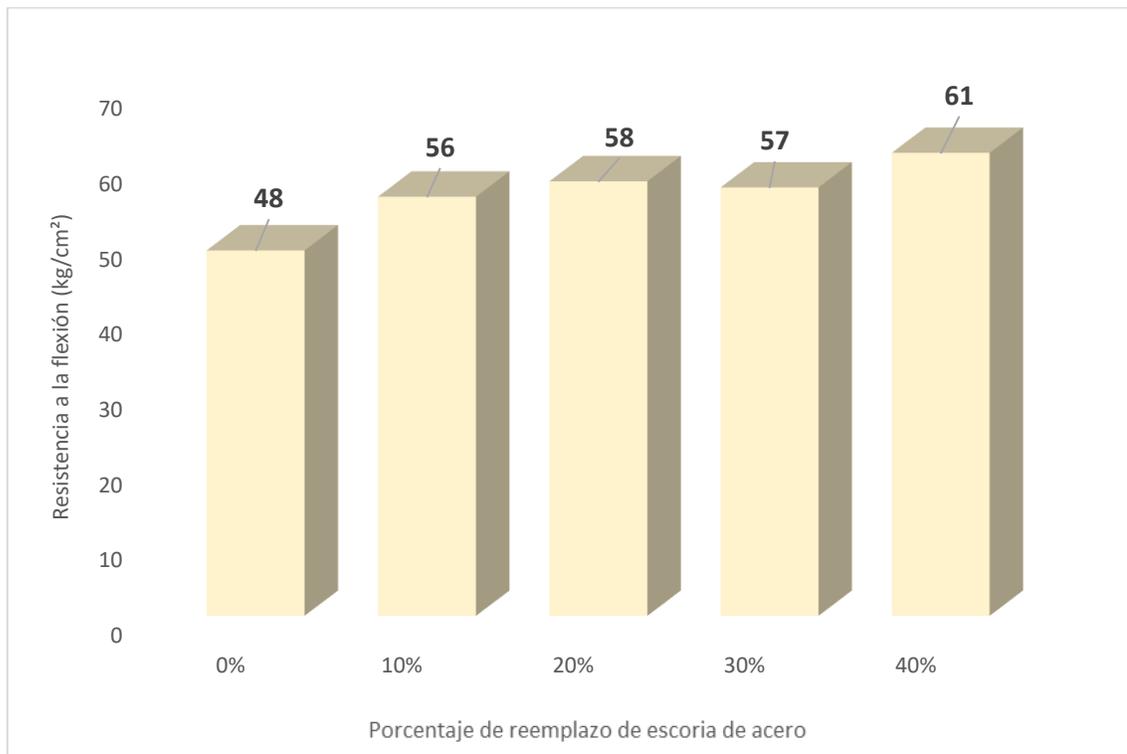


Figura N° 32: Resistencia a la flexión vs días de curado a los 28 días  
Fuente: Desai et al (2020)

Tabla N° 50:

Incremento de resistencia a la flexión a los 28 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	17
20	21
30	19
40	27

Fuente: Desai, et al (2018)

5.1.4. Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la resistencia a la tracción.

Referencia 1: Un estudio experimental sobre reemplazo parcial de agregado fino usando escoria de acero (Mahalingam, et al, 2018).

En la Tabla N° 51 Tabla N° 51, nos muestra los resultados de la resistencia a la tracción en los ensayos realizados a las probetas sin escoria y con diferentes porcentajes de escoria de acero 10%, 20% 30% y 40% a los 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla N° 51

Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para diferentes porcentajes de escoria de acero

Porcentaje de sustitución de escoria de acero (%)	Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	7	22
	14	26
	28	37
10	7	23
	14	29
	28	38
20	7	24
	14	31
	28	38
30	7	25
	14	32
	28	38
40	7	27
	14	37
	28	39

Fuente: Mahalingam, et al (2018)

En la Figura N° 33, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 7 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la tracción, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 5%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 9%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 14% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 23%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño

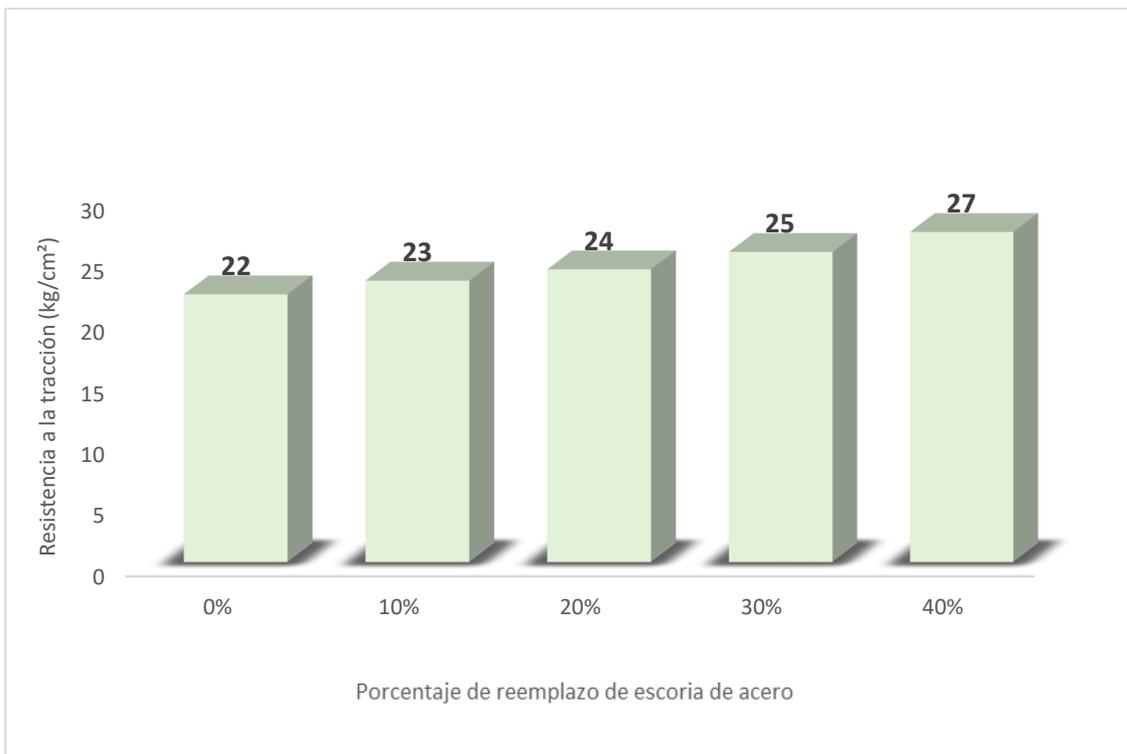


Figura N° 33: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 7 días  
Fuente: Mahalingam, et al (2020)

Tabla N° 52:

Incremento de resistencia a la tracción a los 7 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	5
20	9
30	14
40	23

Fuente: Mahalingam, et al (2018)

En la Figura N° 34, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 14 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la tracción, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 12%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 19%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 23% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 42%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño.

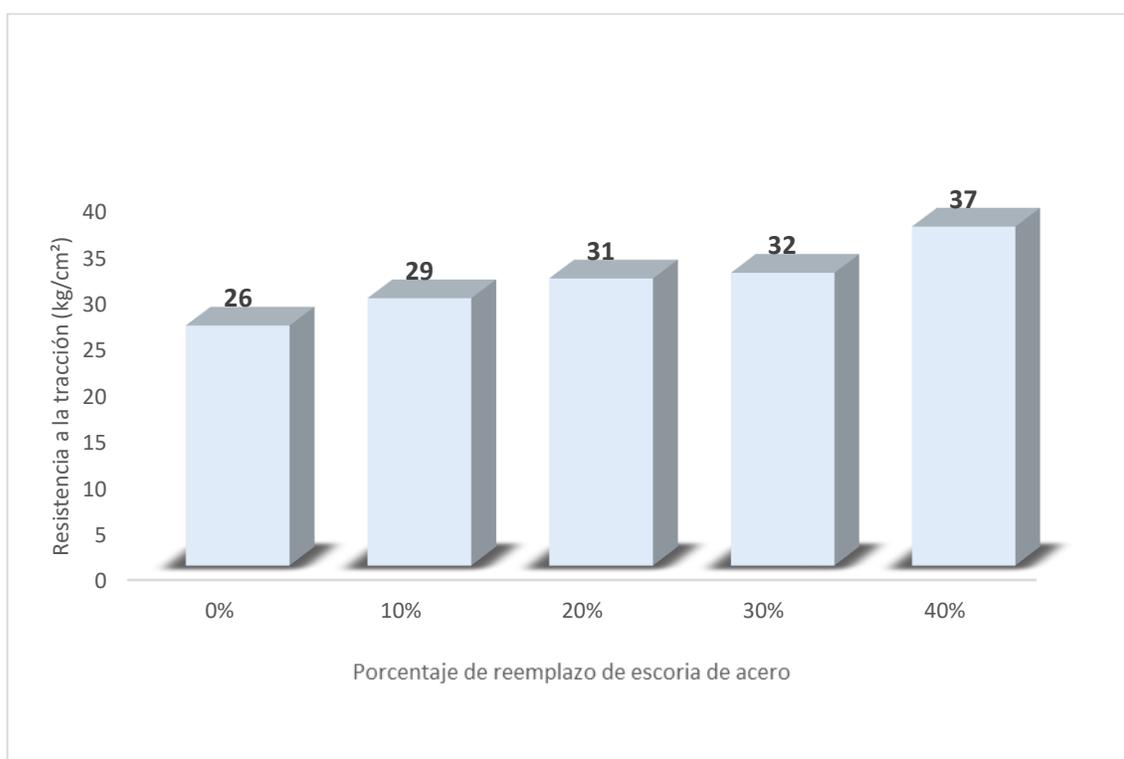


Figura N° 34: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 14 días

Fuente: Mahalingam et al (2020)

Tabla N° 53:

Incremento de resistencia a la tracción a los 14 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	12
20	19
30	23

Fuente: Mahalingam, et al (2018)

En la Figura N° 35, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la tracción, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 1%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 3%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 2% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 5%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño

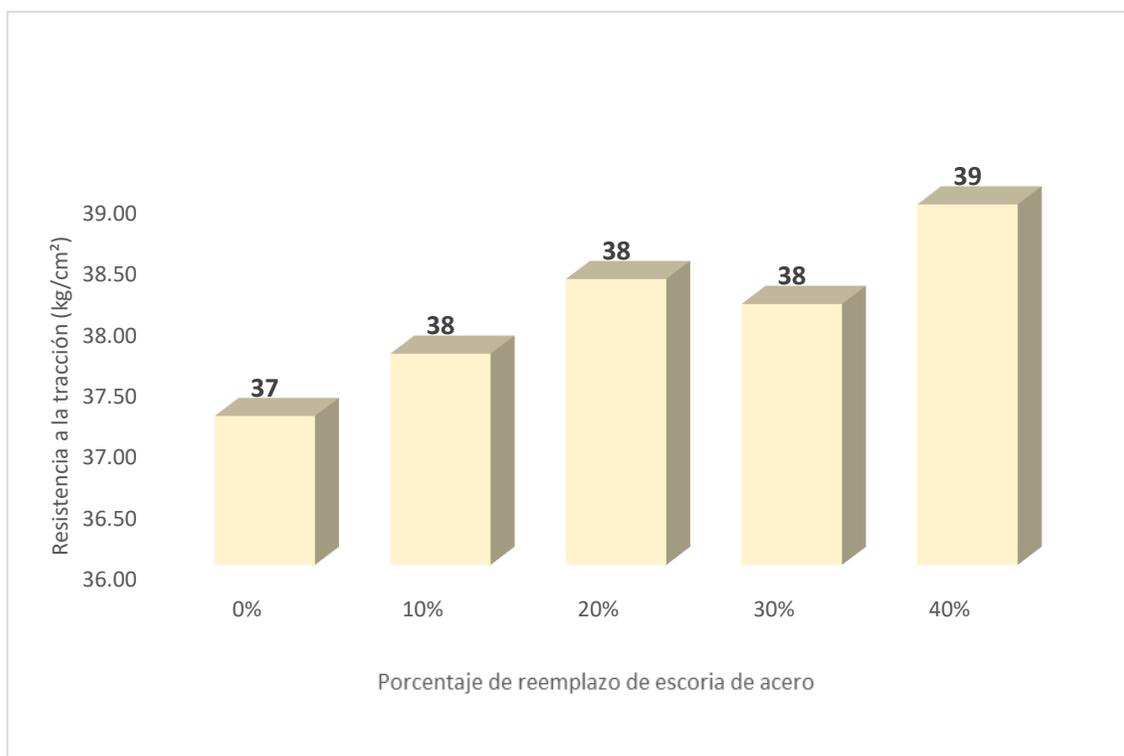


Figura N° 35: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 28 días

Fuente: Mahalingam et al (2020)

Tabla N° 54:

Incremento de resistencia a la tracción a los 28 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	1

20	3
30	2
40	5

Fuente: Mahalingam, et al (2018)

Referencia 2: Uso de Escoria de Acero en Concreto como Agregado Fino (Chandini, 2017).

En la Tabla N° 55, nos muestra los resultados de la resistencia a la tracción en los ensayos realizados a las probetas sin escoria y con diferentes porcentajes de escoria de acero 10%, 20% 30% y 40% a los 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla N° 55

Resultados de ensayos de resistencia a la tracción para diferentes porcentajes de escoria de acero

Porcentaje de sustitución de escoria de acero (%)	Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	7	12.44
	14	14.75
	28	19.37
10	7	18.35
	14	23.52
	28	33.85
20	7	25.49
	14	31.27
	28	42.83
30	7	35.18
	14	38.75
	28	45.89
40	7	35.69
	14	39.16
	28	46.04

Fuente: Chandini, R. (2018)

En la Figura N° 36, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la tracción, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 50%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 108%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 192% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 200%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño

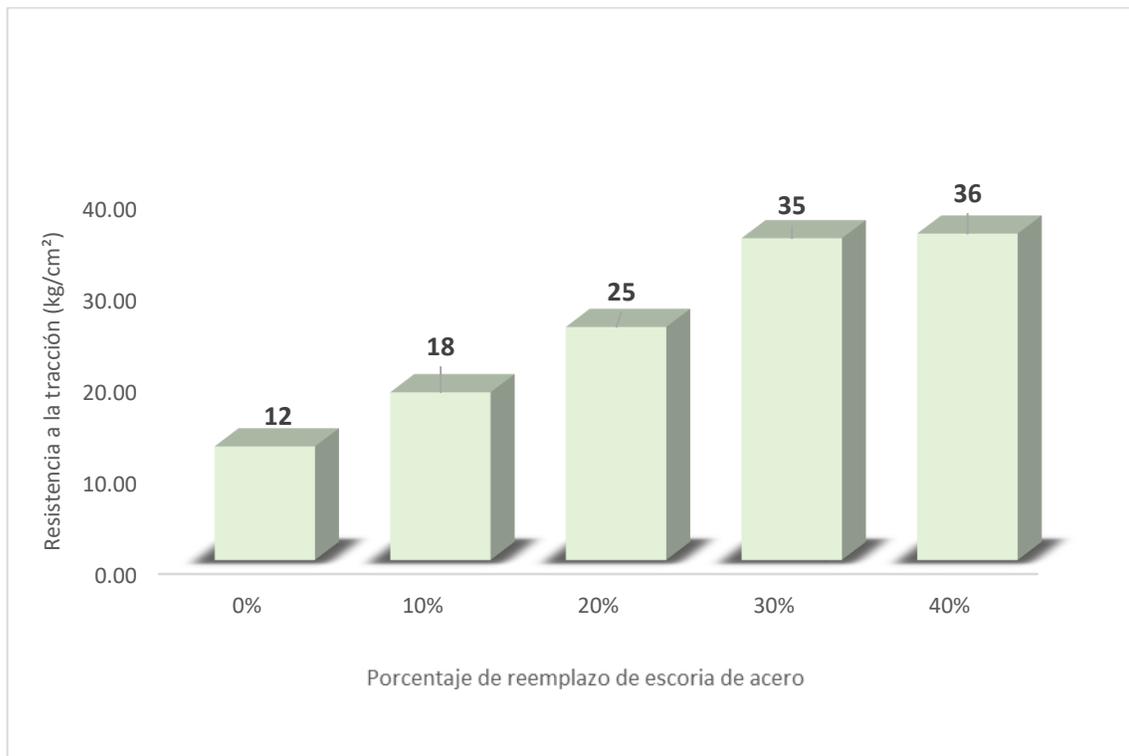


Figura N° 36: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 7 días  
Fuente: Chandini, R. (2018)

Tabla N° 56:  
Incremento de resistencia a la tracción a los 7 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	50
20	108
30	192

Fuente: Chandini, R. (2018)

En la Figura N° 37, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la tracción, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 60%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 107%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 158% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 161%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño

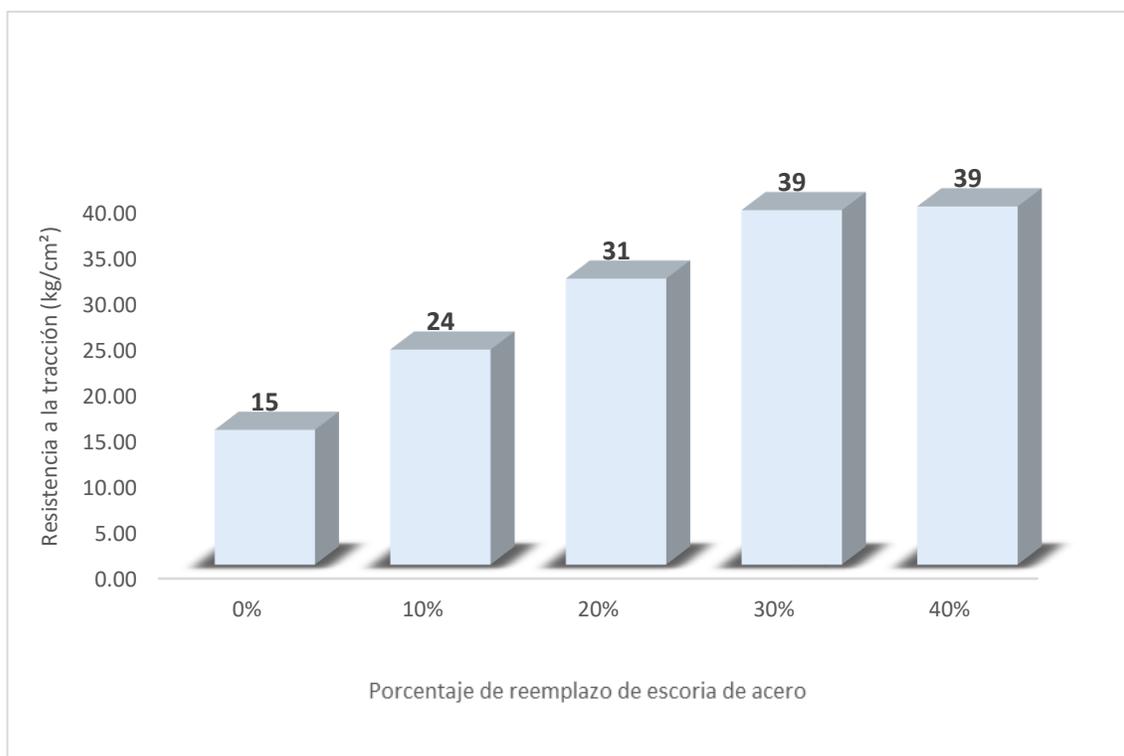


Figura N° 37: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 14 días

Fuente: Chandini, R. (2018)

Tabla N° 57:

Incremento de resistencia a la tracción a los 14 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	60
20	107

30

158

40

161

Fuente: Chandini, R. (2018)

En la Figura N° 38, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la tracción, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 75%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 122%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 137% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 138%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño

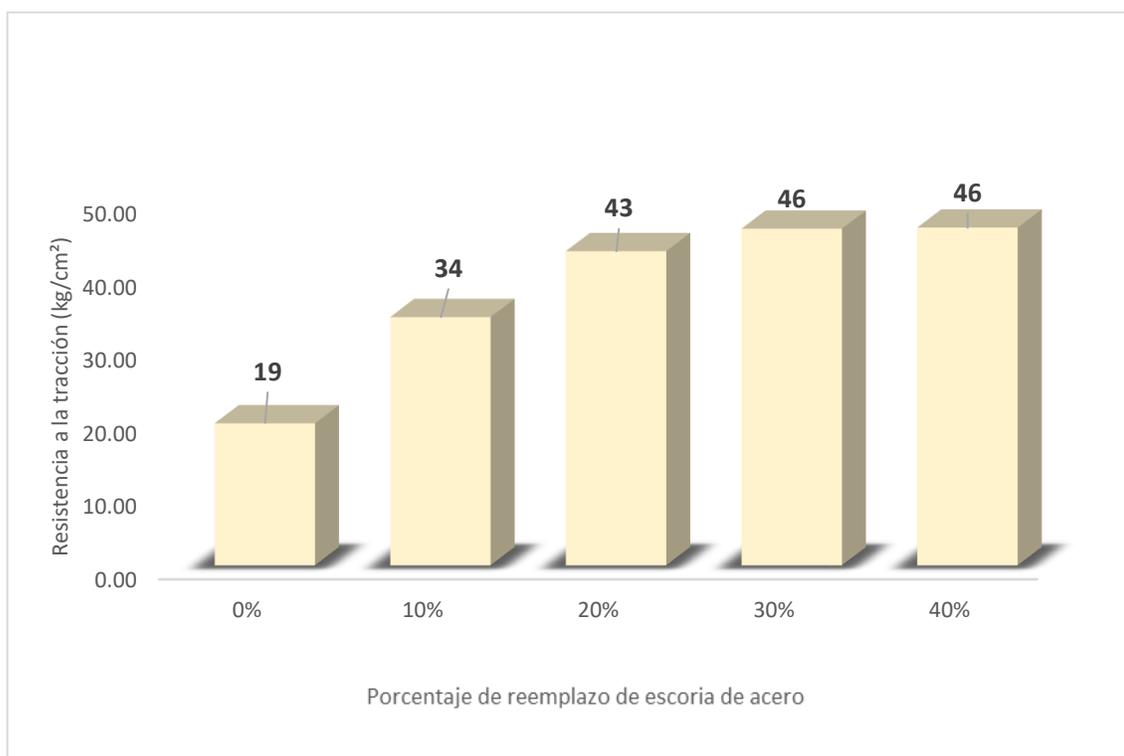


Figura N° 38: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 28 días

Fuente: Chandini, R. (2018)

Tabla N° 58:

Incremento de resistencia a la tracción a los 28 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	75

20	122
30	137
40	138

Fuente: Chandini, R. (2018)

Referencia 3: Investigación sobre el comportamiento del hormigón de alto volumen de cenizas volantes fabricado con árido fino sustituido por escoria de acería (Naveen, et al, 2020)

En la Tabla N° 59, nos muestra los resultados de la resistencia a la tracción en los ensayos realizados a las probetas sin escoria y con diferentes porcentajes de escoria de acero 10%, 20% 30% y 40% a los 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla N° 59

Resultados de ensayos de resistencia a la tracción para diferentes porcentajes de escoria de acero

Porcentaje de sustitución de escoria de acero (%)	Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	7	26
	14	32
	28	36
10	7	26
	14	32
	28	36
20	7	26
	14	33
	28	37
30	7	27
	14	33
	28	37
40	7	27
	14	34
	28	38

Fuente: Naveen, et al (2020)

En la Figura N° 39, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la tracción, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 1%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 3%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 4% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 6%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño

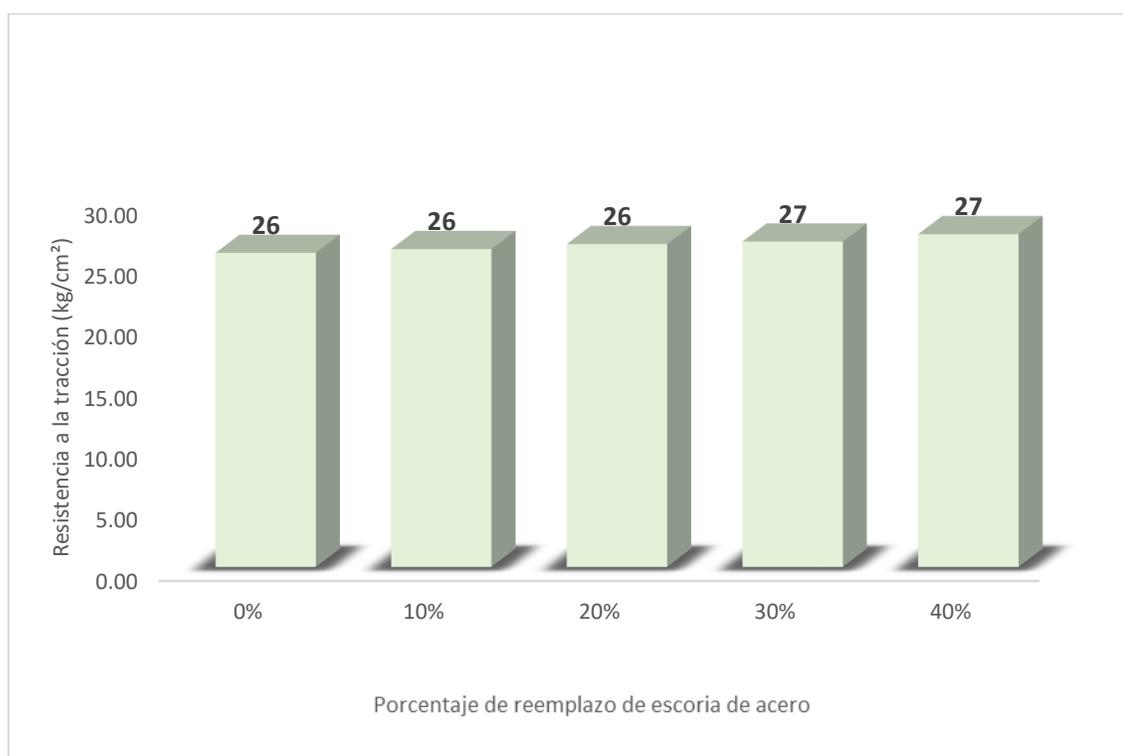


Figura N° 39: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 7 días  
Fuente: Naveen, et al (2020)

Tabla N° 60:  
Incremento de resistencia a la tracción a los 7 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	1
20	3
30	4
40	6

Fuente: Naveen, et al (2020)

En la Figura N° 40, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la tracción, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 1%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 3%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 4% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 6%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño

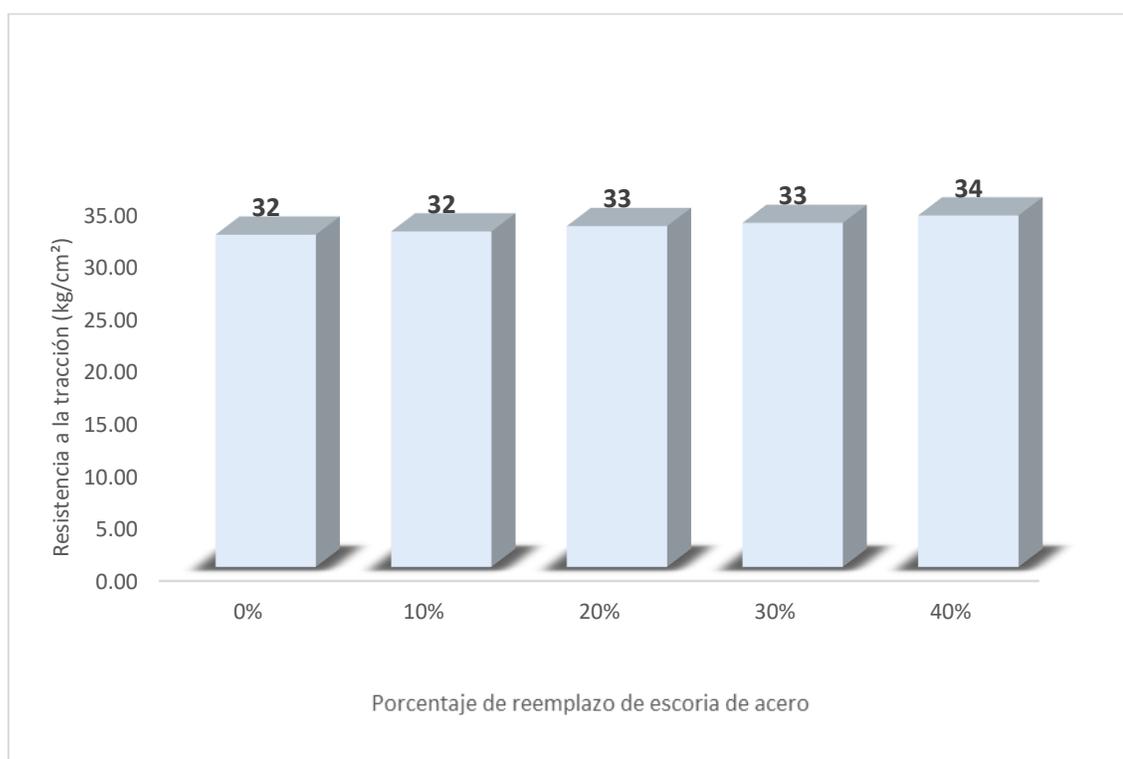


Figura N° 40: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 14 días  
Fuente: Naveen, et al (2020)

Tabla N° 61:  
Incremento de resistencia a la tracción a los 14 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	1
20	3
30	4

Fuente: Naveen, et al (2020)

En la Figura N° 41, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que en todos los porcentajes de sustitución se va incrementando la resistencia a la tracción, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 1%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 3%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 5% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 6%.

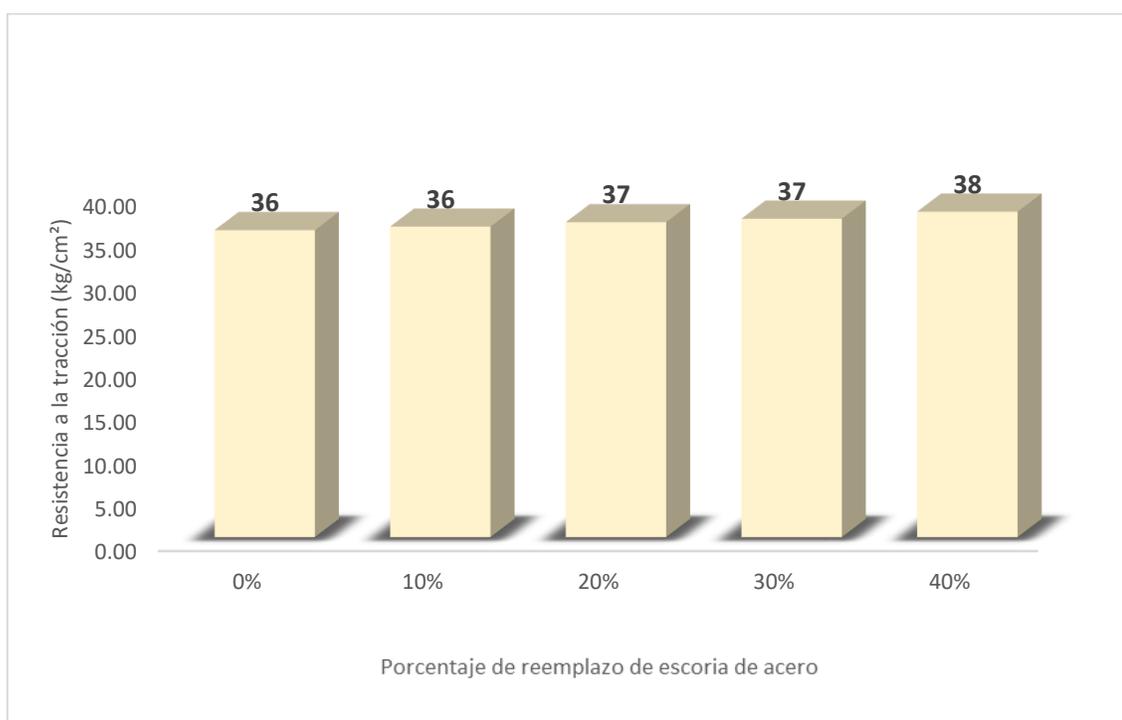


Figura N° 41: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 28 días

Fuente: Naveen, et al (2020)

Tabla N° 62:

Incremento de resistencia a la tracción a los 14 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	1
20	3
30	4

Fuente: Naveen, et al (2020)

Referencia 4: Un estudio experimental sobre reemplazo parcial de agregado fino usando escoria de acero (Raikar, et al, 2018).

En la Tabla N° 63, nos muestra los resultados de la resistencia a la tracción en los ensayos realizados a las probetas sin escoria y con diferentes porcentajes de escoria de acero 10%, 20% 30% y 40% a los 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla N° 63:

Resultados de ensayos de resistencia a la tracción para diferentes porcentajes de escoria de acero

Porcentaje de sustitución (%)	Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	7	23
	14	24
	28	28
10	7	31
	14	32
	28	33
20	7	35
	14	37
	28	39
30	7	38
	14	40
	28	44
40	7	26
	14	28
	28	32

Fuente: Raikar, et al (2018)

En la Figura N° 42, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 7 días de curado, se observa que se va incrementando la resistencia a la tracción desde los 10% hasta los 30% sin embargo al 40% se reduce la resistencia , en el porcentaje de

sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 35%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 52%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 65% y en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 13%, siendo el 30% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño

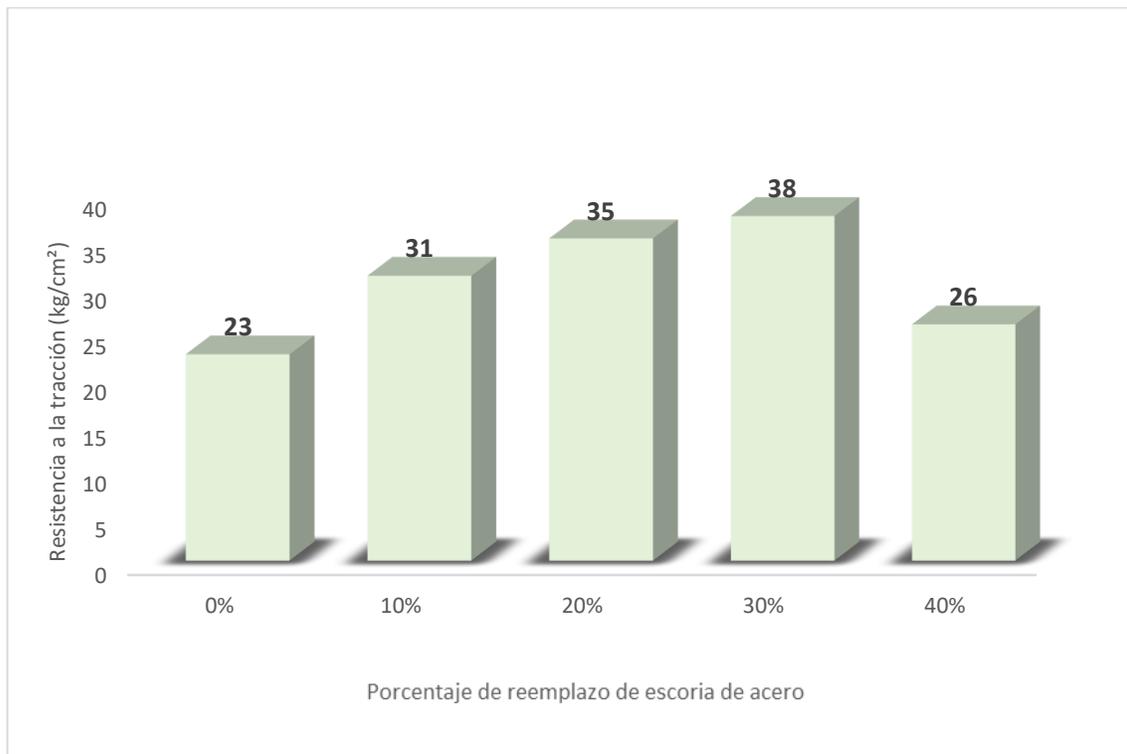


Figura N° 42: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 7 días  
Fuente: Raikar, et al (2018)

Tabla N° 64:  
Incremento de resistencia a la tracción a los 7 días de curado.

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia con respecto al diseño patrón (%)
10	35
20	52
30	65
40	13

Fuente: Raikar, et al (2018)

En la Figura N° 43, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 14 días de curado, se observa que se va incrementando la resistencia a la tracción desde los 10% hasta los 30% sin embargo al 40% se reduce la resistencia, en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 33%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 54%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 67% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 17%, siendo el 30% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño

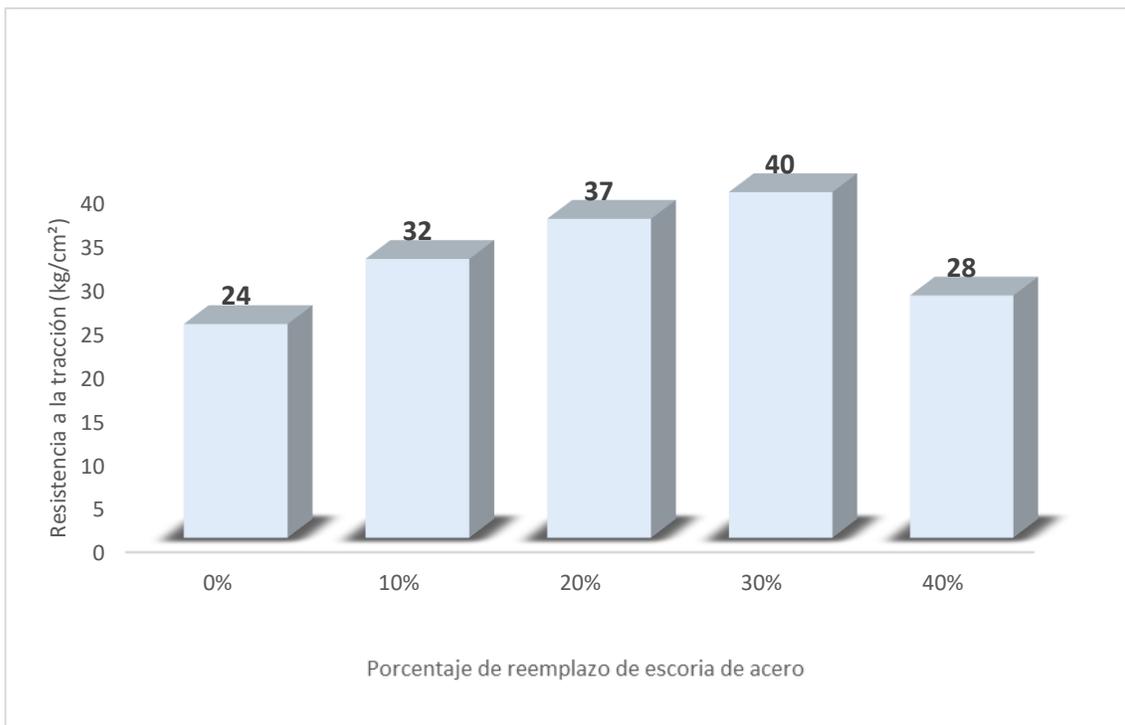


Figura N° 43: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 14 días  
Fuente: Naveen, et al (2020)

Tabla N° 65:

Incremento de resistencia a la tracción a diferentes porcentajes de sustitución con respecto al diseño patrón a los 14 días de curado

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia (%)
10	33
20	54
30	67
40	17

Fuente: Raikar, et al (2018)

En la Figura N° 44, se muestran los porcentajes de sustitución estudiados a los 28 días de curado, se observa que se va incrementando la resistencia a la tracción desde los 10% hasta los 30% sin embargo al 40% se reduce la resistencia , en el porcentaje de sustitución de 10% el incremento de resistencia con respecto al diseño patrón fue de un 18%, en el porcentaje de sustitución de 20% el incremento fue de 39%, en el porcentaje de sustitución de 30% el incremento fue de 57% y en el porcentaje de sustitución de 40% el incremento fue de 14%, siendo el 30% el porcentaje de sustitución con mayor desempeño

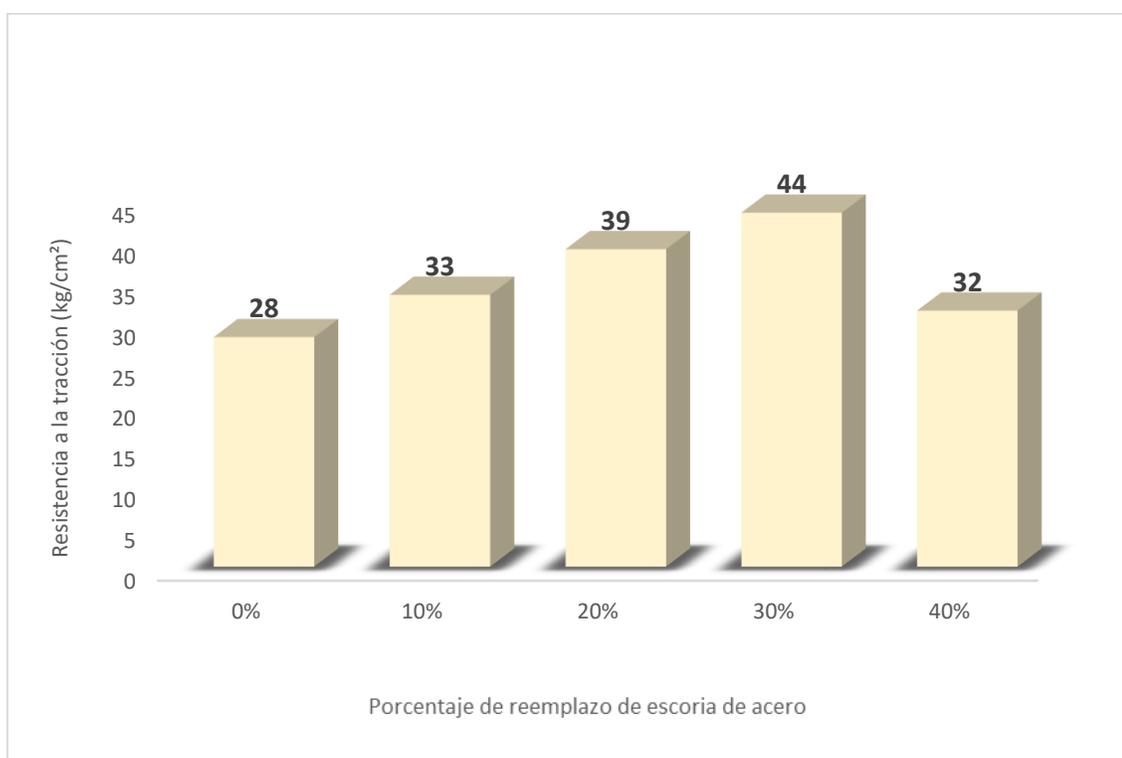


Figura N° 44: Resistencia a la tracción vs días de curado a los 28 días  
Fuente: Naveen, et al (2020)

Tabla N° 66:

Incremento de resistencia a la tracción a diferentes porcentajes de sustitución con respecto al diseño patrón a los 28 días de curado

Porcentaje de sustitución (%)	Incremento de resistencia (%)
10	18
20	39

30  
40

57  
14

Fuente: Raikar, et al (2018)

## 5.2. Constatación de Hipótesis

5.2.1. Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la trabajabilidad del hormigón.

En la Figura N° 45, se observan los resultados de trabajabilidad para diferentes autores, a diferentes porcentajes de escoria de acero.

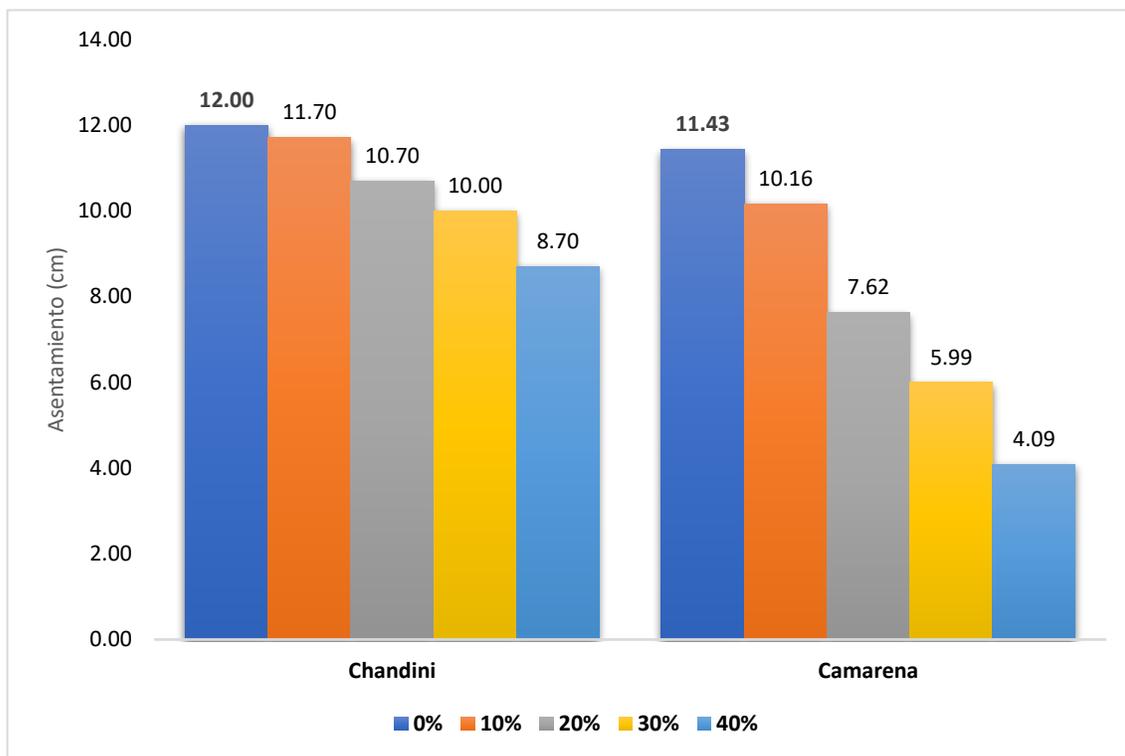


Figura N° 45: Resultados de trabajabilidad para diferentes autores.  
Fuente: Elaboración propia

La trabajabilidad se va reduciendo mientras más se aumente el porcentaje de sustitución, lo que llevaría a que la hipótesis es nula. Esta reducción de trabajabilidad se debe a que la escoria de acero tiene un porcentaje de absorción mayor que el agregado fino, como evidencia la Tabla N° 4, además en la Tabla N° 13 del autor Dong et al (2020) menciona que el rango de porcentaje de absorción de la escoria de

acero es de 0.6-3.1% y que esta puede llegar a ser el doble hasta el triple del agregado, por último la escoria de acero tiene una alta angularidad y una textura rugosa lo que también hace que se disminuye la trabajabilidad, ellos según los autores Chandini (2017) y Dong et al,(2020).

5.2.2. Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la resistencia a la compresión del hormigón

En la Figura N° 46, Figura N° 47, Figura N° 48 se observan los resultados de la resistencia a la compresión para 7, 14, y 28 días de curado respectivamente para diferentes autores y a diferentes porcentajes de escoria de acero.

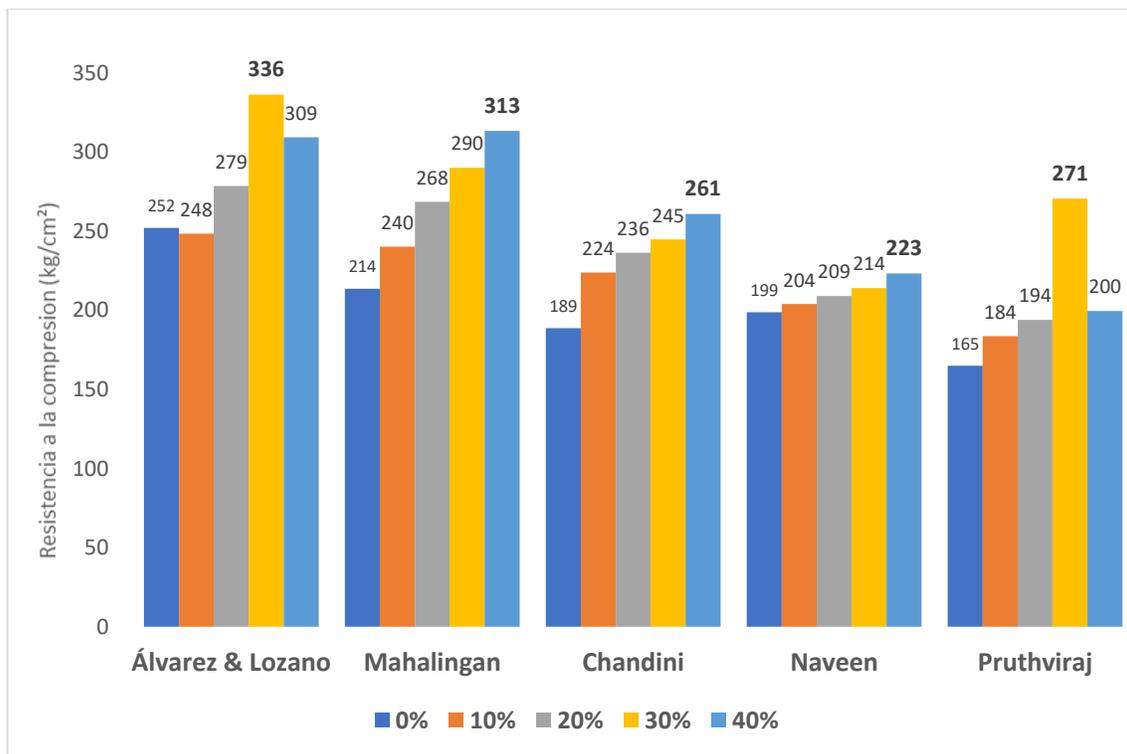


Figura N° 46: Resultados de resistencia a la compresión a los 7 días de curado para diferentes autores  
Fuente: Elaboración propia

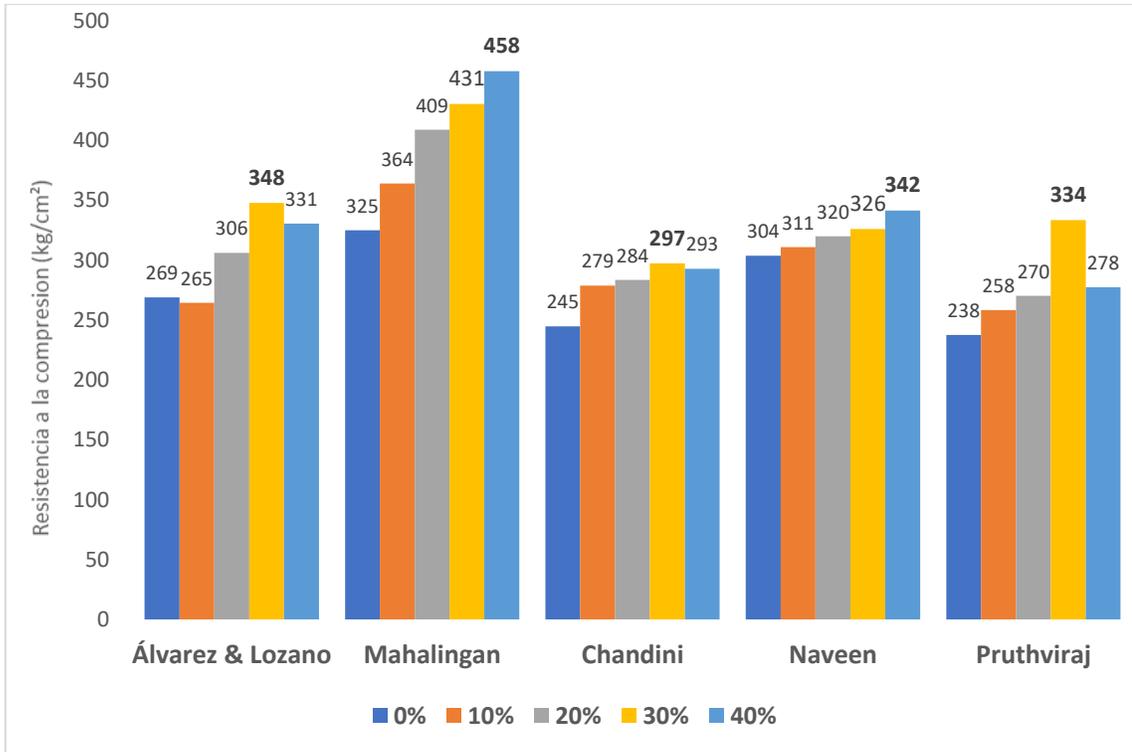


Figura N° 47: Resultados de resistencia a la compresión a los 14 días de curado para diferentes autores  
Fuente: Elaboración propia

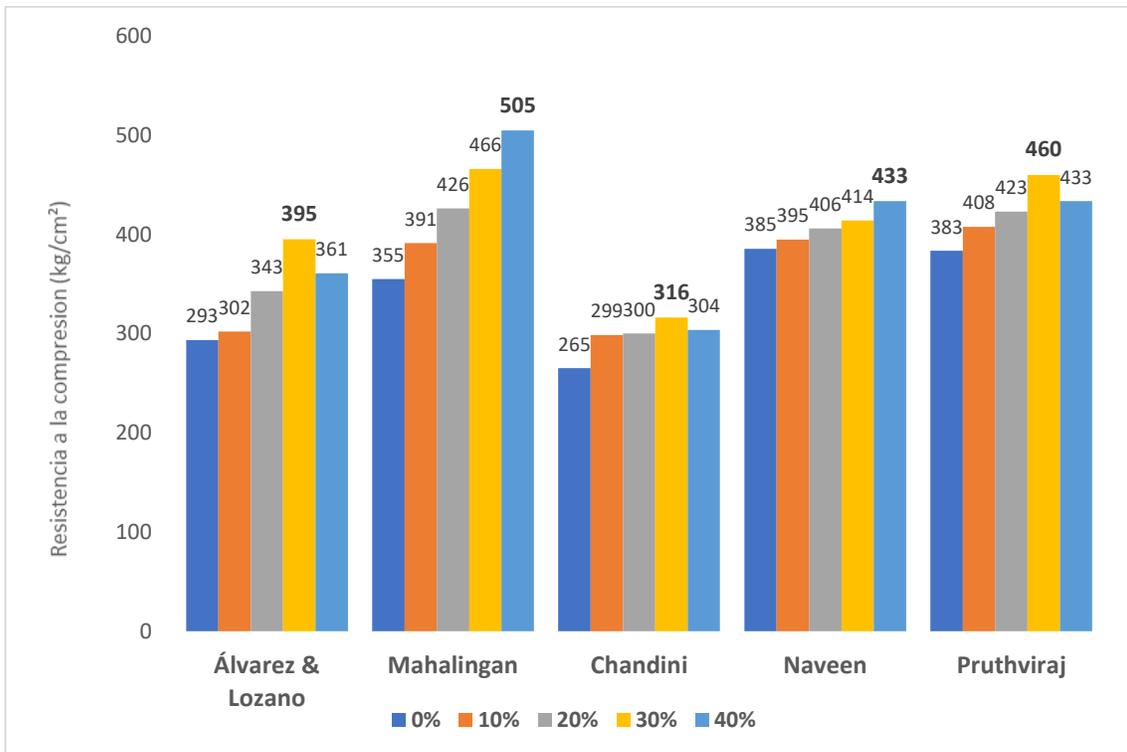


Figura N° 48: Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de curado para diferentes autores  
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 67  
 Porcentaje de sustitución óptimo en resistencia a la compresión.

Días de curado	Porcentaje de sustitución óptimo(%)				
	Álvarez & Lozano	Mahalingam	Chandini	Naveen	Pruthviraj
7	30	40	40	40	30
14	30	40	30	40	30
28	30	40	30	40	30

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla N° 67, la resistencia a la compresión se ve incrementada en todos los autores estudiados.

En la investigación de Álvarez & Lozano la resistencia a la compresión con un remplazo de 10% a los 7 días se reduce un 5% en el porcentaje de sustitución sin embargo va aumentando con el tiempo hasta llegar a un aumento de 7% con respecto a la muestra patrón a los 28 día, así mismo en los demás porcentajes de sustitución de 20%,30% y 40% la resistencia a la compresión aumenta desde los 7 días hasta los 28 días con respecto a la muestra patrón, siendo el 30% el porcentaje de sustitución con mejor desempeño.

En el caso del estudio de Chandini la resistencia a la compresión va aumentando en todos los porcentajes de sustitución de 10%,20%, 30% y 40% con respecto a la muestra patrón en todos los días de curado de 7,14 y 28 días, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mejor desempeño.

Por último, en el caso de la investigación de Mahalingam la resistencia a la compresión también aumenta en todos los porcentajes de sustitución y todos los días de curado estudiados, siendo en este caso el 30% el porcentaje de sustitución con mejor desempeño.

Los resultados muestran que al sustituir el agregado fino por escoria de acero la resistencia a la compresión aumenta en los porcentajes de sustitución estudiados siendo el 30% y 40% los porcentajes con mejores resultados.

5.2.3. Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la resistencia a la flexión del hormigón

En la Figura N° 49, Figura N° 50, Figura N° 51 se observan los resultados de la resistencia a la flexión para 7, 14, y 28 días de curado respectivamente para diferentes autores y a diferentes porcentajes de escoria de acero.

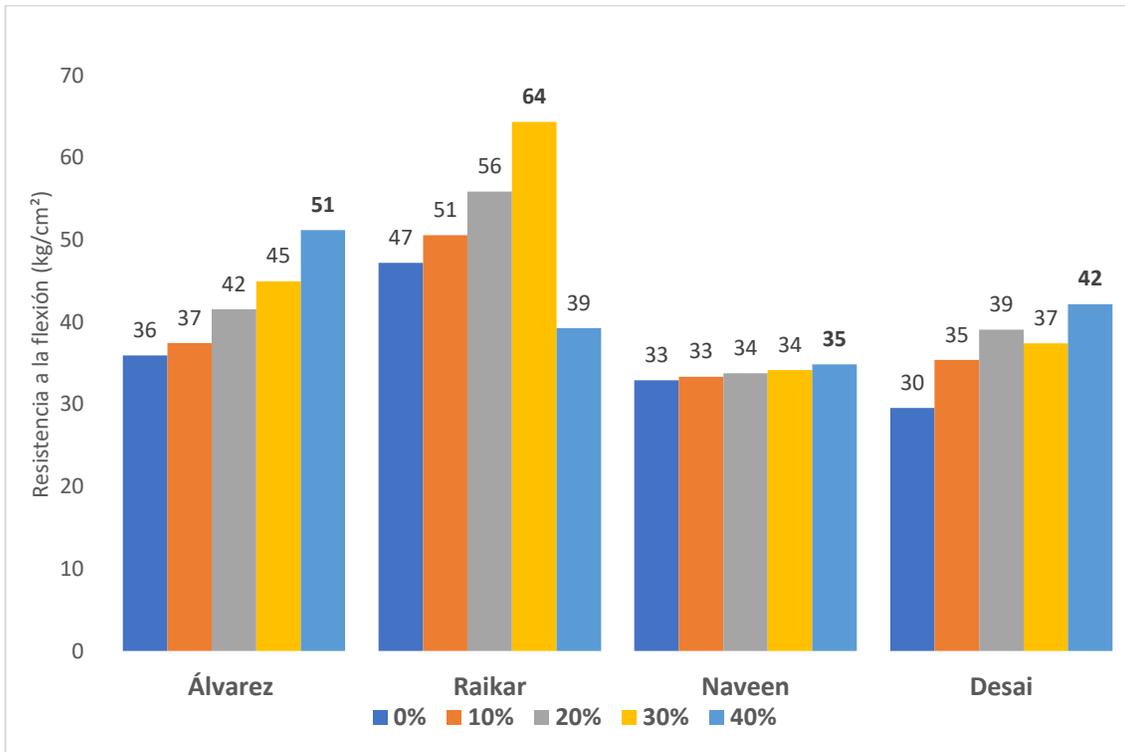


Figura N° 49: Resultados de resistencia a la flexión a los 7 días para diferentes autores  
Fuente: Elaboración propia.

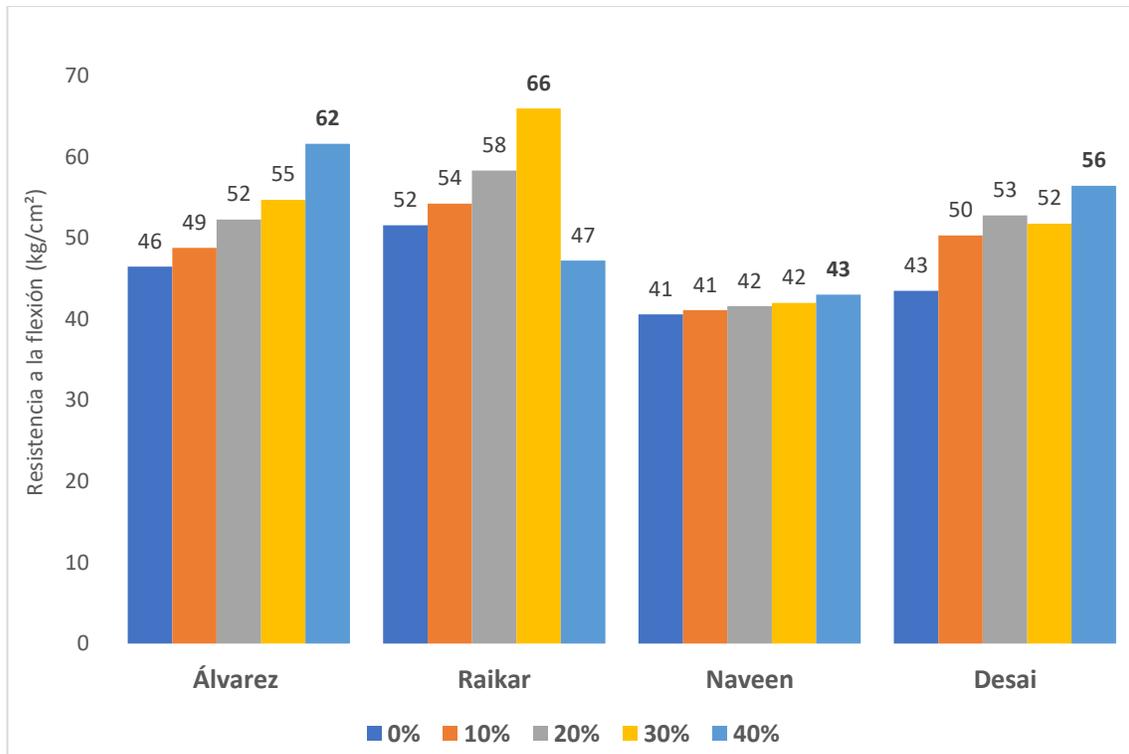


Figura N° 50: Resultados de resistencia a la flexión a los 14 días para diferentes autores  
Fuente: Elaboración propia.

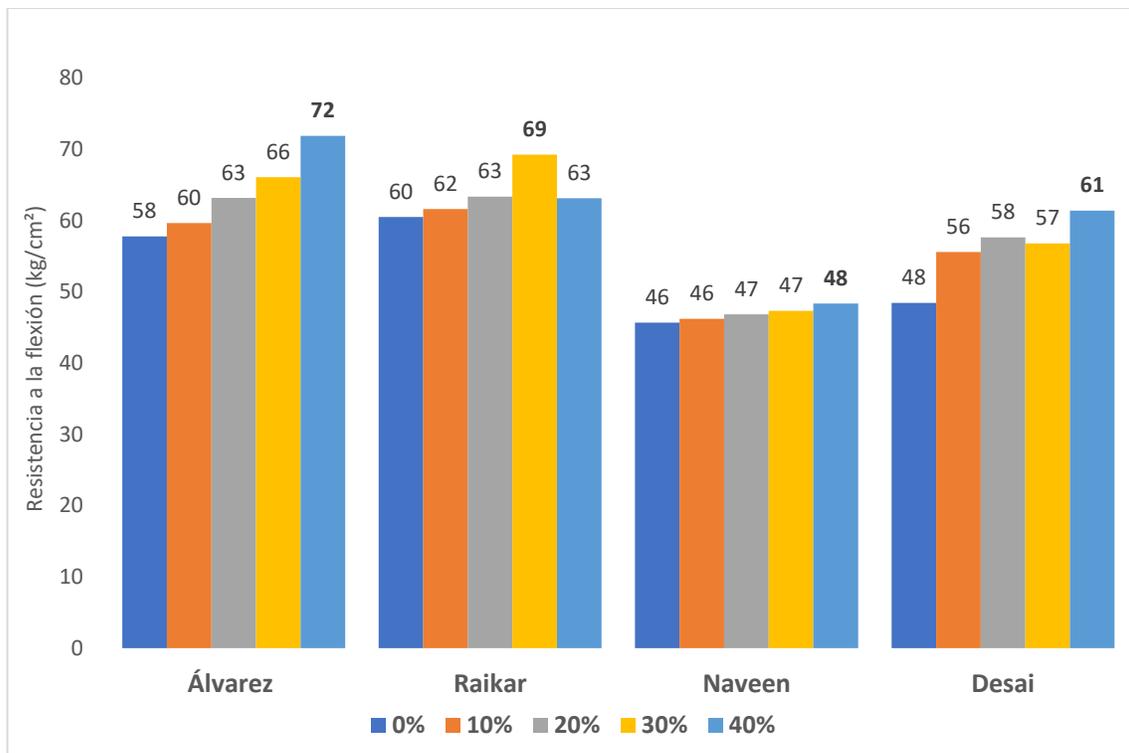


Figura N° 51: Resultados de resistencia a la flexión a los 28 días para diferentes autores  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 68  
 Porcentaje de sustitución óptimo en resistencia a la flexión.

Días de curado(días)	Porcentaje de sustitución óptimo(%)			
	Álvarez	Raikar	Naveen	Desai
7	40	30	40	40
14	40	30	40	40
28	40	30	40	40

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra Tabla N° 68, la resistencia a la flexión se ve incrementada en todos los autores estudiados.

En todas las investigaciones estudiadas de Álvarez & Lozano, Camarena, Naveen y Desai se mejora la resistencia a la flexión en todos los porcentajes de sustitución de 10%, 20%, 30% y 40% con respecto al diseño patrón y todos los días de curado estudiados de 7,14 y 28 días, además siendo en todas estas investigaciones el 40% el porcentaje de sustitución óptimo en los resultados de la resistencia a la flexión.

En las investigaciones estudiadas de Álvarez & Lozano, Camarena, Naveen y Desai En la investigación de Álvarez & Lozano la resistencia a la flexión aumenta en comparación con la resistencia del diseño patrón en todos los porcentajes de sustitución de 10%, 20%, 30% y 40%, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mejor desempeño. En el caso del estudio de Camarena la resistencia a la flexión va aumentando en todos los porcentajes de sustitución de 10%,20%, 30% y 40% con respecto a la muestra patrón en todos los días de curado de 7,14 y 28 días, siendo el 40% el porcentaje de sustitución con mejor desempeño.

5.2.4. Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la resistencia a la tracción del hormigón

En la Figura N° 52, Figura N° 53, Figura N° 54 se observan los resultados de la resistencia a la flexión para 7, 14, y 28 días de curado respectivamente para diferentes autores y a diferentes porcentajes de escoria de acero.

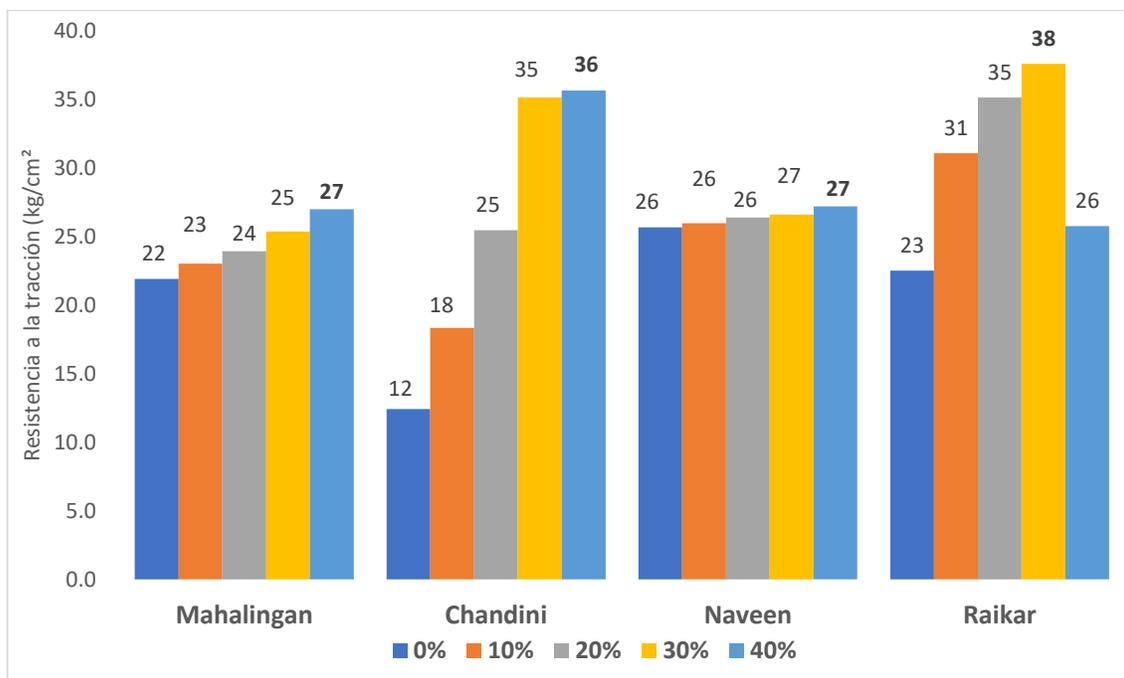


Figura N° 52: Resultados de resistencia a la tracción a los 7 días para diferentes autores

Fuente: Elaboración propia

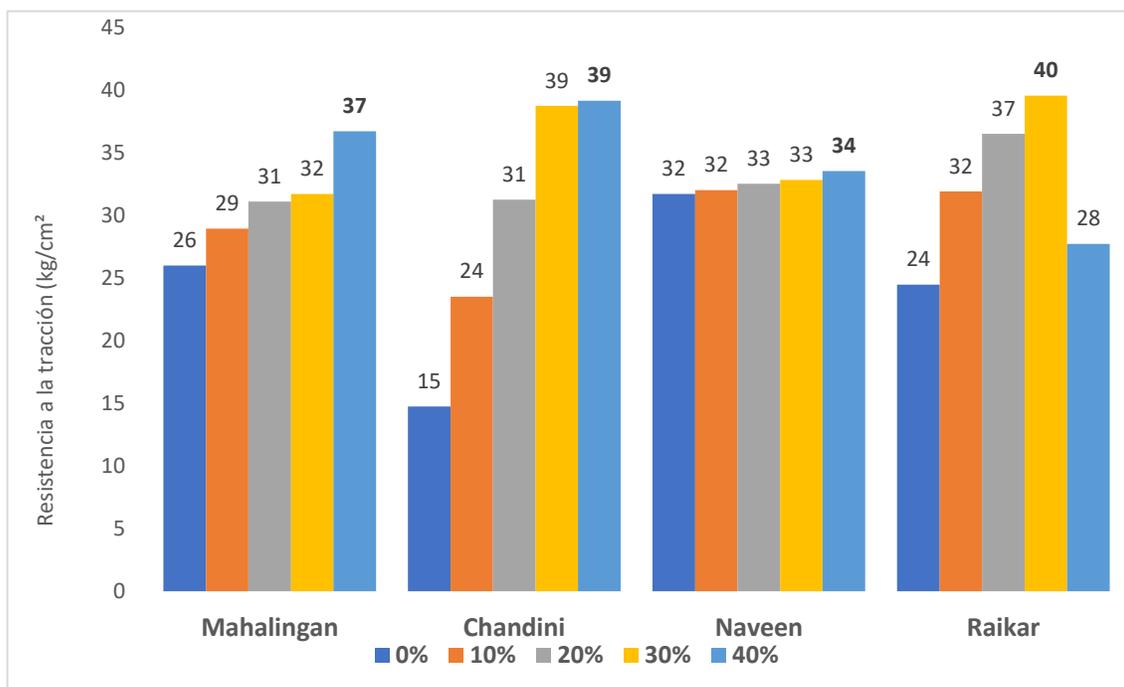


Figura N° 53: Resultados de resistencia a la tracción a los 14 días para diferentes autores

Fuente: Elaboración propia

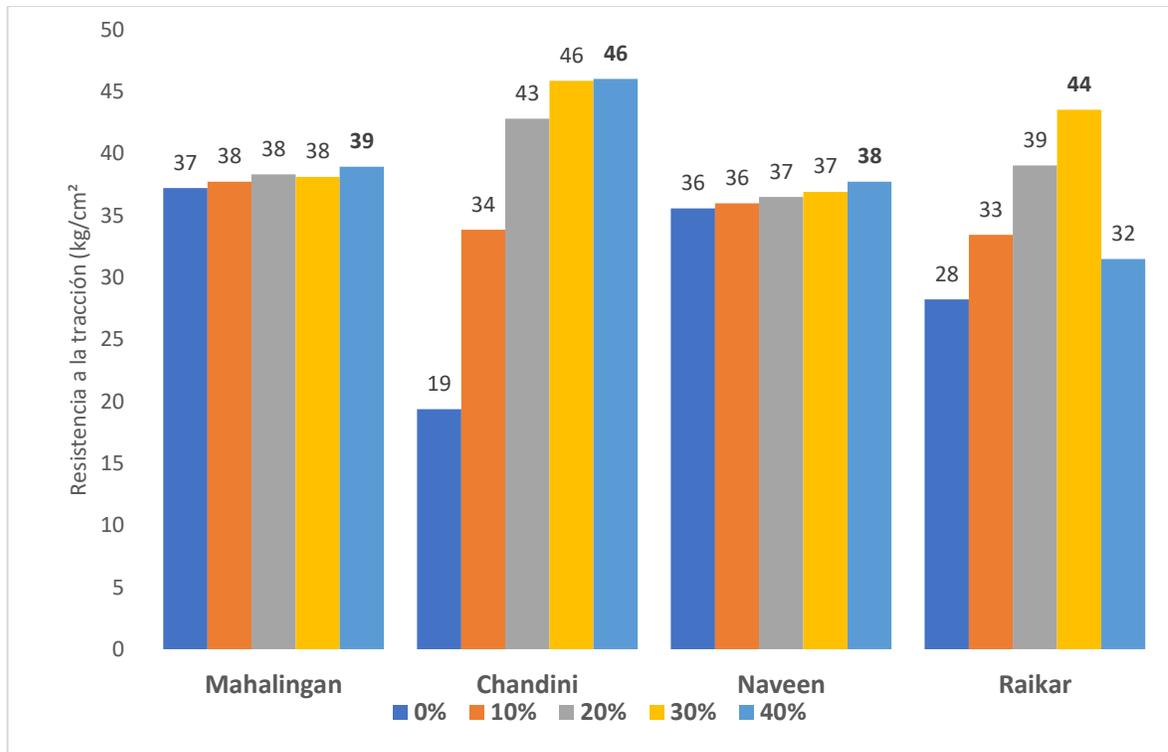


Figura N° 54: Resultados de resistencia a la tracción a los 28 días para diferentes autores  
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 69  
Porcentaje de sustitución óptimo en resistencia a la tracción.

Días de curado(días)	Porcentaje de sustitución óptimo(%)			
	Mahalingam	Chandini	Naveen	Raikar
7	40	40	40	30
14	40	40	40	30
28	40	40	40	30

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en Tabla N° 69, la resistencia a la tracción se ve incrementada en todos los autores estudiados. En todas las investigaciones estudiadas de Mahalingam, Chandini, Naveen se mejora la resistencia a la tracción en todos los porcentajes de sustitución de 10%, 20%, 30% y 40% con respecto al diseño patrón y todos los días de curado estudiados de 7,14 y 28 días, además siendo en todas estas investigaciones el 40% el porcentaje de sustitución óptimo en los resultados de la resistencia a la flexión.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el estudio realizado se encontraron diversas fuentes académicas, seleccionando las investigaciones basadas en el asentamiento, resistencia a la compresión, tracción y flexión, encontrando información como la dosificación utilizada, las propiedades físicas de los materiales, composición química de los materiales, diferentes porcentajes de remplazo, etc.

Con los resultados obtenidos de asentamiento basados en los autores Chandini, R.(2017), Camarena & Díaz (2021) se puede indicar que la primera hipótesis planteada, mejora la trabajabilidad de la mezcla, no es acertada porque de acuerdo al gráfico se detalla que en todos los resultados de los autores la trabajabilidad se va reduciendo mientras aumenta el porcentaje de remplazo de escoria de acero, visualizando que en el diseño base se mantiene un slump mayor a comparación de los otros diseños.

Según las fuentes consultadas se puede observar que remplazando el agregado fino por escoria de acero se mejora la resistencia de compresión, lo que se puede constatar en las fuentes consultadas: Álvarez & Lozano (2021), Mahalingam et al (2018), Chandini, R. (2017). Naveen et al (2020), Pruthviraj et al (2018) en la mayoría de los porcentajes de remplazo mejoraron la resistencia a la compresión en comparación con los resultados del modelo patrón, estos resultados fueron analizados a los 7,14 y 28 días, además el estudio encontró que el porcentaje óptimo para realizar el remplazo del agregado fino por escoria de acero es entre el rango de 30% y 40%, como se muestra en la Figura N° 46, Figura N° 47, Figura N° 48, en comparación con los agregados naturales, el SSA tiene una textura superficial rugosa de alta densidad y contiene ingredientes cementosos, que son beneficiosos para mejorar la resistencia del hormigón. Según Qiadong et al (2021), el uso de la escoria de acero podría mejorar la resistencia a la compresión en un rango de 10-30 % sin embargo nuestros resultados son superiores incrementando hasta un máximo de 42% a los 28 días de curado.

En los resultados obtenidos se constata la hipótesis de que al sustituir el agregado fino por escoria de acero mejora la resistencia a la flexión, de acuerdo con los autores estudiados como: Álvarez & Lozano (2021), Raikar et al (2019), Naveen et al (2021), Desai et al (2020), en la Figura N° 49, Figura N° 50, Figura N° 51 evidencia la mejora en la resistencia a la

flexión en todos los porcentajes de remplazo con respecto al mezcla patrón, finalmente se determinó que los porcentajes de reemplazo óptimos de los autores descritos es 30% y 40%. Según Qiadong et al (2021), el uso de la escoria de acero podría mejorar la resistencia a la flexión en un rango de 10-60 %, nuestros resultados se encuentran dentro del rango planteado por el autor.

Con los resultados obtenidos de resistencia a la tracción de los autores consultados: Mahalingam et al (2018), Chandini, R.(2017), Naveen et al (2020), Raikar et al (2019) se muestra en la Figura N° 52, Figura N° 53, Figura N° 54, mejora de la resistencia a la tracción en todos los porcentajes de remplazo con respecto al diseño patrón, dándose la mejora en todos los porcentajes remplazados, sin embargo el remplazo del 30% y 40% de agregado fino por escoria de acero fueron los porcentajes que evidenciaron mejores resultados entre todos los porcentajes estudiados. Según Qiadong et al (2021), el uso de la escoria de acero podría mejorar la resistencia a la tracción en un rango de 15-70 % ,nuestros resultados se encuentran hasta un máximo de 40% a los 28 días de curado.

## CONCLUSIONES

1. El remplazo del agregado fino por escoria de acero en el hormigón es una opción viable porque mejora las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión, tracción y flexión, se muestran los resultados al mayor rendimiento a los 7,14, y 28 días de curado, en las resistencias estudiadas los porcentajes óptimos fueron 30% y 40%, en la resistencia a la compresión Pruthviraj et al(2019), Mahalingam et al (2019), Mahalingam et al(2019) incrementan 106 kg/cm<sup>2</sup>, 133 kg/cm<sup>2</sup>, 150 kg/cm<sup>2</sup> con respecto a sus diseños patrones a los 7,14 y 28 días respectivamente. En la resistencia la flexión Álvarez & Lozano (2021), Álvarez & Lozano (2021), Desai et al(2020) incrementan 15 kg/cm<sup>2</sup>, 16 kg/cm<sup>2</sup>, 13 kg/cm<sup>2</sup> con respecto a sus diseños patrones a los 7,14 y 28 días respectivamente. En la resistencia la tracción Chandini, R.(2021) incrementa 23 kg/cm<sup>2</sup>, 24 kg/cm<sup>2</sup>, 27 kg/cm<sup>2</sup> con respecto a sus diseños patrones a los 7,14 y 28 días respectivamente, en la trabajabilidad mientras más aumente la cantidad de escoria usada reduce el asentamiento, tal como muestran los resultados de los 2 autores estudiados al 40% se tiene una reducción de 3.30 cm y 7.30 cm que es una disminución de 28% y 64% respectivamente.
2. De acuerdo con los resultados obtenido el remplazo del agregado fino por escoria de acero reduce la trabajabilidad del hormigón, en Chandini, R.(2017) la reducción mayor se da al 40% de sustitución que reduce 3.30 cm de slump una disminución del 5% con respecto a la mezcla patrón, en Camarena & Días (2021) la reducción mayor se da al 40% de sustitución que reduce 7.30 cm de slump una disminución del 65% con respecto a la mezcla patrón, igualmente concluye Dong et al (2020), que los hormigones que incluyen escoria de acero tienen una menor trabajabilidad que un hormigón normal por la alta angularidad, textura rugosa y absorción del agua, asimismo el autor Chandini, R.(2017) afirma que la escoria es un material más absorbente y tiene formas más angulares en comparación con las partículas del agregado fino, por lo que se reduce su trabajabilidad.
3. De los resultados obtenidos de la Tabla N° 67 se concluye que el remplazo de agregado fino por escoria de acero mejora la resistencia a la compresión en comparación con los resultados de la mezcla patrón, asimismo los resultados óptimos, a los 7 días Pruthviraj et al (2019) al 30% de sustitución incrementó 106 kg/cm<sup>2</sup>

representando 64% de mejora con respecto a la mezcla patrón, a los 14 días Mahalingam et al (2019) al 40% de sustitución incrementó 133 kg/cm<sup>2</sup> representando 41% de mejora con respecto a la mezcla patrón, a los 28 días Mahalingam et al (2019) al 40% de sustitución incrementó 150 kg/cm<sup>2</sup> representando 42% de mejora con respecto a la mezcla patrón

4. De los resultados obtenidos de la Tabla N° 67 se concluye que el remplazo de agregado fino por escoria de acero mejora la resistencia a la flexión en comparación con los resultados de la mezcla patrón, asimismo los resultados óptimos, a los 7 días Álvarez & Lozano (2019) al 40% de sustitución incrementó 15 kg/cm<sup>2</sup> representando 42% de mejora con respecto a la mezcla patrón, a los 14 días Álvarez & Lozano (2019) al 40% de sustitución incrementó 16 kg/cm<sup>2</sup> representando 35% de mejora con respecto a la mezcla patrón, a los 28 días Desai et al (2019) al 40% de sustitución incrementó 13 kg/cm<sup>2</sup> representando 27% de mejora con respecto a la mezcla patrón
5. De los resultados obtenidos de la Tabla N° 67 se concluye que el remplazo de agregado fino por escoria de acero mejora la resistencia a la tracción en comparación con los resultados de la mezcla patrón, asimismo los resultados óptimos, a los 7 días Chandini, R. (2017) al 40% de sustitución incrementó 23 kg/cm<sup>2</sup> representando 200% de mejora con respecto a la mezcla patrón, a los 14 días Chandini, R.(2017) al 40% de sustitución incrementó 24 kg/cm<sup>2</sup> representando 161% de mejora con respecto a la mezcla patrón, a los 28 días Chandini, R.(2017) al 40% de sustitución incrementó 27 kg/cm<sup>2</sup> representando 138% de mejora con respecto a la mezcla patrón

## RECOMENDACIONES

1. Al aumentar la dosificación de escoria en remplazo del agregado fino se va reduciendo la trabajabilidad, por ello al realizar construcciones de hormigón con esta sustitución, se necesitará de acuerdo con los requerimientos de trabajabilidad el uso de aditivos que lo incremente, como los aditivos plastificantes y superplastificantes, los cuales según los autores encontrados son una opción viable para solventar el problema.
2. De acuerdo con los resultados obtenidos de los autores consultados se recomienda utilizar porcentajes de sustitución entre 30% y 40% dentro de los diseños de mezcla, ya que dichos porcentajes son óptimos en mejorar la resistencia la compresión, asimismo realizar ensayos de laboratorio a los materiales para conocer sus propiedades físicas y como afectan en la resistencia a la compresión.
3. Como se muestra en el trabajo realizado, el porcentaje de sustitución con mejores resultados de resistencia a la flexión en comparación de la mezcla patrón fue 30% y 40%, por lo que, si es que se quiere usar un porcentaje mayor, se recomienda realizar estudios para determinar hasta que porcentaje seguirá incrementa la resistencia a la flexión.
4. Se recomienda que al usarse escoria de acero para mejorar la resistencia a la tracción del hormigón plantearse el uso del 30% y 40% porcentaje de remplazo, puesto que en los resultados obtenidos ese porcentaje fue el que mejor desempeño tuvo con respecto a los resultados de la mezcla patrón. Finalmente realizar ensayos de la composición química de la escoria de acero ya que este influye en la resistencias alcanzadas.
5. Realizar investigaciones con mayores porcentajes de sustitución de la escoria de acero por el agregado fino a los presentados, además considerar otros tipos de condiciones exposición a dichas mezclas como agua de mar, condiciones húmedas, procesos de congelación, ambiente químicamente agresivo, a fin de evaluar otros parámetros de durabilidad de los hormigones que poseen escoria de acero como agregado alternativo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, P., & Lozano, M. (2020). *Diseño de hormigón utilizando escoria de acero a partir de la sustitución del agregado fino y su impacto en la resistencia a compresión y resistencia a flexión, Lima – 2020*. (Tesis de pregrado). Universidad de ciencias aplicadas, Lima-Perú. Recuperado de:  
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/657994>
- Anco, G. y Sarmiento, O. (2021). *Influencia del vidrio molido reciclado como agregado fino para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón*. (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma.  
[http://repositorio.urp.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/URP/4719/T030\\_75615896\\_T%20%20%20ANCO%20AVILA%20GERSON.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.urp.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/URP/4719/T030_75615896_T%20%20%20ANCO%20AVILA%20GERSON.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Aquino, R. (2019). *Análisis mecánico del hormigón de mediana resistencia usando escoria de acero*. (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Chimbote-Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48771>
- Baalamurugan, J., Kumar, V., Chandrasekaran, S., Balasundar, S., Venkatraman, B., Padmapriya, R., & Raja, V. (2021). *Recycling of steel slag aggregates for the development of high density*.  
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108885>
- Camarena, A., & Díaz, D. (2022). *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión, flexión y trabajabilidad del hormigón tradicional versus un hormigón utilizando escoria de acero como agregado fino*.  
Doi: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.3>
- Chandini, R. (2017). *Use of Steel Slag in Concrete as Fine Aggregate. International Journal of Engineering and Innovative Technology*  
Doi: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/EFGPN>
- Corcuera, A., & Vela, J. (2018). *Impacto en la resistencia a la compresión y permeabilidad del hormigón a partir de la sustitución de la piedra por ecogravilla de escoria de*

- acero, Trujillo – 2018.* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Trujillo-Perú. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13755>
- Cruz, R., Franco, D., & Pérez, L. (2014). Reemplazo del Agregado Fino por Escoria de Horno de Cubilote para la Fabricación de Hormigón. Recuperado de <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/347/323>
- Desai, G., Lohakare, P., Bharvsar, A., Ugale, A. (2018). *Partial replacement of fine aggregate using steel slag.* Recuperado en: <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1802135.pdf>
- Dong, Q., Wang, G., Chen, X., Tan, J., & Gu, X. (2021). *Recycling of steel slag aggregate in portland cement concrete:*  
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124447>
- Figuerola, F., Alejandro, J., Frías Muñoz, G. G., Amagua, S., & Fernando, R. (2019). *Diseño de hormigón de alta resistencia con escoria de acero reciclado como sustitución parcial de agregados.* (Tesis de pregrado). Universidad Central Del Ecuador, Quito-Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20314>
- García, T., & Ríos, J. (2020). *Diseño de hormigón usando escoria de acero para el blindaje de las construcciones de ambientes hospitalarios que requieran la atenuación de rayos X en Lima.* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima-Perú. Recuperado de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/653613>
- Guo, Y., Xie, J., Zhao, J., & Zuo, K. (2019). *Utilization of unprocessed steel slag as fine aggregate in normal- and high-strength concrete.*  
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.178>
- Keyller, T. (2019). *Evaluación de Las propiedades del hormigón adicionado con escoria de acero para una resistencia de  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> en Chiclayo- Lambayeque.* (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Chiclayo-Perú. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/38446>

- Lim, J. W., Chew, L. H., Choong, T. S., Tezara, C., & Yazdi, M. H. (2016). *Utilizing steel slag in environmental application*.  
Doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/36/1/012067>
- Llontop, C y Ruiz, M.(2019).*Mezcla con fibra de zanahoria para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón*. (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú. Recuperado en  
<http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2627/MEZCLA%20CON%20FIBRA%20DE%20ZANAHORIA%20PARA%20MEJORAR%20LAS%20PROPIEDADE>
- Mahalingam, R., Durga, N., Varshini, M., Sharmila, R. (2018). *An Experimental study on partial replacement of fine aggregate using steel slag*. Recuperado en:  
<https://www.grdjournals.com/uploads/conference/GRDCF/007/003/GRDCF007003.pdf>
- Ministerio de la producción, (20120).*Reglamento técnico sobre cemento hidráulico utilizado en edificaciones y construcciones de hormigón en general*.  
[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/833403/Reglamento\\_Proyecto\\_de\\_D.S.\\_R.M.\\_175.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/833403/Reglamento_Proyecto_de_D.S._R.M._175.pdf)
- Morales, B., Ninabanda, B., & Santamaría, K. (2017). *Diseño de hormigón rígido de alta resistencia utilizando escoria de acero para la aplicación en pavimento de hormigón*. (Tesis de pregrado), Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/12085>
- Ochoa, R., Grimaldo, G., Orjuela, M., & Muñoz, C. (2018). *Análisis del uso de escoria granulada en la fabricación de mezclas asfálticas para pavimentos*. Recuperado de <http://www.revistaespacios.com/a18v39n37/a18v39n37p02.pdf>
- Papachristoforou, M., Anastasiou, E., & Papayianni, I. (2020). *Durability of steel fiber reinforced concrete with coarse steel slag aggregates including performance at elevated temperatures*.  
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120569>

- Premkumar, R., Chokkalingam, R., & Rajesh, S. (2022). *Performance of fly ash based geopolymer concrete with partial replacement of fine aggregate by steel mill slag*.  
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.473>
- Pruthviraj, L., Kadam, L., Shete, P., Ahir, R. (2016). *Effect of partial replacement of fine aggregate by steel slag and its impact on compressive strength of concrete*.  
Recuperado en: <https://www.ijser.org/researchpaper/Effect-of-partial-replacement-of-fine-aggregate-by-steel-slag-and-its-impact-on-compressive-strength-of-concrete.pdf>
- Qasraui, H. (2018). *Fresh properties of green SCC made with recycled steel slag coarse aggregate under normal and hot weather*.  
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.075>
- Qasrawi, H. (2014). *The use of steel slag aggregate to enhance the mechanical properties*.  
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.063>
- Quiroz, M. y Salamanca, L. (2006). *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de tecnología del hormigón*. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba-Bolivia. Recuperado en [https://www.academia.edu/40375690/\\_TECNOLOG%3%8DA\\_DEL\\_HORMIG%3%93N\\_Presentado\\_por\\_MARIELA\\_VIVIAN QUIROZ\\_CRESPO](https://www.academia.edu/40375690/_TECNOLOG%3%8DA_DEL_HORMIG%3%93N_Presentado_por_MARIELA_VIVIAN QUIROZ_CRESPO)
- Raikar, P., Bhanuvalli, R., Seema, G., Pavitra, P. (2019). *Replacement of fine aggregate by steel slag in concrete*. Recuperado en: <https://www.slideshare.net/irjetjournal/irjet-replacement-of-fine-aggregate-by-steel-slag-in-concrete>
- Reyes, S., & Viligua, C. (2019). *Diseño de Hormigón Utilizando Escoria de Acero Para Vigas*. (Tesis de pregrado), Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/3498>
- Sateesh, K., Sarma, V., Sagar, N. (2015). Study on behavior of concrete mix replaeing fine aggregate with steel slag at different properties. Recuperado en: [https://www.ijera.com/papers/Vol5\\_issue11/Part%20-%204/H511043946.pdf](https://www.ijera.com/papers/Vol5_issue11/Part%20-%204/H511043946.pdf)

- Sohail, M., Alnahha, W., Taha, I., & Abdelaal, K. (2020). *Sustainable alternative aggregates: Characterization and influence on mechanical behavior of basalt fiber reinforced concrete*.  
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119365>
- Sosa, I. (2017). *Incorporación de escorias siderúrgicas en hormigones autocompactantes de altas prestaciones*. (Tesis de doctorado), Universidad de Cantabria, Santander-España. Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/12087>
- Torres, A., Brandt, J., Lear, K., & Liu, J. (2017). *A looming tragedy of the sand commons*.  
Doi: <https://doi.org/10.1126/science.aao0503>
- Torres, M., Alonso, M., Guarner, P., Zamora, A., & Puertas, F. (2018). *Hormigones de escorias activadas alcalinamente. Comportamiento mecánico y durable*.  
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.hya.2017.04.016>
- Vega, B. y Pareja, Y. (2021). *Cenizas volantes de carbón para mejorar la resistencia a la compresión y permeabilidad del hormigón*. (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú. Recuperado en [https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/4871/T030\\_73069290\\_T%20PAREJA%20MARQUINA%20YEREMI.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/4871/T030_73069290_T%20PAREJA%20MARQUINA%20YEREMI.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Wang, S., Zhang, G., Wang, B., & Wu, M. (2020). *Mechanical strengths and durability properties of pervious concretes with blended steel slag and natural aggregate*.  
Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122590>

## ANEXOS

### Anexo N° 1: Matriz de Consistencia

Sustitución de la escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón.

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Var. Independiente	Indicadores
¿Cómo la sustitución de la escoria de acero como remplazo del agregado fino influye en las propiedades físico-mecánicas del hormigón?	Determinar el porcentaje de sustitución de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón.	La sustitución de la escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora las propiedades físico-mecánicas del hormigón.	Escoria de acero	Porcentaje de escoria de acero
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Var. Dependiente	
a) ¿Cómo el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino influye en la trabajabilidad del hormigón?	a) Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la trabajabilidad del hormigón .	a) Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la trabajabilidad del hormigón		Trabajabilidad
b) ¿Cómo el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino influye en la resistencia a la compresión del hormigón?	b) Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón	b) Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejorar la resistencia a la compresión del hormigón		Resistencia a la compresión
c) ¿Cómo el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino influye en la resistencia a la flexión del hormigón?	c) Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la resistencia a la flexión del hormigón.	c) Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la resistencia a la flexión del hormigón	Propiedades físico-mecánicas del hormigón.	Resistencia a la flexión
d) ¿Cómo el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino influye en la resistencia a la tracción del hormigón?	d) Determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino para mejorar la resistencia a la tracción del hormigón.	d) Al determinar el porcentaje de escoria de acero como remplazo del agregado fino mejora la resistencia a la tracción del hormigón		Resistencia a la tracción

Anexo N° 2:  
Investigaciones consultadas

Autor	Año	Título	Tipo	Url
Álvarez, P. & Lozano, M.	2021	Diseño de concreto utilizando escoria de acero a partir de la sustitución del agregado fino y su impacto en la resistencia a compresión y resistencia a flexión, Lima – 2020	Tesis	<a href="https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/657994">https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/657994</a>
Priyanca, R., Renuka, B., Seema, G., Pavitra, P., Sweta, P.	2019	Sustitución de árido fino por escoria de acero en hormigón	Revista	
Pruthviraj, L., Kadam, L., Anuj, P.	2016	Efecto de la sustitución parcial de agregado fino por escoria siderúrgica y su impacto en la resistencia a compresión del concreto	Revista	
Camarena, A y Garamendi	2021	Análisis comparativo de la resistencia a la compresión, flexión y trabajabilidad del hormigón tradicional frente a un hormigón con escoria siderúrgica como árido fino	Artículo	<a href="https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.3">https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.3</a>
Desai, G., Lohakare, P., Bhavsar, A.	2018	Reemplazo parcial de agregado fino usando acero	Artículo	
Naveen, S., Natarajan, M., Karthik, V.	2020	investigación sobre el comportamiento del hormigón de alto volumen de cenizas volantes fabricado con árido fino sustituido por escoria de acería	Artículo	
Mahalingam, G., Durga, N., Varshini, M.	2018	Un estudio experimental sobre el remplazo parcial del agregado fino usando escoria de acero	Artículo	
Chandini, R.	2017	Uso de escoria de acero en concreto como agregado fino	Revista	

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 3:  
Operalización de la variable

Variable	Índices	Definición conceptual	Unidad	Herramientas
Escoria de acero V.I	Porcentaje de escoria de acero	De acuerdo con la ASTM, la escoria se entiende por una sustancia gruesa no metálica compuesta por silicios de calcio, hierro y formas oxidadas de madera, aluminio, calcio y magnesio.	kg	La escoria debe ser caracterizada conforme a lo especificado en la norma NTP.
Propiedades físico-mecánicas del hormigón V.D	Firmeza a la compresión	La habilidad del material para soportar fenómenos de aplastamiento bajo demandas de estática o de aumento, así como la resistencia del hormigón a la compresión.	kg/cm <sup>2</sup>	NTP 339.034 / ASTM C39
	Resistencia a la flexión	Para determinar el aguante a la deformación de una viga prismática no reforzada, se utilizará una viga con dimensiones de 6"x6"x21". De nuevo, la media de la capacidad de carga total se aplicará a un tercio de la viga. En este caso, la viga no reforzada. El tercio central de la viga quedará sujeto a alteración pura.	kg/cm <sup>2</sup>	NTP 339.078 / ASTM C78
	Resistencia a la tracción	Consiste en una medición de la capacidad de resistir a la tensión del hormigón. El resultado se consigue aplicando uno o más esfuerzos sobre la viga, ya sea en el centro de esta o en los dos puntos terciarios.	kg/cm <sup>2</sup>	ASTM C39 /ASTM 439
	Trabajabilidad	La capacidad de trabajo de una determinada combinación de hormigón se puede mezclar, manipular, transportar y verter hasta su ubicación final con una mínima pérdida de uniformidad	Pulg.	ASTM C 143/C143M

Fuente: Elaboración propia