

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE ESCORIA DE
ELECTRODOS PARA MEJORAR LA RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN LAS CONSTRUCCIONES
DE LA REGIÓN TACNA - 2025”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. BRYAN ADAIR CALAHUILLE VEGA

Bach. EMERSON ALDAIR MAMANI CCALLOMAMANI

TACNA – PERÚ

2025

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE ESCORIA DE
ELECTRODOS PARA MEJORAR LA RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN LAS CONSTRUCCIONES
DE LA REGIÓN TACNA - 2025”**

Tesis sustentada y aprobada el 23 de diciembre del 2025; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtra. DINA MARLENE COTRADO FLORES

SECRETARIO : Mtro. EDGAR HIPOLITO CHAPARRO QUISPE

VOCAL : Mtro. ROLANDO GONZALO CALDERÓN JUÁREZ

ASESOR : Mtro. GIANCARLOS JAVIER MACHACA FRÍAS

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Bryan Adair Calahuille Vega y Emerson Aldair Mamani Ccallomamani, egresados, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 71880501 y 75079645 respectivamente, así como Giancarlos Javier Machaca Frías con DNI 70017976; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulado: *Evaluación de la incorporación de escoria de electrodos para mejorar la resistencia a la compresión del concreto en las construcciones de la región Tacna - 2025*, la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.


En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 23 de diciembre de 2025


Bryan Adair Calahuille Vega
DNI: 71880501


Giancarlos Javier Machaca Frías
DNI: 70017976


Emerson Aldair Mamani Ccallomamani
DNI: 75079645

DEDICATORIA

A mis padres, que siempre me han inspirado con su esfuerzo y que son una fuente inagotable de amor y apoyo. A mis profesores, que han guiado mi carrera académica con paciencia y sinceridad, por su dedicación y sus conocimientos impartidos. A mi familia enamorada que nunca han dejado de apoyarme y proporcionarme un refugio en los momentos difíciles.

Bryan Adair Calahulle Vega

A mis queridos padres, Néstor Mamani y María Ccallomamani, que siempre me han apoyado desde el inicio de mi formación profesional, por sus consejos para seguir adelante en las adversidades y me fortalecieron con su apoyo incondicional. A mi familia y amigos, que fueron importantes en mi desarrollo personal y profesional, por su apoyo en los momentos de alegría y de tristeza en el transcurso de mi crecimiento profesional.

Emerson Aldair Mamani Ccallomamani

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por brindarme salud y vida para poder cumplir mis metas. A mis padres, que siempre me apoyaron para poder cumplir mis objetivos. A mi asesor de tesis por guiarme durante la elaboración de la tesis. A la Universidad Privada de Tacna, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y sus docentes.

Bryan Adair Calahulle Vega

A mis padres y a mi hermana, quienes siempre me ofrecieron su apoyo incondicional para alcanzar mis metas, inculcándome disciplina y ayudándome a convertirme en alguien con principios y valores. Al asesor de mi tesis por su apoyo, consejos y dedicación en el desarrollo de esta investigación de tesis, pues gracias a su experiencia e instrucción me brindo una asesoría con excelente desempeño profesional. A mis docentes universitarios, que han guiado mi carrera académica con paciencia y sinceridad, por su dedicación y sus conocimientos impartidos.

Emerson Aldair Mamani Ccallomamani

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Formulación del problema	5
1.2.1 Interrogante general.....	5
1.2.2 Interrogantes específicas	5
1.3 Justificación de la investigación.....	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Hipótesis	7
1.5.1 Hipótesis general	7
1.5.2 Hipótesis específicas.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes del estudio	8
2.1.1 Antecedentes locales	8
2.1.2 Antecedentes nacionales	9
2.1.3 Antecedentes internacionales	10
2.2 Bases teóricas	11

2.2.1	Cemento	11
2.2.2	Cemento portland.....	11
2.2.3	Agregados	14
2.2.4	Agua	15
2.2.5	Electrodo	15
2.2.6	Concreto	17
2.2.7	Propiedades del concreto	17
2.2.8	Ensayos en el concreto.....	19
2.2.9	Diseño y dosificación del concreto	21
2.3	Definición de términos	24
2.3.1	Electrodo	24
2.3.2	Escoria	24
2.3.3	Cemento	24
2.3.4	Concreto	24
2.3.5	Probeta	24
2.3.6	Prensa hidráulica	25
2.3.7	Agregado	25
2.3.8	Curado	25
2.3.9	Resistencia	25
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		26
3.1	Diseño de investigación.....	26
3.2	Acciones y actividades	26
3.3	Materiales e instrumentos	27
3.4	Población y muestra de estudio.....	27
3.4.1	La Población de estudio.....	27
3.4.2	La muestra de estudio.....	27
3.5	Operacionalización de variables.....	27
3.5.1	Variable independiente.....	28
3.5.2	Variable dependiente	28

3.6	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	29
3.6.1	Ensayo de materiales y diseño de mezcla	29
3.6.2	Rotura de briquetas.....	29
3.6.3	Ensayo de agregados	30
3.6.4	Diseño de mezcla para concreto patrón 0%.....	34
3.6.5	Cantidad de materiales por probeta	36
3.6.6	Análisis de Precios Unitarios de Expedientes técnicos	37
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS	38
4.1	Resultados del objetivo específico N° 01.....	38
4.2	Resultados del objetivo específico N° 02.....	41
4.2.1	Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión a los 7 días.....	41
4.2.2	Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión a los 14 días.....	43
4.2.3	Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión a los 28 días.....	45
4.3	Resultados del objetivo específico N° 03	47
	CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	54
	CONCLUSIONES	56
	RECOMENDACIONES.....	58
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
	ANEXOS.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Compuestos principales del cemento	12
Tabla 2. Tipos de cemento portland.....	13
Tabla 3. Tipos de cemento portland mezclados o adicionados.....	14
Tabla 4. Tipos de electrodos revestidos.....	16
Tabla 5. Consistencia y asentamientos.....	20
Tabla 6. Operacionalización de Variables de investigación	28
Tabla 7. Granulometría de piedra	30
Tabla 8. Granulometría agregado grueso	31
Tabla 9. Contenido de humedad.....	32
Tabla 10. Peso unitario – agregado grueso y agregado fino.....	32
Tabla 11. Gravedad específica y absorción – agregado grueso	33
Tabla 12. Gravedad específica y absorción – agregado fino.....	33
Tabla 13. Pesos específicos del cemento, escoria y cemento con sustitución.....	33
Tabla 14. Diseño de Mezcla de Concreto – $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$	35
Tabla 15. Peso de materiales por probeta – concreto convencional 210 kg/cm^2	36
Tabla 16. Peso de materiales por probeta – concreto 210 kg/cm^2 con sustitución 4% 36	36
Tabla 17. Peso de materiales por probeta – concreto 210 kg/cm^2 con sustitución 8% 37	37
Tabla 18. Peso de materiales – concreto 210 kg/cm^2 con sustitución 12%.....	37
Tabla 19. Composición química de la escoria de electrodos	38
Tabla 20. Composición química del cemento portland IP	39
Tabla 21. Resultados ensayo de la resistencia a la compresión a los 7 días.....	41
Tabla 22. Resultados ensayo de la resistencia a la compresión a los 14 días.....	43
Tabla 23. Resultados ensayo de la resistencia a la compresión a los 28 días.....	45
Tabla 24. Resumen de los ensayos.....	47
Tabla 25. Costo concreto 210 kg/cm^2 por m3 Expediente N°01.....	48
Tabla 26. Costo concreto 210 kg/cm^2 por m3 Expediente N°01 con Escoria 4%.....	49
Tabla 27. Costo concreto 210 kg/cm^2 por m3 Expediente N°01 con Escoria 8%.....	49
Tabla 28. Costo concreto 210 kg/cm^2 por m3 Expediente N°01 con Escoria 12%.....	50
Tabla 29. Costo concreto 210 kg/cm^2 por m3 Expediente N°02.....	51
Tabla 30. Costo concreto 210 kg/cm^2 por m3 Expediente N°02 con Escoria 4%.....	51
Tabla 31. Costo concreto 210 kg/cm^2 por m3 Expediente N°02 con Escoria 8%.....	52
Tabla 32. Costo concreto 210 kg/cm^2 por m3 Expediente N°02 con Escoria 12%.....	52
Tabla 33. Resumen de costos de concreto por m3.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Soldadura de arco con electrodo	3
Figura 2. Estadística del tipo de material de las construcciones de viviendas peruanas	4
Figura 3. Curva granulométrica – piedra.....	31
Figura 4. Curva granulométrica – Agregado grueso	32
Figura 5. Porcentaje de la resistencia requerida 210 kg/cm de los resultados a los 7 días	43
Figura 6. Porcentaje de la resistencia requerida 210 kg/cm de los resultados a los 14 días.....	45
Figura 7. Porcentaje de la resistencia requerida 210 kg/cm de los resultados a los 28 días.....	46
Figura 8. Comparación de resultados a los 7 días, 14 días y 28 días	47

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la viabilidad de mejorar la resistencia del concreto en la zona de Tacna mediante la integración de escoria de electrodo en el concreto, así como sus efectos sobre el medio ambiente y la economía. Se recogió muestras de cemento de la región y escoria de electrodo, así como agregados de canteras cercanas. Después, se revisaron fuentes bibliográficas para examinar las características químicas de la escoria de electrodos, así como su contribución a la resistencia del concreto. En el laboratorio se realizaron experimentos de compactación de probetas cilíndricas después de crear mezclas de concreto que contenían distintas cantidades de escoria de electrodo y cemento. Los resultados recogidos demuestran que la adición de escoria de electrodo al concreto aumentó significativamente su resistencia. A los 28 días se obtuvo una resistencia superior a la requerida mejorando considerablemente el tiempo y los costes de construcción. También se comprobó que el impacto medioambiental de la escoria de electrodo como subproducto de la soldadura podía disminuir gracias a una gestión más eficaz. En conclusión, la investigación respalda la viabilidad y efectividad de la incorporación de escoria de electrodos para mejorar la resistencia del concreto en la región de Tacna. La práctica no solo promueve construcciones más duraderas y eficientes, sino que también presenta beneficios económicos.

Palabras clave: Agregados; cemento; compresión; concreto; electrodo; ensayos; escoria.

ABSTRACT

The main objective of this research is to evaluate the feasibility of improving the strength of concrete in the Tacna area by integrating electrode slag in concrete, as well as its effects on the environment and the economy. Samples of cement from the region and electrode slag, as well as aggregates from nearby quarries, were collected. Laboratory experiments were then conducted to examine the chemical and physical characteristics of the electrode slag, as well as its contribution to concrete strength. Cylindrical specimen compaction experiments were conducted in the laboratory after creating concrete mixtures containing different amounts of electrode slag and cement. The results show that the addition of electrode slag to the concrete significantly increased its strength. At 28 days, a higher strength than required was obtained, considerably improving construction time and costs. It was also found that the environmental impact of electrode slag as a by-product of welding could be reduced through more effective management. In conclusion, the research supports the feasibility and effectiveness of incorporating electrode slag to improve concrete strength in the Tacna region. The practice not only promotes more durable and efficient constructions, but also presents economic benefits.

Keywords: Aggregates; cement; compression; concrete; electrode; tests; slag.

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción se encuentra en constante búsqueda de innovaciones que mejoren la eficiencia, sostenibilidad y durabilidad de las estructuras. En este sentido, la presente tesis se centra en la evaluación de la incorporación de escoria de electrodos como un componente clave para mejorar la resistencia a la compresión del concreto.

La resistencia a la compresión del concreto juega un papel fundamental en la seguridad y durabilidad de las estructuras construidas. Sin embargo, el uso generalizado de concreto convencional en Tacna ha llevado a períodos prolongados para alcanzar la resistencia especificada, resultando en tiempos y costos de construcción significativos. La investigación plantea como objetivos (1) Evaluar y demostrar cómo la incorporación de escoria de electrodos en la mezcla de concreto puede mejorar la resistencia a la compresión del concreto en construcciones de la región de Tacna, (2) Determinar cómo las propiedades químicas se compatibilizan con las del Cemento Portland IP y contribuyen a la mejora de la resistencia a la compresión del concreto en construcciones de la región de Tacna, (3) Comparar los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión entre las mezclas de concreto con porcentajes de sustitución del 0 %, 4 %, 8 % y 12 % de escoria de electrodos y (4) Cuantificar y analizar el impacto económico de la sustitución de cemento por escoria de electrodos en la producción de concreto en la región de Tacna.

La presente tesis se organiza en 7 capítulos cada uno abordando aspectos esenciales de la evaluación de la incorporación de escoria de electrodos en el concreto en la región de Tacna. A continuación, se detalla el contenido de cada capítulo:

En el Capítulo I (El Problema) se expone un análisis detallado de la problemática, destacando la utilización predominante de concreto convencional en Tacna y sus implicaciones en tiempo y costos de obra. Se justifica la necesidad de la investigación y se plantean los objetivos específicos para evaluar la viabilidad de la escoria de electrodos como mejora en la resistencia a la compresión del concreto convencional.

En el Capítulo II (Fundamento Teórico) se desarrolla los fundamentos teóricos que sustentan a las dos variables (1) Variable independiente (Incorporación de Escoria de Electrodos) y (2) Variable Dependiente (Resistencia a la Compresión del Concreto).

En el Capítulo III (Metodología) se define la hipótesis de la investigación: "La incorporación de escoria de electrodos en la mezcla de concreto resultará en un aumento significativo en la resistencia a la compresión de las estructuras de concreto en la región de Tacna". Se detallan el tipo y nivel de investigación, la población de estudio, las técnicas de recolección de datos y los métodos de análisis estadístico-utilizados para evaluar la efectividad de la escoria.

En el capítulo IV (Resultados) se explican los resultados del trabajo de campo, resaltando la validación de la propuesta a través del uso del método estadístico aplicado a los datos obtenidos en laboratorio, se valida la hipótesis planteada.

En el capítulo V (discusión) se interpreta los resultados obtenidos y se contrasta con los de otras investigaciones para poder hallar diferencias o semejanzas.

En el capítulo VI (conclusiones) se resume de manera concisa los resultados obtenidos y si estos cumplen con las hipótesis planteadas.

En el capítulo VII (recomendaciones) en este capítulo de acuerdo con la experiencia durante la investigación se da pautas para futuras investigaciones.

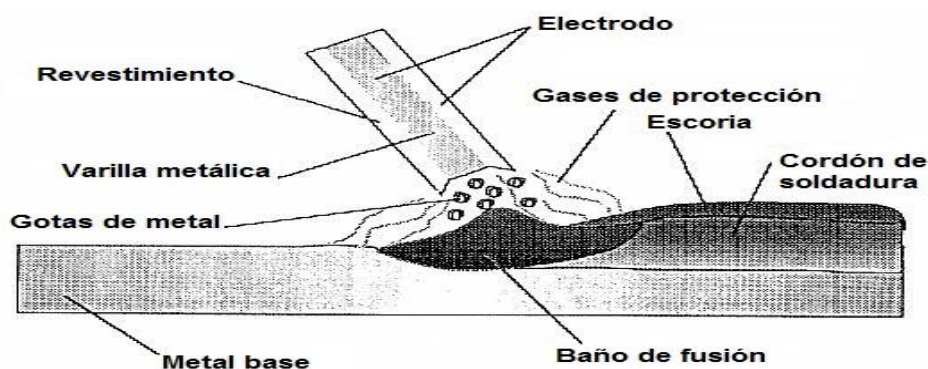
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

En la región de Tacna, la industria de la soldadura tiene una presencia considerable, con aproximadamente 130 talleres de soldadura operativos, según estimaciones basadas en registros comerciales. Esta actividad genera una cantidad significativa de residuos, entre ellos la escoria de electrodos resultante de la soldadura, que no está siendo gestionado adecuadamente lo cual genera un impacto negativo en el medio ambiente. Así mismo, la generación diaria de escoria puede variar desde unos pocos kilos en talleres pequeños hasta decenas o incluso cientos de kilos en empresas grandes, especialmente cuando se utilizan procesos con alta generación de escoria. La utilización de electrodos en el departamento de Tacna es utilizada de diferentes maneras en el ámbito de la construcción, por ejemplo: Soldadura de Estructuras metálicas, Carpintería metálica, tubos de acero, engranajes, etc. Por lo mencionado anteriormente su uso genera un gran desperdicio, debido a una mala técnica de soldadura o por la velocidad al momento de soldar, en consecuencia, se puede generar inclusiones de escoria y defectos de soldadura, tal como se observa en la Figura 1.

Figura 1

Soldadura de arco con electrodo



Nota: Es un proceso ampliamente utilizado en la industria gracias a su flexibilidad, facilidad de uso y bajo costo de implementación.

Estos desperdicios generados producto de la soldadura con electrodos deben ser almacenados en los talleres donde se hacen trabajos relacionados con el uso de dicho material, con el fin de aprovecharlos posteriormente, principalmente en el sector

de la construcción donde se demanda gran cantidad de presupuesto en los materiales a usarse en los diferentes proyectos ingenieriles. Las infraestructuras ejecutadas en la región, tales como canales, veredas, pórticos y viviendas, no incorporan este material en su diseño ni ejecución, principalmente por el desconocimiento de sus propiedades y posibles aplicaciones. Esta situación se agrava en el caso de las edificaciones informales, donde la falta de supervisión técnica rigurosa en la construcción con concreto armado da a lugar a estructuras con mezclas de baja calidad, sin control de materiales ni evaluación de desempeño.

El uso de cemento en la fabricación de concreto estructural es fundamental para obtener una resistencia alta a la compresión, pero su costo es elevado, por lo que viabilizar una alternativa que nos reduzca dicho costo, sería factible para la gran mayoría de obras que se realizan en el Perú y en nuestra región.

El concreto convencional se usa en la construcción de diversas estructuras, como edificios, puentes, carreteras, colegios, viviendas, etc., pero existe la oportunidad de mejorar la resistencia a la compresión del concreto a través de la incorporación de escoria de electrodos en la mezcla. Sin embargo, es necesario investigar la efectividad de esta práctica, su impacto económico, y proporcionar pautas para su uso en proyectos locales. La Figura 2 muestra los materiales predominantes en las construcciones peruanas.

Figura 2

Estadística del tipo de material de las construcciones de viviendas peruanas



Nota: El 55.8% de las viviendas en el país son de ladrillo o bloques de cemento, de acuerdo con el último censo nacional, señaló el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Esta investigación aborda el problema evaluando la viabilidad de la escoria de electrodos para mejorar la resistencia del concreto en Tacna y comparándola con el concreto convencional, con el objetivo de beneficiar la industria de la construcción local.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Interrogante general

¿Cómo la incorporación de escoria de electrodos en la mezcla de concreto mejora la resistencia a la compresión en construcciones de la región de Tacna?

1.2.2 Interrogantes específicas

- a. ¿Cuáles son las propiedades químicas de la escoria de electrodos y cómo se compatibilizan con las del Cemento Portland IP?
- b. ¿Cómo afecta la sustitución de cemento por escoria en porcentajes del 0%, 4%, 8% y 12% en la resistencia a la compresión del concreto?
- c. ¿Cuál es el impacto económico de la utilización de escoria de electrodos como sustituto parcial del cemento en la producción de concreto en la región de Tacna?

1.3 Justificación de la investigación

A continuación, se justificará en los siguientes aspectos:

a. Justificación Ambiental

Desde la perspectiva ambiental, la escoria de electrodos es un residuo generado durante procesos de soldadura y usualmente se desecha sin un tratamiento adecuado, contribuyendo a la acumulación de residuos sólidos. La investigación propuesta busca abordar estos problemas al explorar la viabilidad de la escoria de electrodos como un componente sustentable en la mezcla de concreto. Al reutilizar este residuo industrial, se contribuirá a la reducción de desechos y al fomento de prácticas más amigables con el medio ambiente.

b. Justificación Social

Desde la perspectiva social, esta investigación se enfoca en generar conciencia sobre el aprovechamiento de residuos industriales en la construcción civil, promoviendo prácticas más sostenibles y responsables dentro de la sociedad. Asimismo, su implementación beneficiará a comunidades locales al fomentar el uso de materiales reciclados y contribuir al desarrollo de construcciones más accesibles, seguras y duraderas.

c. Justificación Económica

Desde una perspectiva económica, la reutilización de escoria de electrodos representa una alternativa viable para reducir costos en la producción de concreto, especialmente en contextos donde los materiales tradicionales tienen un costo elevado o escasa disponibilidad. Al aprovechar un subproducto que normalmente se considera desecho, se reduce la dependencia de insumos tradicionales y se optimizan los recursos. Este enfoque impulsa la eficiencia de los recursos económicos, también la viabilidad financiera de futuros proyectos de construcción.

d. Justificación Científica

La presente investigación contribuye al avance del conocimiento científico en el campo de la tecnología del concreto, evaluando el comportamiento mecánico del material con la adición de un componente no convencional. Generar datos experimentales sobre la influencia de la escoria de electrodos en la resistencia a la compresión permitirá validar o descartar su uso técnico a nivel estructural. Este estudio también sirve de base para futuras investigaciones relacionadas con el uso de residuos industriales como materiales alternativos en la ingeniería civil, promoviendo la innovación en soluciones constructivas sostenibles.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar y demostrar cómo la incorporación de escoria de electrodos en la mezcla de concreto puede mejorar la resistencia a la compresión del concreto en construcciones de la región de Tacna.

1.4.2 Objetivos específicos

- a. Determinar cómo las propiedades químicas de la escoria se compatibilizan con las del Cemento Portland IP y contribuyen a la mejora de la resistencia a la compresión del concreto en construcciones de la región de Tacna.
- b. Comparar los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión entre las mezclas de concreto con porcentajes de sustitución del 0 %, 4 %, 8 % y 12 % de escoria de electrodos.
- c. Cuantificar y analizar el impacto económico de la sustitución de cemento por escoria de electrodos en la producción de concreto en la región de Tacna.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La incorporación de escoria de electrodos en la mezcla de concreto resulta en un aumento significativo en la resistencia a la compresión de las estructuras de concreto en la región de Tacna.

1.5.2 Hipótesis específicas

- a. Las propiedades químicas de la escoria de electrodos y Cemento Portland IP se compatibilizan y tendrán un impacto positivo en la resistencia a la compresión del concreto en construcciones de la Región de Tacna.
- b. A medida que aumenta el porcentaje de sustitución de cemento por escoria de electrodos, la resistencia a la compresión del concreto también aumentará de manera proporcional.
- c. La sustitución de cemento por escoria de electrodos tiene un impacto económico significativamente diferente en comparación con el uso de concreto convencional.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

2.1.1 Antecedentes locales

Sarmiento y Huisa (2008) en su investigación “Sustitución de los Agregados por Escoria de Cobre en la Elaboración del Concreto”, tuvo como propósito analizar la factibilidad técnica de incorporar las escorias de cobre como componente del concreto. Concluyen que el porcentaje óptimo para la sustitución de agregado fino por escoria es del 20 % de escoria y 80 % de agregado fino en volumen, ya que esta proporción resulta en una resistencia significativamente mayor. También concluyen que al lograr resistencias superiores a los 210 kg/cm² establecidos en el diseño de mezcla, se podría reducir la cantidad de materiales necesarios para el concreto, manteniendo altas resistencias en comparación con el concreto común.

Aragón y Montoya (2022) en su tesis titulada “Determinación de la Resistencia a la compresión del Concreto reciclado para Construcciones ecoeficientes en la Ciudad de Tacna, 2022” se realizó con el propósito de ver la posibilidad de usar concreto reciclado, por lo tanto, se utilizaron concretos con una resistencia original de 210 kg/cm², los cuales fueron sometidos a un proceso de molienda para reducir su tamaño. De los resultados obtenidos, se concluyó que al sustituir el 100 %, 75 % y 50 % del agregado no se logró alcanzar la resistencia de diseño. No obstante, al reemplazar el 15 % y 25 % del agregado grueso, se alcanzaron resistencias promedio de 230.06 kg/cm² y 231.75 kg/cm², respectivamente.

Zúñiga y Condori (2019) en su tesis titulada “Influencia de adiciones de Microsílice en la resistencia a la compresión del concreto producido con agregados de la Cantera de Arunta de la Ciudad de Tacna”, tiene como objetivo reemplazar el cemento Portland por Microsílice en porcentajes de 4 % y 8 % en relación con el peso del cemento, posteriormente se evaluó la mejora de la resistencia del concreto. Los resultados que se obtuvieron fueron favorables, ya que se tuvo una resistencia mayor a 210 kg/cm². Con adición del 8% de Microsílice se obtuvo una resistencia a la compresión de concreto de 396.69 kg/cm² y con el 4 % de Microsílice se obtuvo una resistencia de 334.89 kg/cm².

2.1.2 Antecedentes nacionales

Escobedo y Córdova (2022) presentaron la tesis llamada “Resistencia A La Compresión Axial Del Concreto $F'c=210$ Kg/cm² Diseñado Con Material Árido Artificial (Escoria Siderúrgica) Reemplazando El Agregado Fino En Porcentajes De 10 %, 15 % Y 20 %”, el propósito principal de la investigación consistió en determinar si la incorporación de escoria siderúrgica como reemplazo parcial en el diseño del concreto contribuye a mejorar o conservar la resistencia a la compresión en comparación con un concreto tradicional. Los resultados de las probetas analizadas muestran que aquellas con incorporación de escoria siderúrgica exhiben una resistencia superior en comparación con las probetas estándar. Específicamente, las probetas con un contenido del 15 % y 20 % de escoria son las más resistentes a los 28 días. Los resultados indican que el concreto con una sustitución del 15 % de escoria siderúrgica obtuvo una resistencia a la compresión de 238 kg/cm², mientras que el concreto con un 20 % alcanzó 232.39 kg/cm², evidenciando una variación de solo 5.61 kg/cm². No obstante, ambas variantes superaron en más de 20 kg/cm² la resistencia para la cual fueron diseñadas.

Lozano y Álvarez (2021) presentaron la tesis llamada “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”, el estudio tuvo como propósito analizar el desempeño de la escoria de acero como reemplazo parcial del agregado fino, considerando su influencia en la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto. Los resultados obtenidos confirman la viabilidad de emplear la escoria de acero como reemplazo del agregado fino, evidenciándose mejoras significativas tanto en la resistencia a la compresión como en la resistencia a la flexión en comparación con los concretos convencionales. No obstante, los resultados experimentales indican una relación no lineal entre el contenido de escoria de acero y la resistencia a la compresión. Específicamente, el concreto con un 30 % de reemplazo de agregado fino por escoria de acero (E30) supera en resistencia a la compresión al concreto con un 40 % de reemplazo (E40).

Quispe y Ortiz (2020) presentaron la tesis llamada “Análisis del comportamiento del concreto con la inclusión de escoria de cobre utilizando agregado de las canteras Icuy de Ilo y la poderosa de Arequipa”, en este estudio se evaluó la introducción de escoria de cobre como agregado fino en concretos elaborados, con los agregados provenientes de la cantera de la Poderosa de Arequipa e Icuy de la provincia de Ilo, en la que demostró un impacto positivo. En estado fresco, se observó una mejora de la trabajabilidad del concreto, pero por otro lado en estado endurecido se observaron mejoras significativas en las resistencias a la tracción, flexión, y compresión, tanto para

el agregado de Ilo como para el de Arequipa. El rendimiento máximo en compresión se obtuvo con una dosificación del 20 % de escoria de cobre, alcanzando 426.72 kg/cm² para los concretos con agregados de Arequipa y 420.80 kg/cm² para los elaborados con agregados de Ilo. Estas cifras representan incrementos del 23.10 % y del 26.82 %, respectivamente, en relación con los concretos patrones, lo que evidencia la viabilidad técnica de emplear escoria de cobre como reemplazo del agregado fino en las mezclas estudiadas.

2.1.3 Antecedentes internacionales

Espinoza y Escalante (2011) en su investigación “Comparación de las propiedades del concreto utilizando escoria de alto horno como reemplazo parcial y total del cemento Pórtland ordinario”, En el presente estudio se elaboraron dos grupos de concretos conforme a las directrices establecidas en la norma ACI 211.1. El primero incluyó mezclas con sustituciones parciales del 30 %, 50 % y 70 % de escoria de alto horno (EAH) en reemplazo del cemento Pórtland (CP), mientras que el segundo grupo estuvo conformado por concretos elaborados exclusivamente con EAH, activada químicamente con 4 %, 6 % y 8 % de óxido de sodio (Na₂O). Todos los especímenes fueron evaluados mecánicamente desde los 1 hasta los 28 días. Los resultados indicaron que la sustitución parcial del CP por EAH no mejoró las propiedades mecánicas del concreto. No obstante, cuando el reemplazo fue total y la EAH fue activada con Na₂O, se obtuvieron resistencias superiores a las alcanzadas por los concretos convencionales elaborados únicamente con CP.

Hernández y Rojas (2021) en su tesis titulada “Estudio de la Resistencia a la Compresión del Concreto, con vidrio molido reciclado como sustituto parcial del agregado fino”, Este estudio propone utilizar vidrio molido reciclado, proveniente de desperdicios generados en fábricas, para reemplazar al agregado fino en proporciones de 0 %, 4 %, 5 % y 6 %. Por lo tanto, se elaboraron 4 diseños de mezclas: uno sin sustitución de vidrio, y tres con los porcentajes mencionados de vidrio molido. Los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron a los 7, 14 y 28 días de curado. Los resultados obtenidos fueron favorables, ya que se registró un incremento del 6,5 % en la resistencia a la compresión respecto a la mezcla patrón, correspondiente al ensayo realizado a los 28 días.

Prieto y Montaña (2019) en su investigación titulada “Evaluación Mecánica y Ambiental del Uso de Ceniza Volante con Activación Alcalina como Alternativa de Reemplazo total del Cemento en la Elaboración de Tabletas Prefabricadas”, propone el

uso de ceniza volante activada alcalinamente para reemplazar por completo al cemento Portland en la fabricación de tabletas prefabricadas. Por lo tanto, se determinó la proporción óptima entre la ceniza volante y activador alcalino y, así como la realización de pruebas mecánicas de resistencia a la compresión y módulo de rotura. Los resultados mostraron que los morteros fabricados con ceniza volante poseen adecuadas propiedades mecánicas y ofrecen una alternativa ambientalmente viable, al contribuir a la disminución de la huella de carbono. Esto posiciona a dichos morteros como una alternativa sostenible frente al cemento Portland, especialmente en la fabricación de elementos prefabricados, debido a su menor impacto ambiental.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Cemento

Es un material fundamental en rama de la ingeniería civil y proyectos de edificación. Su principal característica es que al mezclarse con áridos y agua, forma una masa plástica que, tras un proceso de fraguado y endurecimiento, se convierte en una piedra artificial resistente. Este proceso, que permite moldear el material antes de su endurecimiento, confiere al cemento propiedades destacadas como la moldeabilidad, la resistencia mecánica y la durabilidad, cualidades que explican su amplio uso en la construcción de infraestructuras, viviendas y diversos elementos estructurales (Sanjuán Barbudo & Chinchón Yepes, 2014, pág. 4). Los cementos son la parte más importante del concreto y representan entre el 5 % y el 15 % del volumen. Su fraguado, que se endurece con agua, produce una reacción química, es lo que los llama cementos hidráulicos.

2.2.2 Cemento portland

Según Sanjuán Barbudo y Chinchón Yepes (2014), dicho autores definen al cemento como un material pulverulento de granulometría fina, constituido principalmente por silicatos de calcio y, en menor medida, por aluminatos de calcio. Al entrar en contacto con agua, se combina, dando lugar a un proceso llamado fragua y se endurece a temperatura ambiente.

El cemento portland se produce agregando piedra caliza y arcilla. Después de ser molidos y mezclados en hornos rotatorios grandes a temperaturas que oscilan entre 1400 y 1500 °C, se obtiene el clinker, que es un material sólido oscuro. Después de enfriarse, se agrega yeso, que regula el tiempo de fragua, y se muele muy finamente. La Tabla 1 muestra la composición del Cemento Portland.

2.2.2.1 Composición química del Cemento Portland

En la tabla 1 se presentan los compuestos principales del cemento.

Tabla 1

Compuestos principales del cemento

Compuesto	Descripción
Silicato tricálcico (C3S)	<ul style="list-style-type: none"> • Constituye del 50 % al 70 % del Clinker. • Responsable del inicio del fraguado del cemento. • Contribuye resistencia mecánica a corto y largo plazo (siendo mayor a medida que aumenta el C3S).
Silicato dicálcico (C2S)	<ul style="list-style-type: none"> • Constituye del 15 % al 30 % del Clinker. • Favorece al incremento de f'c de 7 días en adelante.
Aluminato tricálcico (C3A)	<ul style="list-style-type: none"> • Representa aprox. Entre el 5 % al 10 % del Clinker. • Favorece al desarrollo de la resistencia inicial y al proceso de fraguado del cemento.
Ferro aluminato tetracálcico (C4AF)	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta Clinker, aprox. del 5 % al 15 %. • Presenta hidratación rápida, pero influye muy poco al f'c del concreto.

2.2.2.2 Tipos de Cemento Portland

En la Tabla 2 se muestra varios tipos de cemento portland que se producen actualmente para usos particulares. Estos se realizan de acuerdo con las especificaciones reglamentarias del país correspondiente. En nuestro país, la Norma Técnica Peruana NTP 334.009 (Requisitos para Cementos Portland) se basa en la ASTM C 150 e incluye cinco tipos de cementos.

Tabla 2*Tipos de cemento portland*

Tipo	Especificación
I	Ideal para usos en los que no se requieren las características únicas de otros tipos de cemento. Pavimentos, pisos, puentes, etc. son algunos de sus trabajos en concreto.
II	Es posible su uso en estructuras comunes y en componentes expuestos a aguas subterráneas y suelos donde hay niveles más altos de calor o sulfatos, pero no extremas.
III	Desarrolla una alta resistencia inicial, con una duración típicamente de 7 días o menos. Se emplea en obras donde es necesario remover los encofrados en el menor tiempo posible.
IV	Su uso es favorable en situaciones en las que se requiera reducir la liberación de calor de hidratación. Como consecuencia, la ganancia de resistencia se manifiesta con mayor lentitud.
V	Se emplea en concretos expuestos a ambientes con elevadas concentraciones de sulfatos, especialmente en zonas donde el terreno y el agua subterránea presentan altas concentraciones de estos compuestos.

2.2.2.3 Tipos de Cemento Portland Adicionados y Mezclados

Los cementos tipo portland también se pueden fabricar agregando otros componentes que mejoran sus propiedades; los componentes más comunes son la puzolana y la escoria. La Norma NTP 334.090 regula estos cementos adicionales, que especifica seis tipos de cemento que se enumeran en la Tabla 3, así como los cementos portland regulados por la Norma NTP 334.082.

Tabla 3*Tipos de cemento portland mezclados o adicionados*

Tipo	Especificación
IP	Este tipo de cementos se utilizan en proyectos de concreto típicas.
I(PM)	Con adición de puzolana se utilizan generalmente en construcciones civiles.
IS	Los mezclados con escoria se utilizan en la mayoría de las obras, principalmente para crear morteros.
IS (SM)	Este tipo de cemento con escoria se utilizan con frecuencia en construcciones.
P	Adicionados con puzolana se utilizan con frecuencia en construcciones comunes, especialmente cuando se requieren resistencias bajas a compresión.
ICo	Los de tipo compuestos se utilizan con frecuencia en construcciones típicas.

2.2.3 Agregados

Los agregados pétreos constituyen un elemento esencial en la elaboración del concreto hidráulico, de concreto asfáltico y de capas granulares utilizadas en infraestructura. Las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales influyen de manera directa tanto en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido. Los agregados representan entre el 70 % y el 80 % del volumen del concreto, razón por la cual resulta indispensable conocer en detalle sus características y la forma en que estas afectan las propiedades del material (Patricia León & Ramirez, 2010).

Los agregados tienen que cumplir con las especificaciones técnicas establecidas en las normas ASTM C33 y NTP 400.037. Para crear concreto, generalmente se utilizan agregados finos como la arena y agregados gruesos como la grava. Para concretos con resistencias menores a 100 kg/cm², se utiliza una mezcla de agregados llamada hormigón.

2.2.3.1 Agregado grueso

La porción del agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm se denomina agregado grueso (N° 4). La obtención de este agregado debe ser obtenida a partir de la trituración de roca, grava o una combinación de ambas. Los fragmentos deben ser limpios, resistentes y duraderos, y no deben contener partículas insignificantes planas, alargadas, blandas o desintegrables. No habrá polvo, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales en la mezcla de concreto.

2.2.3.2 Agregado fino

La fracción que supera el tamiz de 4.75 mm (N° 4) se considera como tal. Será de arenas naturales o de escorias de la trituración de rocas, gravas y escorias de la industria siderúrgica. El porcentaje de arena triturada en el agregado fino no debe superar el 30 %.

2.2.3.3 Hormigón

Según Abanto (2016) el agregado integral u hormigón se define como una mezcla natural, en cantidades arbitrarias, de arena y grava que provienen de canteras específicas o del río. Los componentes deben estar hechos de material retenido en la malla No 200, y como máximo, debe pasar la malla de 2".

2.2.4 Agua

Según Kosmatka (2004) la fabricación de concreto requiere agua transparente, que puede ser potable, sin color u olor.

Se debe considerar cuidadosamente la calidad del agua, ya que puede contener elementos dañinos y sustancias nocivas que puedan dañar el concreto. Los parámetros están regulados por la Norma NTP 339.088 y se aplican los requisitos para la mezcla y cura del concreto.

2.2.5 Electrodo

El electrodo consiste en una varilla metálica que, al llevarse a cabo el proceso de soldadura, se funde y deposita sobre el material base, aportando el metal requerido

para lograr la unión de las piezas. El metal adicional debe tener características similares o superiores al metal base para garantizar una soldadura homogénea.

2.2.5.1 Revestido

Se componen de un núcleo de metal y un revestimiento hecho de sustancias químicas. Estas brindan estabilidad al arco eléctrico y protegen al metal fundido de la atmósfera. El material de aporte es el núcleo metálico. Hay varios electrodos revestidos, según la composición de estos, tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Tipos de electrodos revestidos

Tipo	Especificación	Normativa
Rutilo	Están cubiertos con rutilo o óxido de titanio. Son fáciles de manejar y son perfectos para soldar chapas de acero y chapas de acero finas.	AWS A5.1 (acero al carbono E6013, E7014
Básicos	El carbonato cálcico los cubre.	AWS A5.1, AWS A5.5 (baja aleación) E7016, E7018, E8018
Ácido	El compuesto que cubre estos electrodos está hecho de sílice, manganeso y óxido de hierro.	AWS A5.1 E7024
Celulósicos	Están revestidos con compuestos orgánicos o celulosa.	AWS A5.1 E6010, E6011

2.2.5.2 No revestido

No tienen cubierta. Solo se utilizan para soldaduras a gas. La protección externa es crucial para evitar la entrada de oxígeno y nitrógeno. Este tipo de soldadura se utiliza en la soldadura TIG (con electrodos de tungsteno) y produce acabados muy buenos en una variedad de materiales.

2.2.6 Concreto

El concreto es un material compuesto que se obtiene al mezclar en proporciones determinadas de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que en un principio presenta una consistencia plástica y moldeable, y que con el tiempo desarrolla rigidez, además de propiedades aislantes y de resistencia, convirtiéndolo en un material idóneo para la construcción (Abanto, 2016).

Una pasta formada por cemento y agua se conoce como aglutinante, y es utilizada para unir agregados compuestos de arena y grava. Se pueden agregar otros materiales como puzolana, escorias o adiciones cementantes para darle a la pasta características adicionales.

2.2.7 Propiedades del concreto

2.2.7.1 Estructura Interna del Concreto

La composición interna del concreto una vez endurecido está formado por un aglutinante que constituye su matriz principal, la cual resulta de la mezcla entre cemento y agua. Esta matriz une los agregados finos y gruesos, además de contener aire y ciertos vacíos. La resistencia del concreto una vez endurecido se atribuye principalmente a la capacidad de la pasta para adherirse de manera sólida a los agregados y soportar esfuerzos de tracción y compresión, así como al efecto estructural derivado de la organización interna de sus partículas.

2.2.7.2 Propiedades Principales del Concreto fresco

a. Trabajabilidad

Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian. Está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa (Abanto, 2016).

b. Segregación

Según Diaz y Millones (2019) nos dice que, las diferencias de densidad entre los materiales que conforman el concreto, las partículas más pesadas tienden a desplazarse hacia el fondo. Sin embargo, en términos generales, la densidad de la pasta junto con los agregados finos suele ser cerca de un 20 % menor que la de los agregados gruesos, considerando materiales convencionales. Este factor, junto con la viscosidad de la mezcla, hace que los agregados gruesos permanezcan suspendidos en la matriz de concreto.

Cuando la viscosidad del mortero se reduce debido a factores como una proporción insuficiente de pasta, una distribución deficiente de las partículas o una granulometría inadecuada, las partículas más grandes tienden a desprenderse del mortero, produciéndose así el fenómeno denominado segregación.

c. Exudación

Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto. Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades. Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla N° 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla. La exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura, luego lo importante es evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener (Abanto, 2016).

d. Contracción

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia. La pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible. Pero además existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, dado que ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 142).

2.2.7.3 Propiedades Principales del Concreto Endurecido

a. Elasticidad

Se define como la capacidad del concreto para deformarse bajo la acción de una carga sin sufrir deformaciones permanentes. En términos conceptuales, las mezclas con mayor contenido de materiales cementantes presentan módulos de elasticidad más altos y una mayor capacidad de deformación que aquellas con menor riqueza. La norma que regula la determinación del módulo de elasticidad estático del concreto es la ASTM C-469.

b. Resistencia

Se define como la capacidad del concreto para resistir cargas y esfuerzos, destacando su mejor desempeño a compresión que a tracción, lo cual se debe a las propiedades de adherencia de la pasta de cemento. La resistencia resultante depende especialmente de la concentración de la pasta, generalmente representada por la relación agua-cemento en peso. Asimismo, está condicionada por factores que afectan las propiedades mecánicas de la pasta, como el tiempo y la temperatura, así como por otros elementos adicionales, incluyendo el tipo y las características del cemento empleado y la calidad de los agregados que componen la matriz del concreto.

c. Extensibilidad

Capacidad del aglutinante para deformarse sin presentar grietas. Esta propiedad se determina a partir de la deformación unitaria máxima que el material puede soportar antes de que aparezcan fisuras. Su comportamiento está condicionado por la elasticidad del concreto y por el llamado flujo plástico, el cual corresponde a la deformación que experimenta el material cuando se somete a una carga constante durante un periodo prolongado.

2.2.8 Ensayos en el concreto

2.2.8.1 Ensayos en el concreto fresco

a. Consistencia

El ensayo de asiento, también conocido como "ensayo de slump" o "ensayo de caída", se emplea de manera extensa para evaluar el comportamiento del concreto en estado fresco. La prueba, creada por Duff Abrams, fue incorporada por el ASTM en 1921 y posteriormente actualizada en 1978.

Este método de evaluación del revenimiento o asentamiento de la mezcla de concreto fresco se lleva a cabo utilizando un dispositivo conocido como cono de Abrams y se evalúa la consistencia de acuerdo a la medición del asentamiento (cm) según la Tabla 5.

Tabla 5

Consistencia y asentamientos

Consistencia	Asentamiento (cm)
Seca	0 – 5
Plástica	7.5 – 10
Fluida	>12.5

b. Contenido de aire

Existen diferentes maneras de determinar el contenido total de aire en el concreto; entre ellas, los métodos gravimétricos, volumétrico y de presión son los más utilizados y eficaces.

c. Peso unitario

El peso unitario del concreto constituye un parámetro esencial en el diseño y la ejecución de estructuras de concreto. Este indica el peso por unidad de volumen del concreto, ya sea en estado fresco o endurecido, y se expresa habitualmente en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o en libras por pie cúbico (lb/ft^3). El conocimiento del peso unitario es esencial para estimar la cantidad de material necesario, calcular cargas estructurales y diseñar adecuadamente los elementos de construcción.

d. Temperatura

El propósito de este proceso es determinar la velocidad con la que aumenta el fraguado inicial del concreto.

Según Riva (2004), no hay un método único o estandarizado para determinar la temperatura del concreto fresco. En caso de realizarse estas mediciones en obra, se emplearían los termómetros comúnmente utilizados en este tipo de trabajos.

2.2.8.2 Ensayos en el concreto endurecido

a. Ensayo de compresión en probetas cilíndricas

Los estándares para la fabricación y medición de la capacidad a la compresión están establecidos por la Norma NTP 339.034. Las pruebas se dividen en dos categorías: destructivas y no destructivas. Las primeras se utilizan para evaluar las propiedades del mismo material de concreto con el tiempo. La carga máxima aplicada y la sección de la muestra se relacionan para calcular la compresión de la muestra.

Neville (2013) indica que esta prueba es la más frecuente para evaluar la resistencia a la compresión del concreto; resulta sencilla de ejecutar y permite obtener diversas propiedades relacionadas con su resistencia.

b. Ensayo de tracción del concreto

Según Neville (2013), una prueba básica de una viga de concreto sin acero consiste en probar su flexión con cargas en dos puntos simétricos. Debido a que las cargas están distanciadas un tercio de la luz libre, el ensayo se conoce como "prueba de carga en los tercios".

Las pruebas se realizan con ensayos de tracción indirecta, en los que las muestras se colocan horizontalmente en la prensa y se aumenta la carga hasta que el cilindro en prueba falla.

2.2.9 Diseño y dosificación del concreto

“El diseño de mezclas de concreto es la aplicación técnica y práctica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y cómo interactúan para crear un material que satisfaga de manera más efectiva los requisitos específicos del proyecto de construcción” (Abanto, 2016).

2.2.9.1 Parámetros básicos de los métodos de diseño de mezclas de concreto

a. El principio de los volúmenes absolutos

Según Diaz y Millones (2019) todos los métodos precisos de diseño de mezclas se basan en considerar los volúmenes de los componentes sin tener en cuenta los espacios vacíos entre ellos. Esto, junto con el aire atrapado en el concreto, proporciona la unidad de medida estándar, que generalmente es 1 m³. Para lograr esto, se utiliza el peso específico de los sólidos, ya sea en condiciones secas o saturadas

superficialmente secas, en los cálculos para determinar los volúmenes de los componentes y así dosificarlos de manera adecuada.

b. La Resistencia en compresión y la relación Agua/Cemento

La relación agua/cemento constituye un factor esencial en el diseño de mezclas, dado que la resistencia a la compresión representa un requisito básico derivado del diseño estructural o, en ciertos casos, de las exigencias del proyectista en materia de durabilidad. Tal como se ha analizado al estudiar los conceptos relacionados con los materiales del concreto, este parámetro es el que controla en gran medida dicho comportamiento.

En determinadas situaciones, las exigencias de durabilidad de las estructuras de concreto, condicionadas por factores como la exposición ambiental, la agresividad del entorno o las condiciones de uso, requieren que, además del valor de $f'c$ establecido, se utilice una relación agua/cemento significativamente baja. Esto busca mejorar la impermeabilidad, la resistencia al desgaste y la abrasión, así como brindar mayor protección frente a agentes químicos agresivos.

c. La granulometría de los agregados y el Tamaño Máximo de la piedra

El principio de emplear granulometrías o gradaciones de agregados que permitan un óptimo encaje entre las partículas se ha adoptado y difundido a nivel global. Esto crea una estructura muy resistente, impermeable, densa y promueve la trabajabilidad.

El tamaño máximo y la forma de los agregados son aspectos clave dentro de la granulometría. Diversos estudios experimentales han demostrado que estos factores influyen directamente en la cantidad de agua necesaria para que la mezcla alcance la trabajabilidad deseada. En general, a mayor tamaño de los agregados y mayor redondez de los mismos, se requiere menos agua para mantener las condiciones de trabajabilidad.

d. La trabajabilidad y su trascendencia

Los diseñadores, productores y colocadores de concreto están más interesados en el parámetro de la trabajabilidad, pero es el más difícil de evaluar, definir y medir en términos absolutos. Se entiende como la cantidad total o mínima de trabajo necesario

para el concreto en su estado fresco a lo largo de los distintos procesos de producción, transporte, colocación, compactación y acabado.

2.2.9.2 Pasos generales en los métodos de diseño de mezclas

Teniendo en cuenta que, se conocen las propiedades de los materiales, incluyendo el sus características y el tipo de cemento, así como los agregados con sus pesos específicos y unitarios secos, humedades, granulometrías y absorciones, además de las condiciones distintivas de la obra, todos los procedimientos se ejecutan siguiendo los pasos que se describen a continuación:

- Determine la cantidad de agua necesaria para cada metro cúbico de concreto, considerando las condiciones del tamaño máximo de los agregados, trabajabilidad, y, en algunos casos, el tipo de cemento.
- Determinar la proporción de agua/cemento en peso según la resistencia en compresión requerida o la durabilidad.
- Determine el peso de cemento necesario aplicando la relación agua/cemento junto con la cantidad de agua establecida en los pasos anteriores.
- Calcular los volúmenes absolutos de agua y cemento.
- Con base en las propiedades granulométricas de los agregados, estime el porcentaje de aire por metro cúbico y el volumen total que ocupará el concreto.
- Reducir los volúmenes de cemento, agua y aire de 1 m³ para calcular el volumen total que ocuparán los agregados.
- La asignación del volumen de 6 dentro de la proporción de 7.
- Utilizando los pesos específicos secos, calcule los pesos que corresponden a los volúmenes de agregados obtenidos en 8.
- Corrección por humedad y absorción del diseño.
- Realización del diseño definitivo tanto en laboratorio como a escala de obra, con el fin de verificar sus propiedades de manera práctica y así confirmarlo o ajustarlo según sea necesario.

2.2.9.3 El método tradicional del ACI y sus alcances

El método original del ACI se estableció en 1944 y se modificó poco hasta que el Comité 212.1 emitió su versión final en 1991. Se basa en que los agregados cumplen con los requisitos físicos y granulométricos establecidos por ASTM C-33, establece

empíricamente el agua de mezcla en función del tamaño máximo del agregado y del agujero como una medida de trabajabilidad, establece empíricamente el volumen de agregado grueso compactado en seco en función solo del tamaño máximo de la piedra y del módulo de fineza de la arena, y relaciona la relación agua/cemento en peso con la resistencia. Las principales deficiencias de este método residen en que no está concebido para agregados marginales ni condiciones constructivas especiales (Tahuiton, Muciño y Guillén, 2022).

2.3 Definición de términos

2.3.1 Electrodo

Es una barra metálica que, al fundirse durante el proceso de soldadura, se deposita sobre el metal base, suministrando el material requerido para formar la unión (Almaraz, 2015).

2.3.2 Escoria

La escoria de soldadura es un residuo vítreo e inerte que se genera en la superficie de la soldadura mientras el metal fundido se solidifica (Almaraz, 2015).

2.3.3 Cemento

El cemento es un material aglutinante obtenido de la mezcla de caliza y arcilla calcinadas y luego molidas, que posee la capacidad de endurecer al entrar en contacto con el agua (Abanto, 2016).

2.3.4 Concreto

Es una combinación de cemento, agregados, aditivos y agua, que es moldeable cuando está en estado líquido y presenta alta resistencia a compresión una vez endurecido (Abanto, 2016).

2.3.5 Probeta

Es una muestra de material endurecido, generalmente concreto o roca, con dimensiones específicas y conservada bajo condiciones controladas, destinada a ser sometida a ensayos posteriores (Abanto, 2016).

2.3.6 Prensa hidráulica

Es una máquina de compresión utilizada para ensayar muestras de concreto endurecido, cuyos resultados permiten evaluar la calidad y resistencia del concreto, de acuerdo con lo establecido en la norma E.060 del RNE del Perú (Abanto, 2016).

2.3.7 Agregado

El agregado es un material de textura granular, como piedra triturada o escoria, arena, grava, que se utiliza junto con un aglutinante para elaborar diferentes tipos de concreto (Abanto, 2016).

2.3.8 Curado

Es el proceso mediante el cual el concreto se mantiene en un ambiente húmedo durante varios días después de su colocación, con el objetivo de que alcance la resistencia especificada ($f'c$) de manera completa (Abanto, 2016).

2.3.9 Resistencia

Se entiende como la capacidad de un material para soportar una carga por unidad de área, medida comúnmente en kg/cm^2 , MPa o, en ciertos casos, en libras por pulgada cuadrada (psi) en términos de esfuerzo (Abanto, 2016).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño de investigación

El diseño de tesis es experimental no probabilística, ya que se realizaron investigaciones bibliográficas para determinar las propiedades químicas de la escoria de electrodos y Ensayos de laboratorio (Rotura de briquetas) para determinar su contribución a la resistencia del concreto. Además, se analizaron cómo la sustitución de cemento por escoria en porcentajes del 0 %, 4 %, 8 % y 12 % afecta la resistencia a la compresión del concreto. Estas pruebas se llevarán a cabo en un entorno controlado de un laboratorio de materiales de construcción.

3.2 Acciones y actividades

El propósito del estudio es evaluar la incorporación de escoria de electrodos en el concreto en reemplazo de cemento en porcentajes del 0 %, 4 %, 8 % y 12 %. Para iniciar con la tesis: "Evaluación de la incorporación de Escoria de Electrodos para mejorar la resistencia a la compresión del concreto en las Construcciones de la región Tacna – 2025".

Comenzamos por obtener muestras agregados disponibles en la región de Tacna, de las canteras más utilizadas para la construcción en el medio local. Así mismo se recolectó escoria de electrodos en los diferentes talleres de soldadura de estructuras metálicas y talleres de mecánica, así mismo se utilizó el cemento más utilizado en la región.

Se hizo una revisión bibliográfica para investigar las propiedades químicas de la escoria de electrodos y su contribución a la resistencia del concreto. Después, se prepara mezclas de concreto con diferentes proporciones de escoria de electrodos y cemento. Posteriormente se hace pruebas de resistencia a la compresión en probetas cilíndricas en el laboratorio.

Se registró los resultados de las pruebas y análisis de los datos obtenidos. Se efectúa análisis estadísticos de los resultados de las pruebas de laboratorio. Se interpreta los resultados y sacar conclusiones.

3.3 Materiales e instrumentos

- a. Escoria de electrodos
- b. Cemento
- c. Agregados (arena, piedra)
- d. Moldes para fabricar las probetas
- e. Prensa hidráulica
- f. Mezcladora
- g. Microsoft Excel 2021

3.4 Población y muestra de estudio

3.4.1 La población de estudio

La población para este estudio son bloques cilíndricos de concreto para roturas a compresión, que representa el concreto utilizado en la mayoría de las construcciones de la Región de Tacna.

3.4.2 La muestra de estudio

La muestra que se utiliza en la presente investigación es el reemplazo del cemento por escoria de electrodo en la fabricación de concreto en porcentajes del 0 %, 4 %, 8 % y 12 % con respecto a su peso. Los porcentajes son propuestos por el investigador.

La muestra de Estudio está conformada por 4 tipos de tratamiento del concreto como son: concreto muestra patrón 0 %, concreto con sustitución del 4 % de cemento por escoria de electrodo, concreto con sustitución del 8 % de cemento por escoria de electrodo, concreto con sustitución del 12 % de cemento por escoria de electrodo, las cuales se elaboraron en probetas de concreto. La rotura de las probetas es ensayada a los 7, 14 y 28 días para determinar su resistencia a la compresión, con la ayuda de una prensa hidráulica.

3.5 Operacionalización de variables

En la Tabla 6, muestra cómo se organizaron las variables a partir de sus dimensiones, indicadores y las técnicas metodológicas utilizadas.

Tabla 6*Operacionalización de Variables de investigación*

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala/Niveles de medición	Técnicas o métodos
Incorporación de Escoria de Electroodos	Residuo vítreo e inerte generado en procesos de soldadura, susceptible de ser molido y utilizado como material cementante suplementario en mezclas de concreto.	Propiedades Químicas	Composición Química de la Escoria	Razón	Revisión de Investigaciones y fuentes bibliográficas
		Propiedades Físicas	Granulometría y porcentaje de sustitución de la Escoria Tipo de Electrodo utilizado		Dosificación de Materiales
Resistencia a la Compresión del Concreto	Capacidad del concreto endurecido para soportar cargas de compresión por unidad de área.	Resistencia Mecánica del Concreto	Resistencia a la compresión (kg/cm ²) a 7, 14 y 28 días	Razón	Realizar ensayo de compresión en probetas cilíndricas
		Características de las probetas	Número de especímenes por edad		Evaluar de APUS de Expedientes técnicos
		Impacto económico	Análisis de Precios Unitarios		Cotización de mercado total

3.5.1 Variable independiente

Incorporación de Escoria de Electroodos

Indicadores:

- a. Composición química de la Escoria
- b. Granulometría y porcentaje de sustitución de la Escoria
- c. Tipo de Electrodo utilizado

3.5.2 Variable dependiente

Resistencia a la Compresión del Concreto

Indicadores:

- a. Ensayo de Resistencia a la Compresión kg/cm² a los 7, 14 y 28 días.
- b. Numero de Especímenes por edad.
- c. Análisis de Precios Unitarios.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En la presente tesis, se considera los siguientes procedimientos y análisis de datos:

- a. Protocolo para ensayo de materiales.
- b. Diseño de mezclas.
- c. Protocolo para pruebas a compresión.
- d. Software de análisis de datos – Excel.
- e. Cuantificar costos de APUS, mediante el software Power Cost.

3.6.1 Ensayo de materiales y diseño de mezcla

Se llevó a cabo una caracterización exhaustiva de los agregados pétreos, tanto finos como gruesos, mediante la ejecución de diversos ensayos normalizados en laboratorio. En primer lugar, se realizó el análisis granulométrico por tamizado, determinando la distribución de tamaños de partículas y verificando el cumplimiento de los usos granulométricos establecidos en las normas técnicas vigentes.

Posteriormente, se determinaron las propiedades físicas fundamentales de los agregados, incluyendo el peso específico, la absorción, el contenido de humedad, el peso unitario suelto y compactado, así como el porcentaje de finos que pasa el tamiz N° 200. Una vez obtenidos y analizados estos resultados experimentales, se procedió a la elaboración de los diseños de mezclas de concreto.

En el desarrollo de la presente investigación, se realizó el proceso de molienda y tamizado de la escoria de electrodos con el fin de obtener un material fino y homogéneo. La escoria fue pasada a través de la malla N° 200, garantizando que las partículas cumplieran con la granulometría adecuada para su uso en mezclas cementicias. Posteriormente, el material obtenido fue empleado como sustituto parcial del cemento en diferentes proporciones, con el propósito de evaluar su influencia en la resistencia a la compresión del concreto.

3.6.2 Rotura de briquetas

Se procedió a la elaboración de especímenes cilíndricos de concreto conforme a cuatro dosificaciones experimentales diferenciadas por el porcentaje de sustitución de cemento Portland IP por escoria de electrodos: muestra patrón con 0 % de reemplazo, y mezclas modificadas con sustituciones del 4 %, 8 % y 12 % respectivamente. Posteriormente, se ejecutaron ensayos de resistencia a la compresión axial sobre las probetas a edades de 7, 14 y 28 días de curado, siguiendo los lineamientos establecidos

en la Normativas vigentes, con la finalidad de evaluar comparativamente el comportamiento mecánico y cuantificar el incremento de la resistencia a la compresión respecto al concreto convencional.

3.6.3 Ensayo de agregados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en laboratorio mediante los ensayos de caracterización de agregados, los cuales se resumen en las Tablas 7, 8, 9, 10, 11 y 12. Estos ensayos fueron realizados siguiendo los procedimientos normalizados de la ASTM C33 para granulometría, así como las metodologías estándar para la determinación de humedad, peso unitario, gravedad específica y absorción.

Las Figuras 3 y 4 representan las curvas granulométricas de la piedra (agregado grueso) y el agregado fino, respectivamente, donde se aprecia visualmente la distribución del tamaño de partículas y su conformidad con los límites granulométricos establecidos.

Tabla 7

Granulometría de piedra

% Tamiz Denominación	mm	Retenido	%Retenido Acumulado	% Pasante	Especificaciones ASTM C33		Muestra : Piedra
							Cantera :
3"	75	0	0	100	100	100	
2 1/2"	63	0	0	100	100	100	Ø Máx. nominal : 1/2 "
2"	50	0	0	100	100	100	Mod. Fineza : 6,52
1 1/2"	37,5	0	0	100	100	100	Huso : 67
1"	25	0	0	100	100	100	: Observaciones
3/4"	19	0,1	0,1	99,9	90	100	
1/2"	12,5	36,3	36,4	63,6	43	70	
3/8"	9,5	19,9	56,3	43,7	20	55	
Nº 4	4,75	39,5	95,9	4,1	0	10	
Nº 8	2,36	3,8	99,7	0,3			
Nº 16	1,18	0,3	100	0			
Nº 30	0,6	0	100	0			
Nº 50	0,3	0	100	0			
Nº 100	0,15	0	100	0			
Nº 200	0,075	0	100	0			

Figura 3

Curva granulométrica – piedra

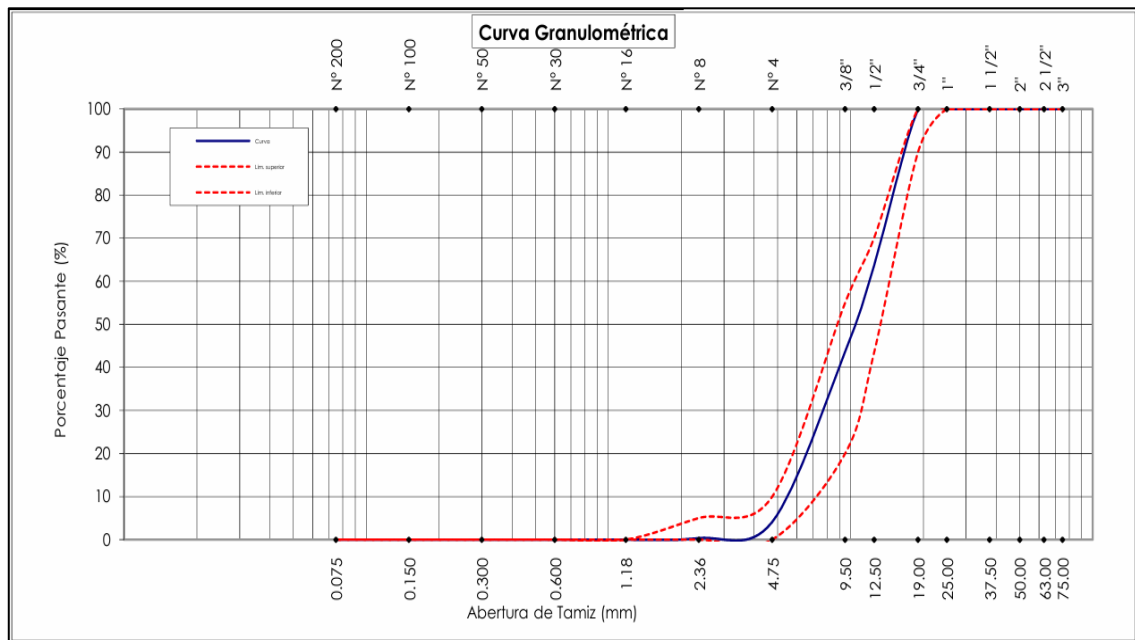
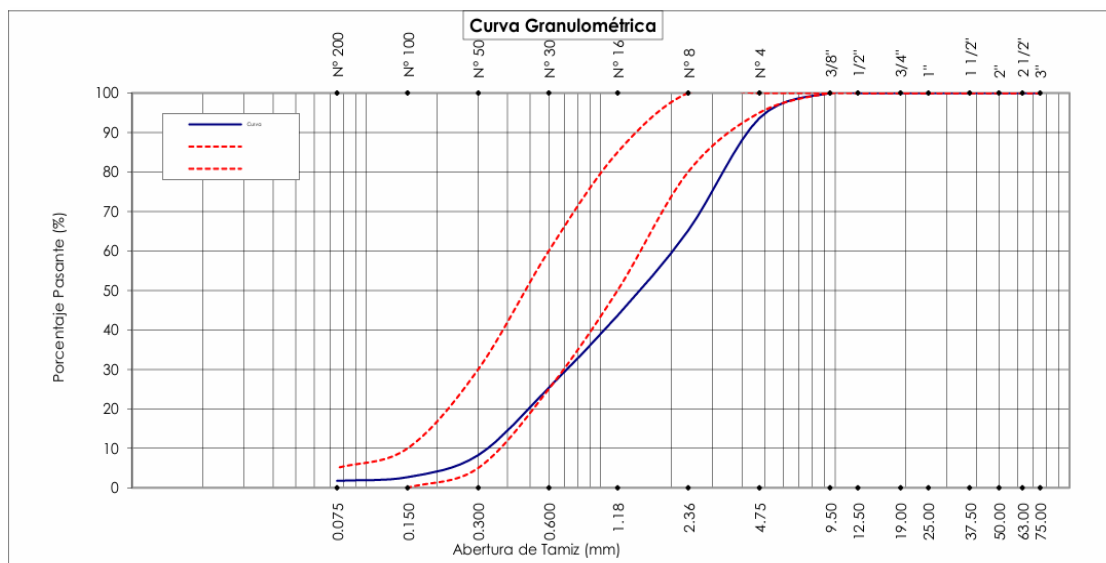


Tabla 8

Granulometría agregado grueso

Tamiz		% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante	Especificaciones ASTM C33		Muestra	Arena gruesa
Denominación	mm				Cantera	Mod. Fineza		
3"	75	0	0	100				
2 1/2"	63	0	0	100				
2"	50	0	0	100		Mod. Fineza	3,61	
1 1/2"	37,5	0	0	100		: Observaciones		
1"	25	0	0	100				
3/4"	19	0	0	100				
1/2"	12,5	0	0	100				
3/8"	9,5	0	0	100	100			
Nº 4	4,75	6,4	6,4	93,6	95			
Nº 8	2,36	28,5	34,9	65,1	80			
Nº 16	1,18	21,5	56,4	43,6	50			
Nº 30	0,6	18,3	74,7	25,3	25			
Nº 50	0,3	17,1	91,7	8,3	5			
Nº 100	0,15	5,6	97,3	2,7	0			
Nº 200	0,075	0,9	98,3	1,7	0			

Figura 4*Curva granulométrica – Agregado grueso***Tabla 9***Contenido de humedad*

Descripción	Agreg. Grueso	Agreg. Fino
N° Recipiente	1	2
Peso Recipiente (g)	768,00	931,00
Peso Recipiente + Muestra húmeda (g)	11 800,00	13 374,00
Peso Recipiente + Muestra seca (g)	11 739,00	12 940,00
Humedad (%)	0,56	3,61

Tabla 10*Peso unitario – agregado grueso y agregado fino*

Descripción	Agregado Grueso		Agregado Fino	
	Suelto	Varillado	Suelto	Varillado
Peso Molde (g)	6 391,0	6 391,0	6 391,0	6 391,0
Volumen Molde (cm ³)	9 340,1	9 340,1	9 340,1	9 340,1
Peso Muestra + Molde (g)	19 403,0	20 924,0	21 531,0	23 339,0
Peso Unitario (g/cm ³)	1,393	1,556	1,621	1,815

Nota. Ensayo de laboratorio

Tabla 11*Gravedad específica y absorción – agregado grueso*

Descripción	Datos
Peso muestra sumergida (g)	623,00
Peso muestra húmeda (Sup. Seca) (g)	1 024,90
Peso muestra seca (g)	1 009,20
Gravedad Específica (g/cm ³)	2,550
Absorción (%)	1,56

Tabla 12*Gravedad específica y absorción – agregado fino*

Descripción	Datos
Peso muestra húmeda (Sup. Seca) (g)	500,00
Peso muestra seca (g)	491,90
Peso muestra + matraz + H ₂ O (g)	1 584,30
N° de Fiola	F1
Temperatura del H ₂ O en fiola (°C)	25,00
Peso matraz + H ₂ O (g)	1 269,70
Gravedad Específica (g/cm ³)	2,697
Absorción (%)	1,65

Tabla 13*Pesos específicos del cemento, escoria y cemento con sustitución*

Material	Peso (g)	Vol. Desplazado (cm³)	P. Especifico (g/cm³)
Cemento Portland tipo IP	500	158,5	3,15
Escoria de electrodos	500	136	3,68
Cemento – 4 % por escoria	500	137	3,59
Cemento – 8 % por escoria	500	138,1	3,62
Cemento – 12 % por escoria	500	139,3	3,65

En la Tabla 13 se presentan los pesos específicos del cemento Portland tipo IP (3,15 g/cm³), la escoria de electrodos (3,68 g/cm³) y las mezclas con sustitución parcial al 4%, 8% y 12%, cuyos valores fueron de 3,59, 3,62 y 3,65 g/cm³ respectivamente,

todos obtenidos con muestras de 500 g Estos datos sirvieron de aporte para determinar los volúmenes absolutos en el diseño de mezcla de concreto.

3.6.4 Diseño de mezcla para concreto patrón 0%

A los 28 días, se indica una resistencia en compresión de diseño de 210 kg/cm², se empleará el Método ACI.

Materiales:

- Cemento Portland Tipo I
- Agua potable
- Agregado fino:

Módulo de fineza	: 3,61
Peso específico	: 2,697
Peso unitario suelto	: 1,621 g/cm ³
Peso unitario varillado	: 1,81 g/cm ³
Contenido de humedad	: 3,61 %
Absorción	: 1,65 %

- Agregado grueso:

Tamaño máximo nominal	: 1/2"
Módulo de fineza	: 6,52
Peso específico	: 2,55
Peso unitario suelto	: 1,393 g/cm ³
Peso unitario varillado	: 1,556 g/cm ³
Contenido de humedad	: 0,56 %
Absorción	: 1,56 %

En la Tabla 14 se presenta el Diseño de Mezcla para una resistencia característica a la compresión de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, obtenido mediante el Método ACI 211, el cual establece las proporciones óptimas de los materiales constituyentes, con el fin de garantizar la trabajabilidad en estado fresco y las propiedades mecánicas requeridas en estado endurecido.

Tabla 14*Diseño de Mezcla de Concreto – $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$*

Dosificación de Mezcla de Concreto – 210 Kg/cm²				
Tipo de Cemento: Yura Max Tipo I P P.e. = 2,80 g/cm ³				
Propiedades físicas	Agregado Grueso		Agregado Fino	
Tamaño máximo nominal	1/2 "		-	
Módulo de fineza	6,52		3,61	
Peso específico	2,550		2,697	
Peso unitario (suelto)	1,393		1,621	
Peso unitario (varillado)	1,556		1,81	
% Humedad natural	0,56		3,61	
% Absorción	1,56		1,65	
Consideraciones:				
Slump	3" @ 4"			
Agua	216,00			
Aire atrapado	2,50			
Relación agua-cemento	0,56			
Vol. Agregado grueso	0,580			
Materiales para 1 m³ de Concreto	Volumen Absoluto (m³)		Peso (kg.)	
Agua	0,216		216,000	
Cemento	0,138		386,819	
Aire	0,025			
Agregado Grueso	0,354		902,468	
Agregado Fino	0,267		719,957	
Corrección por humedad y absorción	Volumen Aparente (m³)		Peso (kg.)	
Agua	0,211		210,858	
Cemento	0,258		386,819	
Agregado Grueso	0,651		907,486	
Agregado Fino	0,460		745,976	
Dosificación	Cemento	Agreg. fino	Agreg. grueso	Agua
En peso (kg)	1,00	1,93	2,35	0,55
En volumen (Pie ³)	1,00	1,78	2,53	0,82
Peso por tanda de 1 bolsa (kg)	42,50	81,96	99,71	23,17
En balde (20 litros) para 1 Bolsa	—	3,0	4,2	1,36
Factor Cemento: 9,10 Bolsas/m³				

Nota. Avalado por Laboratorio de Concreto

3.6.5 Cantidad de materiales por probeta

Se obtuvo la cantidad de materiales por probeta cilíndrica, por cada porcentaje de sustitución de escoria, las cuales se representan en la Tablas 15, 16, 17 y 18. Esto permitió calcular correctamente la dosificación para cada probeta de diseño en peso, garantizando la proporcionalidad respecto a los valores obtenidos en el diseño de mezcla para 1 m³ de concreto.

En todos los niveles de sustitución analizados, las cantidades de agua, agregado fino y agregado grueso por probeta permanecen invariables, lo que evidencia que la sustitución parcial de cemento por escoria granulada no altera la demanda de agua ni la proporción de los agregados en el diseño de mezcla.

Las dimensiones de la probeta cilíndrica empleada como unidad de referencia fueron:

- Diámetro : 0,15 m
- Altura : 0,30 m
- Volumen : 0,0053 m³

Tabla 15

Peso de materiales por probeta – concreto convencional 210 kg/cm²

Material	Peso	Probeta de diseño
Cemento	373,72 kg/m ³	1,98 kg
Agua	178,4 kg/m ³	0,95 kg
Agregado fino	775,17 kg/m ³	4,11 kg
Agregado grueso	952,96 kg/m ³	5,05 kg

Tabla 16

Peso de materiales por probeta – concreto 210 kg/cm² con sustitución 4%

Material	Peso	Probeta de diseño
Cemento	358,77 kg/m ³	1,90 kg
Escoria 4%	14,95 kg/m ³	0,08 kg
Agua	178,4 kg/m ³	0,95 kg
Agregado fino	775,17 kg/m ³	4,11 kg
Agregado grueso	952,96 kg/m ³	5,05 kg

Tabla 17

Peso de materiales por probeta – concreto 210 kg/cm² con sustitución 8%

Material	Peso	Probeta de diseño
Cemento	343,83 kg/m ³	1,82 kg
Escoria 8%	29,89 kg/m ³	0,16 kg
Agua	178,4 kg/m ³	0,95 kg
Agregado fino	775,17 kg/m ³	4,11 kg
Agregado grueso	952,96 kg/m ³	5,05 kg

Tabla 18

Peso de materiales por probeta – concreto 210 kg/cm² con sustitución 12%

Material	Peso	Probeta de diseño
Cemento	328,27 kg/m ³	1,74 kg
Escoria 12%	44,85 kg/m ³	0,24 kg
Agua	178,4 kg/m ³	0,95 kg
Agregado fino	775,17 kg/m ³	4,11 kg
Agregado grueso	952,96 kg/m ³	5,05 kg

3.6.6 Análisis de Precios Unitarios de Expedientes técnicos

Se efectuó la recopilación de Análisis de Precios Unitarios (APU) provenientes de expedientes técnicos correspondientes a proyectos de obras pública ejecutados en la región de Tacna, con la finalidad de cuantificar y evaluar las variaciones económicas existentes entre el costo de concreto convencional y el concreto modificado mediante la incorporación parcial de escoria de electrodos en proporciones del 4 %, 8 % y 12 % como sustituto del cemento. Para el desarrollo de este análisis comparativo, se empleó software tal como Power Cost.

En el desarrollo de la presente investigación se prescindió de ensayos complementarios convencionales en la caracterización del concreto, en virtud de que estos no se circunscriben al objetivo primordial del estudio, el cual se orienta específicamente a la determinación de la resistencia a la compresión del hormigón elaborado con incorporación de escoria de electrodos como adición mineral en reemplazo parcial del cemento Portland.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Resultados del objetivo específico N° 1

Se realizaron análisis comparativos entre el cemento Portland y la escoria de electrodos, a fin de determinar y contrastar las propiedades químicas de ambos materiales cementantes y evaluar su compatibilidad como componentes de la mezcla de concreto.

Tabla 19

Composición química de la escoria de electrodos

Óxido	% Escoria (Normalizado)
Al_2O_3	4,857
SiO_2	18,032
Cl_2O	0,011
K_2O	3,393
CaO	36,818
TiO_2	9,909
V_2O_5	0,01
Cr_2O_3	0,069
MnO	4,542
Fe_2O_3	22,002
CuO	0,01
ZnO	0,04
SrO	0,039
ZrO_2	0,103
Nb_2O_5	0,021
MoO_2	0,002
BaO	0,141

Nota. Obtenido en Repositorio Universidad San Pedro

En la Tabla 19 se presenta la composición química de la escoria de electrodos obtenida mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X. Los resultados muestran que los óxidos predominantes son el CaO (36,818 %), Fe₂O₃ (22,002 %) y SiO₂ (18,032 %), que en conjunto representan el 76,852 % de la composición total. Adicionalmente, se identificaron óxidos de titanio (9,909 %), aluminio (4,857 %) y manganeso (4,542 %) en proporciones menores.

Tabla 20

Composición química del cemento portland IP

Óxido	Rango típico (%)
CaO	60–67
SiO ₂	17–25
Al ₂ O ₃	3–8
Fe ₂ O ₃	0,5–6
MgO	<4
SO ₃	<3

La Tabla 20 muestra la composición química típica del Cemento Portland Tipo IP utilizado en la investigación, conforme a la normativa vigente. Los componentes principales corresponden al CaO (60-67 %), SiO₂ (17-25 %) y Al₂O₃ (3-8 %), óxidos que definen las propiedades hidráulicas características de este tipo de cemento.

La comparación entre las composiciones químicas de la escoria de electrodos y el Cemento Portland IP (Tablas 18 y 19) permite identificar tres óxidos principales con rangos de concentración similares, los cuales evidencian compatibilidad química entre ambos materiales.

Óxido de Sílice (SiO₂)

La escoria de electrodos presenta un contenido de SiO₂ de 18,032 %, valor que se encuentra dentro del rango característico del Cemento Portland IP (17-25 %). Esta similitud resulta fundamental para la mejora de las propiedades del concreto.

El SiO_2 presente en la escoria participa en la reacción puzolánica, proceso mediante el cual reacciona con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento Portland, formando silicatos de calcio hidratados (C-S-H) adicionales. Este compuesto constituye el principal producto responsable de la resistencia mecánica en el concreto endurecido.

Los silicatos de calcio hidratados generados por esta reacción producen los siguientes efectos en la matriz cementante:

- Rellenan los poros capilares presentes en la pasta de cemento
- Incrementan la densidad y compacidad de la estructura interna
- Reducen la porosidad total del concreto
- Mejoran la interfaz entre el agregado y la pasta de cemento

En consecuencia, la formación de C-S-H adicional contribuye directamente al incremento de la resistencia a la compresión del concreto.

Óxido de Aluminio (Al_2O_3)

El contenido de Al_2O_3 en la escoria de electrodos es de 4,857 %, ubicándose dentro del rango típico del Cemento Portland IP (3-8 %). Esta similitud favorece la compatibilidad del sistema y la formación de productos hidratados complementarios.

El Al_2O_3 participa en la formación de aluminatos de calcio hidratados, siendo el principal producto la ettringita. Este compuesto cristalino desempeña funciones importantes en diferentes etapas del proceso de endurecimiento del concreto.

En edades tempranas (primeras 24 a 72 horas), la ettringita contribuye al desarrollo de resistencia inicial y al proceso de fraguado del concreto. A largo plazo, los aluminatos se transforman en fases estables que ocupan espacios en la microestructura.

El efecto de estos compuestos sobre la resistencia del concreto se manifiesta mediante:

- Refinamiento de la estructura de poros
- Densificación de la matriz cementante
- Mejora de la cohesión entre los componentes
- Aporte a la resistencia mecánica en edades tempranas

Si bien los aluminatos contribuyen en menor proporción que los silicatos a la resistencia final, su presencia resulta esencial para el desarrollo adecuado de las propiedades mecánicas del concreto.

Óxido de Calcio (CaO)

La escoria de electrodos contiene 36.818% de CaO, que si bien es inferior al contenido del Cemento Portland IP (60-67%), representa un aporte significativo al sistema. El CaO constituye el componente más importante en las reacciones de hidratación del cemento.

El CaO de ambos materiales participa en la formación de los compuestos hidratados principales del cemento. Durante el proceso de hidratación, el CaO reacciona con el agua y con otros óxidos presentes, generando principalmente silicatos de calcio hidratados (C-S-H) e hidróxido de calcio.

Los productos generados por estas reacciones producen los siguientes efectos:

El gel de silicatos de calcio hidratados constituye la fase más importante del concreto endurecido, aportando aproximadamente el 50-60% de la resistencia total. Este gel presenta una estructura coloidal de alta superficie específica que genera cohesión entre las partículas y proporciona resistencia mecánica.

El hidróxido de calcio, aunque no aporta directamente a la resistencia, cumple dos funciones importantes: mantiene el pH alcalino del concreto (superior a 12.5), lo que protege el acero de refuerzo contra la corrosión, y actúa como reactivo para las reacciones puzolánicas del SiO₂ presente en la escoria.

El efecto combinado del CaO proveniente tanto del cemento como de la escoria genera:

- Mayor cantidad de productos cementantes (C-S-H)
- Incremento en la velocidad de las reacciones de hidratación
- Mayor densificación de la microestructura
- Aumento de la resistencia a la compresión en todas las edades

4.2 Resultados del objetivo específico N° 2

4.2.1 Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión a los 7 días

De acuerdo con la Tabla 21 y Figura 5, el concreto patrón (0 % de escoria) registró resistencias individuales de 174,30 kg/cm², 168,00 kg/cm² y 176,40 kg/cm² en las tres probetas ensayadas, obteniéndose una resistencia promedio de 172,90 kg/cm²,

equivalente al 82.33% de la resistencia de diseño ($f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$). El concreto con 4 % de sustitución presentó resistencias de $186,90 \text{ kg/cm}^2$, $182,70 \text{ kg/cm}^2$ y $184,80 \text{ kg/cm}^2$, alcanzando un promedio de $184,80 \text{ kg/cm}^2$, correspondiente al 88,00 % del f'_c de diseño. Esto representa un incremento del 6,88 % respecto al concreto convencional, evidenciando desde edad temprana el efecto beneficioso de la incorporación de escoria de electrodos.

Tabla 21

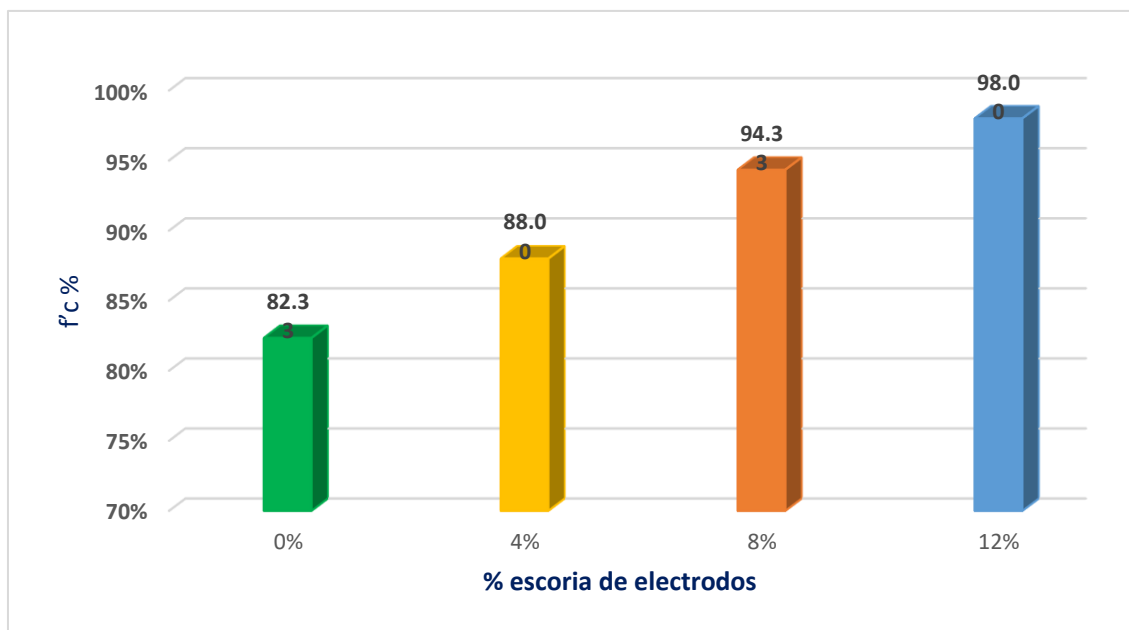
Resultados ensayo de la resistencia a la compresión a los 7 días

Probetas	% de Escoria	Diámetro (m)	h (m)	v (m^3)	Diseño ($F'_c=210 \text{ kg/cm}^2$)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Esfuerzo de compresión	f'_c (kg/cm^2)
1		0,15	0,3	0,005	210	14,97	30678,3	174,30	
2	0	0,15	0,3	0,005	210	14,86	29608,9	168,00	
3		0,15	0,3	0,005	210	14,91	30799,5	176,40	172,90
4		0,15	0,3	0,005	210	14,94	32764,3	186,90	
5	4	0,15	0,3	0,005	210	14,86	31685,9	182,70	
6		0,15	0,3	0,005	210	15,07	32962,4	184,80	184,80
7		0,15	0,3	0,005	210	14,92	34145,2	195,30	
8	8	0,15	0,3	0,005	210	15,08	35256,5	197,40	
9		0,15	0,3	0,005	210	15,08	36006,7	201,60	198,10
10		0,15	0,3	0,005	210	15,08	37131,9	207,90	
11	12	0,15	0,3	0,005	210	14,99	35948,8	203,70	
12		0,15	0,3	0,005	210	14,96	36174,2	205,80	205,80

El concreto con 8% de sustitución mostró resistencias de $195,30 \text{ kg/cm}^2$, $197,40 \text{ kg/cm}^2$ y $201,60 \text{ kg/cm}^2$, con un promedio de $198,10 \text{ kg/cm}^2$, equivalente al 94,33 % de la resistencia especificada. El incremento del 14,58 % respecto al concreto patrón resulta particularmente significativo, aproximándose ya a la resistencia de diseño establecida para los 28 días. El concreto con 12 % de sustitución registró los valores más elevados: $207,90 \text{ kg/cm}^2$, $203,70 \text{ kg/cm}^2$ y $205,80 \text{ kg/cm}^2$, obteniendo un promedio de $205,80 \text{ kg/cm}^2$, correspondiente al 98,00 % del f'_c de diseño. Este resultado representa un incremento del 19,03 % frente al concreto convencional, alcanzando prácticamente la resistencia de diseño a solo 7 días de edad.

Figura 5

Porcentaje de la resistencia requerida 210 kg/cm de los resultados a los 7 días



Nota. La figura evidencia la relación directamente proporcional entre el contenido de escoria y la resistencia alcanzada.

4.2.2 Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión a los 14 días

De acuerdo con la Tabla 22 y Figura 6, el concreto convencional (0 %) registró resistencias de 189,15 kg/cm², 188,71 kg/cm² y 193,58 kg/cm², alcanzando un promedio de 190,48 kg/cm², equivalente al 90,70 % del f'c especificado. El incremento de 17,58 kg/cm² respecto a los 7 días (10,17 % de ganancia) refleja la evolución normal del proceso de hidratación del cemento, donde la mayor parte de la resistencia se desarrolla durante las primeras semanas.

El concreto con 4 % de escoria presentó valores de 193,68 kg/cm², 193,86 kg/cm² y 197,82 kg/cm², obteniendo un promedio de 195,12 kg/cm² (92,91 % del f'c). Aunque el incremento absoluto respecto al concreto patrón se reduce a 2,44 % a esta edad, el valor absoluto alcanzado es superior, y la mezcla continúa mostrando mejor desempeño que el concreto convencional.

Tabla 22*Resultados ensayo de la resistencia a la compresión a los 14 días*

Probetas	% de Escoria	Diámetro (m)	h (m)	v (m ³)	Diseño (F'c=210 kg/cm ²)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Esfuerzo de compresión	f'c (kg/cm ²)
1		0,15	0,3	0,005	210,00	14,99	33381,0	189,15	
2		0,15	0,3	0,005	210,00	14,89	32860,0	188,71	
3	0	0,15	0,3	0,005	210,00	15,01	34254,0	193,58	190,48
4		0,15	0,3	0,005	210,00	14,99	34181,0	193,68	
5		0,15	0,3	0,005	210,00	15,08	34625,0	193,86	
6	4	0,15	0,3	0,005	210,00	14,96	34772,0	197,82	195,12
7		0,15	0,3	0,005	210,00	14,86	36122,0	208,28	
8		0,15	0,3	0,005	210,00	14,97	37159,0	211,12	
9	8	0,15	0,3	0,005	210,00	14,82	37418,0	216,92	212,11
10		0,15	0,3	0,005	210,00	15,02	38715,0	218,50	
11		0,15	0,3	0,005	210,00	14,91	39042,0	223,61	
12	12	0,15	0,3	0,005	210,00	14,86	39416,0	227,27	223,13

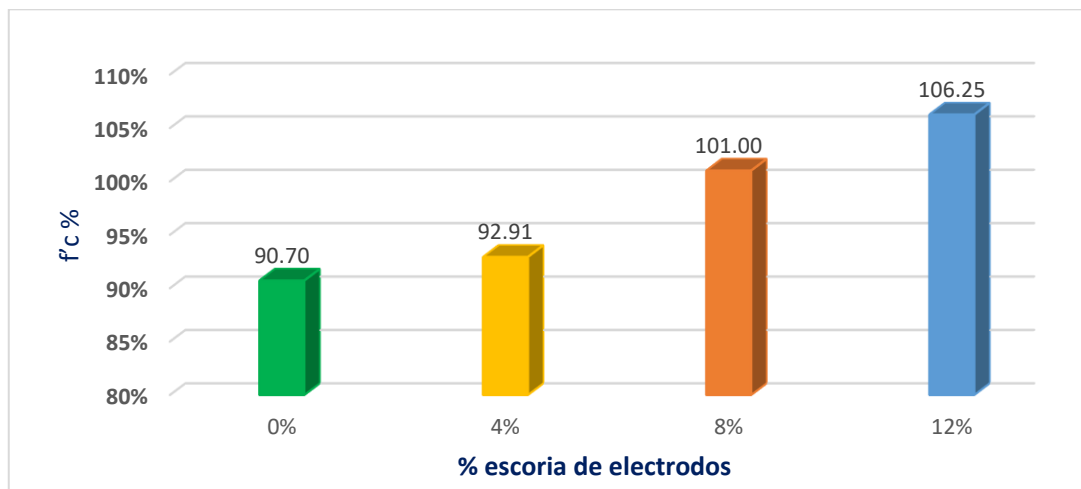
El concreto con 4 % de escoria presentó valores de 193,68 kg/cm², 193,86 kg/cm² y 197,82 kg/cm², obteniendo un promedio de 195,12 kg/cm² (92,91 % del f'c). Aunque el incremento absoluto respecto al concreto patrón se reduce a 2,44 % a esta edad, el valor absoluto alcanzado es superior, y la mezcla continúa mostrando mejor desempeño que el concreto convencional.

El concreto con 8 % de sustitución mostró resistencias de 208,28 kg/cm², 211,12 kg/cm² y 216,92 kg/cm², con un promedio de 212,11 kg/cm², correspondiente al 101,00 % de la resistencia de diseño. Este resultado es particularmente relevante, ya que representa el primer porcentaje de sustitución que supera la resistencia especificada antes de los 28 días.

El concreto con 12 % de escoria registró los valores más altos: 218,50 kg/cm², 223,61 kg/cm² y 227,27 kg/cm², alcanzando un promedio de 223,13 kg/cm² (106,25 % del f'c). El incremento del 17,14% frente al concreto patrón confirma la superioridad de esta dosificación. La ganancia entre 7 y 14 días fue de 17,33 kg/cm², la más alta de todas las series, indicando que los mecanismos de contribución a la resistencia de la escoria se intensifican en este periodo intermedio de curado.

Figura 6

Porcentaje de la resistencia requerida 210 kg/cm de los resultados a los 14 días



Nota. La figura evidencia la relación directamente proporcional entre el contenido de escoria y la resistencia alcanzada.

4.2.3 Resultados de ensayo de la resistencia a la compresión a los 28 días

De acuerdo a la Tabla 23 y Figura 7, el concreto convencional presentó resistencias de 220,50 kg/cm², 216,30 kg/cm² y 224,70 kg/cm², con un promedio de 220,50 kg/cm², equivalente al 105,00 % del f'c de diseño. Este resultado confirma que el diseño de mezcla desarrollado cumple satisfactoriamente con las especificaciones técnicas establecidas, superando en 10,50 kg/cm² (5 %) la resistencia mínima requerida. El concreto con 4 % de sustitución registró valores de 228,90 kg/cm², 226,80 kg/cm² y 231,00 kg/cm², alcanzando un promedio de 228,90 kg/cm² (109,00 % del f'c). El incremento del 3,81 % respecto al concreto patrón (8,40 kg/cm² en valor absoluto) demuestra que incluso la sustitución parcial más conservadora evaluada en este estudio genera mejoras mensurables en la resistencia final. El concreto con 8 % de escoria mostró resistencias de 237,30 kg/cm², 241,50 kg/cm² y 245,70 kg/cm², obteniendo un promedio de 241,50 kg/cm², correspondiente al 115,00% de la resistencia especificada. El incremento del 9,52 % frente al concreto convencional representa una mejora técnicamente significativa que permitiría optimizaciones en diseño estructural. El concreto con 12 % de sustitución registró los valores máximos de toda la investigación: 249,90 kg/cm², 252,00 kg/cm² y 256,20 kg/cm², alcanzando un promedio de 252,70 kg/cm² (120.33% del f'c de diseño). El incremento del 14,61 % respecto al concreto patrón (32,20 kg/cm²) confirma esta dosificación como la óptima desde el punto de vista

de resistencia mecánica. Este resultado excede en 42,70 kg/cm² la resistencia de diseño, proporcionando un margen de seguridad adicional considerable.

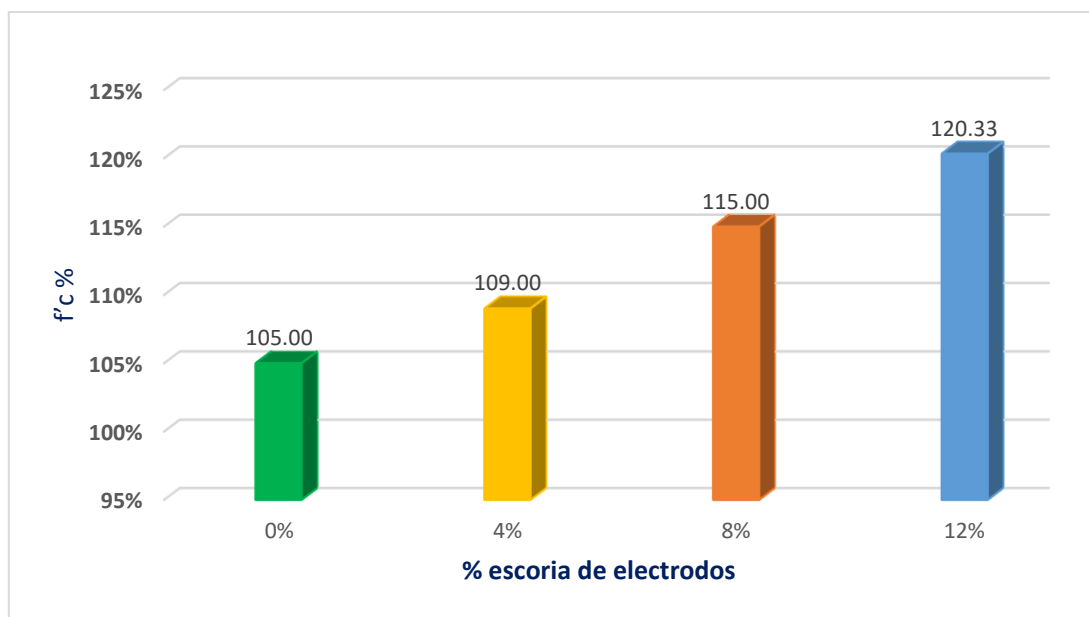
Tabla 23

Resultados ensayo de la resistencia a la compresión a los 28 días

Probetas	% de Escoria	Diámetro (m)	h (m)	v (m ³)	Diseño (F'c=210 kg/cm ²)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	Esfuerzo de compresión	f'c (kg/cm ²)
1		0,15	0,3	0,005	210,00	14,96	38758,0	220,50	
2		0,15	0,3	0,005	210,00	15,05	38478,6	216,30	
3	0	0,15	0,3	0,005	210,00	14,99	39654,8	224,70	220,50
4		0,15	0,3	0,005	210,00	14,89	39858,9	228,90	
5		0,15	0,3	0,005	210,00	15,03	40239,3	226,80	
6	4	0,15	0,3	0,005	210,00	14,88	40170,5	231,00	228,90
7		0,15	0,3	0,005	210,00	14,90	41377,1	237,30	
8		0,15	0,3	0,005	210,00	14,90	42109,4	241,50	
9	8	0,15	0,3	0,005	210,00	15,07	43825,0	245,70	241,50
10		0,15	0,3	0,005	210,00	15,08	44633,3	249,90	
11		0,15	0,3	0,005	210,00	14,99	44472,7	252,00	
12	12	0,15	0,3	0,005	210,00	14,84	44313,6	256,20	252,70

Figura 7

Porcentaje de la resistencia requerida 210 kg/cm de los resultados a los 28 días

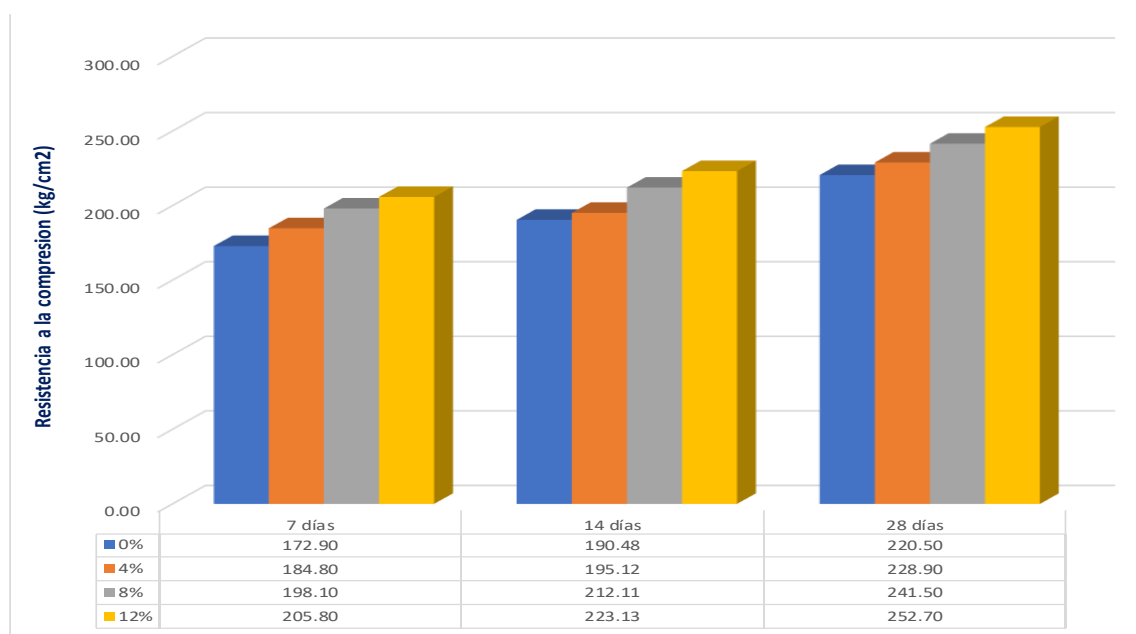


Nota. La figura evidencia la relación directamente proporcional entre el contenido de escoria y la resistencia alcanzada.

Tabla 24*Resumen de los ensayos*

N° Días	Concreto convencional (kg/cm ²)	Concreto con 4% (kg/cm ²)	Concreto con 8% (kg/cm ²)	Concreto con 12% (kg/cm ²)
7 días	172,90	184,80	198,10	205,80
14 días	190,48	195,12	212,11	223,13
28 días	220,50	228,90	241,50	252,70

De acuerdo con la Tabla 24 y Figura 8, permiten apreciar de manera integral la evolución temporal de la resistencia para cada dosificación evaluada, facilitando la identificación de patrones y tendencias relevantes.

Figura 8*Comparación de resultados a los 7 días, 14 días y 28 días*

Nota. La figura resume la relación directamente proporcional entre el contenido de escoria y la resistencia alcanzada.

4.3 Resultados del objetivo específico N° 3

El objetivo específico N.º 3 establece la necesidad de cuantificar y analizar los efectos económicos derivados de la sustitución parcial del cemento por escoria de electrodos en la producción de concreto.

En cumplimiento de dicho objetivo, se efectuó un análisis comparativo de precios por metro cúbico correspondiente a los diferentes diseños de mezcla propuestos, con el propósito de determinar las variaciones de costo y los posibles beneficios económicos asociados. Para este análisis, se tomaron como referencia los Análisis de Precios Unitarios (APU) provenientes de dos expedientes técnicos diferentes de obras ejecutadas en la región de Tacna durante los últimos años, lo que permitió establecer una base representativa y actualizada para la comparación de los costos del concreto convencional frente al concreto modificado con escoria de electrodos. Además, la escoria de electrodos, siendo un subproducto industrial generado durante los procesos de soldadura, no cuenta con un precio estandarizado en el mercado formal de materiales de construcción. Por esta razón, se procedió a realizar consultas directas con contratistas del rubro de soldadura para determinar su disponibilidad y disposición de venta.

Tabla 25

Costo concreto 210 kg/cm² por m³ Expediente N°01

Código	Descripción del insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra						
47 00003	Capataz	HH	0,100	0,0800	34,00	2,72
47 00004	Operario	HH	2,000	1,6000	28,34	45,34
47 00006	Oficial	HH	2,000	1,6000	22,28	35,65
47 00002	Peón	HH	10,000	8,0000	20,16	161,28
47 00008	Operador de equipo liviano	HH	2,000	1,6000	29,31	46,90
						291,89
Materiales						
04 00102	Arena gruesa (puesto en obra)	m ³	–	0,4757	38,14	18,14
05 00159	Piedra chancada de 1/2" (puesto en obra)	m ³	–	0,7014	63,56	44,58
21 00007	Cemento Portland tipo IP (42,5 kg)	bol	–	8,7255	21,73	189,61
30 00013	Aditivo impermeabilizante en polvo	kg	–	8,7255	8,47	73,90
30 00005	Agua para la construcción	m ³	–	0,2289	6,14	1,41
34 00010	Gasolina 90 octanos	gal	–	0,3000	21,32	6,40
						334,04
Equipos						
48 00012	Mezcladora de concreto t. tambor 18 HP	HM	1,000	0,8000	12,71	10,17
49 00158	Vibrador de concreto 4 HP	HM	1,000	0,8000	11,20	8,96
51 00001	Herramientas manuales	%MO	–	3,0000	291,89	8,76
						27,89
Costo unitario (S/ por m³)						653,82

Nota. APU extraído del expediente "Mejoramiento del servicio de práctica deportiva y/o recreativa en la junta vecinal los sauces i del distrito de coronel Gregorio Albarracín Lanchipa de la provincia de Tacna del departamento de Tacna".

Tabla 26

Costo concreto 210 kg/cm² por m³ Expediente N°01 con Escoria 4%

Código	Descripción del insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra						
47 00006	Capataz	HH	0,100	0,0800	34,00	2,72
47 00007	Operario	HH	2,000	1,6000	28,34	45,34
47 00008	Oficial	HH	2,000	1,6000	22,28	35,65
47 00009	Peón	HH	10,000	8,0000	20,16	161,28
47 00112	Operador de equipo liviano	HH	2,000	1,6000	29,31	46,90
						291,89
Materiales						
00 07006	Gasolina 90 octanos	gal	–	0,3000	21,32	6,40
04 00029	Arena gruesa	M3	–	0,4757	38,14	18,14
05 00002	Agua	M3	–	0,2289	6,14	1,41
05 00099	Piedra chancada de 1/2"	M3	–	0,7014	63,56	44,58
21 00003	Cemento Portland tipo IP (42,5 kg)	BOL	–	8,3765	21,73	182,02
30 07225	Aditivo impermeabilizante en polvo	KG	–	8,7255	8,47	73,90
39 07226	Escoria de electrodos	kg	–	14,8334	0,25	3,71
						330,16
Equipos						
37 00004	Herramientas manuales	%MO	–	3,0000	291,89	8,76
48 02026	Mezcladora de concreto t. tambor 18 HP 11 P3	HM	1,000	0,8000	12,71	10,17
49 00122	Vibrador de concreto 4 HP 2.40"	HM	1,000	0,8000	11,20	8,96
						27,89
Costo unitario (S/ por m³)						649,94

Tabla 27

Costo concreto 210 kg/cm² por m³ Expediente N°01 con Escoria 8%

Código	Descripción del insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra						
47 00006	Capataz	HH	0,100	0,0800	34,00	2,72
47 00007	Operario	HH	2,000	1,6000	28,34	45,34
47 00008	Oficial	HH	2,000	1,6000	22,28	35,65
47 00009	Peón	HH	10,000	8,0000	20,16	161,28
47 00112	Operador de equipo liviano	HH	2,000	1,6000	29,31	46,90
						291,89
Materiales						
00 07006	Gasolina 90 octanos	gal	–	0,3000	21,32	6,40
04 00029	Arena gruesa	M3	–	0,4757	38,14	18,14
05 00002	Agua	M3	–	0,2289	6,14	1,41
05 00099	Piedra chancada de 1/2"	M3	–	0,7014	63,56	44,58
21 00003	Cemento Portland tipo IP (42,5 kg)	BOL	–	8,0275	21,73	174,44
30 07225	Aditivo impermeabilizante en polvo	KG	–	8,7255	8,47	73,90
39 07226	Escoria de electrodos	kg	–	29,6667	0,25	7,42
						326,29
Equipos						
37 00004	Herramientas manuales	%MO	–	3,0000	291,89	8,76
48 02026	Mezcladora de concreto t. tambor 18 HP 11 P3	HM	1,000	0,8000	12,71	10,17
49 00122	Vibrador de concreto 4 HP 2.40"	HM	1,000	0,8000	11,20	8,96
						27,89
Costo unitario (S/ por m³)						646,07

Tabla 28*Costo concreto 210 kg/cm² por m³ Expediente N°01 con Escoria 12%*

Código	Descripción del insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra						
47 00006	Capataz	HH	0,100	0,0800	34,00	2,72
47 00007	Operario	HH	2,000	1,6000	28,34	45,34
47 00008	Oficial	HH	2,000	1,6000	22,28	35,65
47 00009	Peón	HH	10,000	8,0000	20,16	161,28
47 00112	Operador de equipo liviano	HH	2,000	1,6000	29,31	46,90
						291,89
Materiales						
00 07006	Gasolina 90 octanos	gal	–	0,3000	21,32	6,40
04 00029	Arena gruesa	M3	–	0,4757	38,14	18,14
05 00002	Agua	M3	–	0,2289	6,14	1,41
05 00099	Piedra chancada de 1/2"	M3	–	0,7014	63,56	44,58
21 00003	Cemento Portland tipo IP (42,5 kg)	BOL	–	7,6784	21,73	166,85
30 07225	Aditivo impermeabilizante en polvo	KG	–	8,7255	8,47	73,90
39 07226	Escoria de electrodos	kg	–	44,5001	0,25	11,13
						322,41
Equipos						
37 00004	Herramientas manuales	%MO	–	3,0000	291,89	8,76
48 02026	Mezcladora de concreto t. tambor 18 HP 11 P3	HM	1,000	0,8000	12,71	10,17
49 00122	Vibrador de concreto 4 HP 2.40"	HM	1,000	0,8000	11,20	8,96
						27,89
Costo unitario (S/ por m³)						642,19

Tal como se observa en las Tablas 25, 26, 27 y 28, los resultados del expediente 1 evidencian una tendencia decreciente y proporcional del costo unitario del concreto conforme se incrementa el porcentaje de sustitución de cemento por escoria de electrodos. La sustitución al 4 % genera un ahorro de S/ 3,88 por metro cúbico, equivalente a una reducción del 0,59 % respecto al concreto patrón. Este ahorro se incrementa progresivamente hasta alcanzar S/ 11,63 /m³ (1,78 %) con la sustitución al 12 %. La proporcionalidad observada confirma que el beneficio económico está directamente relacionado con la cantidad de cemento sustituido. Considerando que el cemento representa aproximadamente el 15-20 % del costo total del concreto, una reducción del 1,78 % en el precio unitario resulta significativa en proyectos de mediana y gran envergadura.

Tabla 29*Costo concreto 210 kg/cm² por m³ Expediente N°02*

Código	Descripción del insumo	Unidad Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					
47 00006	Capataz	HH	0,100	0,0800	31,04 2,48
47 00007	Operario	HH	2,000	1,6000	28,22 45,15
47 00008	Oficial	HH	1,000	0,8000	22,20 17,76
47 00009	Peón	HH	10,000	8,0000	20,09 160,72
					226,11
Materiales					
04 00029	Arena gruesa	M3	–	0,4980	45,48 22,65
05 00002	Agua	M3	–	0,2230	9,00 2,01
05 00664	Piedra zarandeada de 1/2"	M3	–	0,7340	54,24 39,81
21 07026	Cemento Portland tipo IP (42,5 kg)	bls	–	9,1900	23,09 212,20
30 10591	Aditivo impermeabilizante	lt	–	11,7200	7,42 86,96
34 10587	Gasolina	gal	–	0,3000	17,75 5,33
					368,96
Equipos					
37 00004	Herramientas manuales	%MO	–	3,0000	226,11 6,78
48 07650	Mezcladora de concreto 9 -11 P3	hm	1,000	0,8000	16,10 12,88
49 00668	Vibrador de concreto 4 HP 1.50"	HM	1,000	0,8000	9,32 7,46
					27,12
Costo unitario (S/ por m³)					622,19

Nota. APU extraído del expediente “Mejoramiento de los servicios públicos de integración económica y social en recreación activa en junta vecinal teniente coronel Ricardo O'Donovan distrito de Tacna de la provincia de Tacna del departamento de Tacna”.

Tabla 30*Costo concreto 210 kg/cm² por m³ Expediente N°02 con Escoria 4%*

Código	Descripción del insumo	Unidad Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					
47 00006	Capataz	HH	0,100	0,0800	31,04 2,48
47 00007	Operario	HH	2,000	1,6000	28,22 45,15
47 00008	Oficial	HH	1,000	0,8000	22,20 17,76
47 00009	Peón	HH	10,000	8,0000	20,09 160,72
					226,11
Materiales					
00 07006	Gasolina 90 octanos	gal	–	0,3000	17,75 5,33
04 00029	Arena gruesa	M3	–	0,4980	45,48 22,65
05 00002	Agua	M3	–	0,2230	9,00 2,01
05 00099	Piedra chancada de 1/2"	M3	–	0,7340	54,24 39,81
21 00003	Cemento Portland tipo IP (42,5 kg)	BOL	–	8,8224	23,09 203,71
30 07225	Aditivo impermeabilizante	lt	–	11,7200	7,42 86,96
39 07226	Escoria de electrodos	kg	–	15,6230	0,25 3,91
					364,38
Equipos					
37 00004	Herramientas manuales	%MO	–	3,0000	226,11 6,78
48 02026	Mezcladora de concreto t. tambor 18 HP 11 P3	HM	1,000	0,8000	16,10 12,88
49 00122	Vibrador de concreto 4 HP 2.40"	HM	1,000	0,8000	9,32 7,46
					27,12
Costo unitario (S/ por m³)					617,61

Tabla 31*Costo concreto 210 kg/cm² por m³ Expediente N°02 con Escoria 8%*

Código	Descripción del insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra						
47 00006	Capataz	HH	0,100	0,0800	31,04	2,48
47 00007	Operario	HH	2,000	1,6000	28,22	45,15
47 00008	Oficial	HH	1,000	0,8000	22,20	17,76
47 00009	Peón	HH	10,000	8,0000	20,09	160,72
						226,11
Materiales						
00 07006	Gasolina 90 octanos	gal	–	0,3000	17,75	5,33
04 00029	Arena gruesa	M3	–	0,4980	45,48	22,65
05 00002	Agua	M3	–	0,2230	9,00	2,01
05 00099	Piedra chancada 1/2"	M3	–	0,7340	54,24	39,81
21 00003	Cemento Portland tipo IP (42,5 kg)	bol	–	8,4548	23,09	195,22
30 07227	Aditivo impermeabilizante	L	–	11,7200	7,42	86,96
39 07226	Escoria de electrodos	kg	–	31,2460	0,25	7,81
						359,79
Equipos						
37 00004	Herramientas manuales	%MO	–	3,0000	226,11	6,78
48 02026	Mezcladora de concreto t. tambor 18 HP	HM	1,000	0,8000	16,10	12,88
49 00122	Vibrador de concreto 4 HP	HM	1,000	0,8000	9,32	7,46
						27,12
Costo unitario (S/ por m³)						613,02

Tabla 32*Costo concreto 210 kg/cm² por m³ Expediente N°02 con Escoria 12%*

Código	Descripción del insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra						
47 00006	Capataz	HH	0,100	0,0800	31,04	2,48
47 00007	Operario	HH	2,000	1,6000	28,22	45,15
47 00008	Oficial	HH	1,000	0,8000	22,20	17,76
47 00009	Peón	HH	10,000	8,0000	20,09	160,72
						226,11
Materiales						
00 07006	Gasolina 90 octanos	gal	–	0,3000	17,75	5,33
04 00029	Arena gruesa	M3	–	0,4980	45,48	22,65
05 00002	Agua	M3	–	0,2230	9,00	2,01
05 00099	Piedra chancada de 1/2"	M3	–	0,7340	54,24	39,81
21 00003	Cemento Portland tipo IP (42,5 kg)	BOL	–	8,0872	23,09	186,73
30 07227	Aditivo impermeabilizante	lt	–	11,7200	7,42	86,96
39 07226	Escoria de electrodos	kg	–	46,8690	0,25	11,72
						355,21
Equipos						
37 00004	Herramientas manuales	%MO	–	3,0000	226,11	6,78
48 02026	Mezcladora de concreto t. tambor 18 HP	HM	1,000	0,8000	16,10	12,88
49 00122	Vibrador de concreto 4 HP	HM	1,000	0,8000	9,32	7,46
						27,12
Costo unitario (S/ por m³)						608,44

Tal como se observa en las Tablas 29, 30, 31 y 32, el expediente 2 presenta ahorros económicos superiores en todos los porcentajes de sustitución en comparación con el Expediente 1. La sustitución al 4 % genera un ahorro de S/ 4,58 /m³ (0,74 %), mientras que la sustitución al 12 % alcanza S/ 13,75 /m³ (2,21%), siendo este el mayor beneficio económico registrado en el análisis.

Es importante destacar que, pese a que el Expediente 2 presenta un costo base menor (S/ 622,19 frente a S/ 653,82 del Expediente 1), genera ahorros absolutos mayores. Esta se explica por el mayor contenido de cemento en el diseño de mezcla del Expediente 2. Al tener mayor cantidad de cemento, la sustitución parcial genera un diferencial de costo más significativo.

Tabla 33

Resumen de costos de concreto por m³

Expediente	Tipo	P. U	Diferencia S/. por m³	
1	Concreto patrón 1	S/ 653,82	S/	-
1	Concreto -Escoria 4 %	S/ 649,94	S/	3,88
1	Concreto -Escoria 8 %	S/ 646,07	S/	7,75
1	Concreto -Escoria 12 %	S/ 642,19	S/	11,63
2	Concreto patrón 2	S/ 622,19	S/	-
2	Concreto -Escoria 4 %	S/ 617,61	S/	4,58
2	Concreto -Escoria 8 %	S/ 613,02	S/	9,17
2	Concreto -Escoria 12 %	S/ 608,44	S/	13,75

La Tabla 33 presenta el resumen consolidado de los costos unitarios del concreto por metro cúbico para ambos expedientes técnicos, considerando el concreto patrón (sin sustitución) y las mezclas con incorporación de escoria de electrodos en porcentajes de 4 %, 8 % y 12 % como sustituto parcial del cemento Portland Tipo I.

Es preciso mencionar que los costos vinculados a la molienda y al transporte de la escoria de electrodos pueden ser debidamente considerados mediante la incorporación de una partida específica en la estructuración y formulación del presupuesto del proyecto.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

El presente capítulo tiene como propósito fundamental contrastar las hipótesis planteadas en la presente tesis con la evidencia empírica obtenida durante la fase experimental. Para ello, se realiza un análisis integral de los resultados cuantitativos presentados en las tablas de datos, así como en las representaciones gráficas, con el fin validar o refutar cada una de las hipótesis específicas y la hipótesis general propuestas.

a. Se acepta la hipótesis general

Moya (2018) en su tesis "Resistencia a la compresión de un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ sustituyendo el cemento por 2 %, 4 % y 6 % de escoria de soldadura de electrodos", el estudio analiza el efecto de reemplazar cemento con escoria de electrodos en las propiedades del concreto y reporta que, tras 28 días, el concreto de referencia alcanza una resistencia de $222,24 \text{ kg/cm}^2$, mientras que la mezcla con un 6 % de sustitución presenta un incremento del 6,78% en la resistencia a la compresión. En la presente tesis, las muestras realizadas con incorporación de escoria de electrodos evidencian mayores resistencias alcanzadas que el concreto convencional que alcanzó una máxima resistencia a la compresión de $224,70 \text{ kg/cm}^2$. Sin embargo, los diseños de mezclas con incorporación de escoria de electrodo como sustituto parcial del cemento (4 %, 8 % y 12 %) nos indican que a mayor sustitución de cemento por escoria de electrodos la resistencia a la compresión del concreto aumenta, alcanzando una mayor resistencia de $256,20 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días con una sustitución del 12 %. Los resultados obtenidos nos indican que se podría utilizar escoria de electrodos como sustituto parcial del cemento, ya que demostró un incremento significativo en la resistencia a la compresión del concreto.

b. Se acepta la hipótesis específica 1

El análisis químico comparativo demuestra que la escoria de electrodos presenta composición compatible con el Cemento Portland IP. La escoria contiene 18,032 % de SiO_2 , valor dentro del rango del cemento (17-25 %); 4,857 % de Al_2O_3 , ubicándose en el rango del cemento (3-8 %); y 36,818 % de CaO , que complementa el contenido del cemento (60-67 %). Estos tres óxidos son los formadores principales de las fases cementantes (C-S-H y aluminatos) responsables de la resistencia del concreto. La similitud en la composición permite que la escoria participe en las reacciones de

hidratación generando productos cementantes adicionales que densifican la matriz, reducen la porosidad y mejoran la resistencia a la compresión. Por consiguiente, se confirma que las propiedades químicas son compatibles y fundamentan el impacto positivo en la resistencia del concreto.

c. Se acepta la hipótesis específica 2

El análisis comparativo de los resultados de resistencia a la compresión en las tres edades de ensayo (7, 14 y 28 días) evidencia una relación directamente proporcional entre el porcentaje de sustitución de cemento por escoria de electrodos y la resistencia mecánica alcanzada. El análisis estadístico de estos resultados confirma una correlación positiva y progresiva entre el porcentaje de sustitución y la resistencia obtenida. Cada incremento del 4 % en la sustitución de cemento por escoria generó ganancias promedio de resistencia entre 3,5 % y 5,0 % a los 28 días, validando el comportamiento proporcional postulado en la hipótesis.

d. Se acepta la hipótesis específica 3:

El análisis económico comparativo realizado mediante la evaluación de Análisis de Precios Unitarios (APU) de dos expedientes técnicos representativos de obras públicas ejecutadas en la región de Tacna demuestra que la incorporación de escoria de electrodos como sustituto parcial del cemento genera un impacto económico favorable y progresivamente significativo. Los ahorros oscilan entre S/ 3,88 /m³ y S/ 13,75 /m³ dependiendo del porcentaje de sustitución y las características del proyecto, representando reducciones de hasta 2,21 % en el costo unitario. Si bien estos porcentajes de reducción pueden parecer modestos en términos relativos, su impacto económico resulta significativo al proyectarse sobre volúmenes reales de obras de construcción. Por ejemplo, en una edificación que requiera 500 m³ de concreto (volumen típico para una vivienda multifamiliar de 4 pisos), la utilización de escoria al 12 % generaría ahorros entre S/ 5 815,00 y S/ 6 875,00, recursos que podrían destinarse a otras partidas constructivas o a la mejora de especificaciones técnicas.

CONCLUSIONES

Se confirma que la resistencia a la compresión del concreto mejora de manera proporcional al aumento en el porcentaje de sustitución de cemento por escoria de electrodos. Esto sugiere que existe una relación directa entre la cantidad de escoria incorporada y la resistencia del concreto. A los 28 días el concreto convencional alcanza una resistencia promedio de 220,20 kg/cm², mientras que con una sustitución del 12 % se alcanza una resistencia promedio de 252,70 kg/cm², habiendo una diferencia del 14,76%.

Se confirma que las propiedades químicas de la escoria de electrodos resultan ser compatibles con las del Cemento Portland IP, evidenciado por la similitud en sus componentes principales: SiO₂ (18,032 % en escoria vs 17-25 % en cemento), Al₂O₃ (4,857 % vs 3-8 %) y CaO (36,818 % vs 60-67 %). Esta compatibilidad permite que la escoria participe activamente en las reacciones de hidratación del cemento, generando silicatos de calcio hidratados (C-S-H) y aluminatos de calcio hidratados, productos cementantes responsables del desarrollo de resistencia a la compresión. La incorporación de escoria como sustituto parcial del cemento no altera negativamente el equilibrio químico del sistema, sino que complementa la formación de fases hidratadas que densifican la matriz cementante, reducen la porosidad y contribuyen positivamente a la resistencia mecánica del concreto en construcciones de la región de Tacna.

Los resultados experimentales confirman de manera concluyente que existe una relación directamente proporcional entre el incremento del porcentaje de sustitución de cemento por escoria de electrodos y el aumento de la resistencia a la compresión del concreto. Esta proporcionalidad se mantiene consistente en las tres edades de ensayo evaluadas, validando la efectividad técnica de la incorporación progresiva de escoria hasta el 12 % como estrategia para mejorar el desempeño mecánico del concreto en la región de Tacna.

El análisis económico realizado confirma que la sustitución parcial de cemento por escoria de electrodos en la elaboración del concreto genera una reducción clara en los costos de producción por metro cúbico. En ambos expedientes evaluados, se observa

que el precio unitario disminuye conforme aumenta el porcentaje de escoria, alcanzando ahorros de hasta S/ 3,88 /m³ y S/ 13,75 /m³ cuando se emplea una sustitución del 12 %. Estos resultados evidencian que el uso de escoria de electrodos permite optimizar los costos en la producción del concreto, convirtiéndose en una opción viable económicamente para la producción local en la región de Tacna.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a las universidades públicas y privadas que imparten la carrera de Ingeniería Civil fomentar líneas de investigación orientadas al aprovechamiento de residuos industriales en la construcción, fortaleciendo para ello sus laboratorios de materiales y estableciendo convenios con talleres de soldadura que permitan asegurar el abastecimiento de escoria para estudios experimentales.

Se recomienda a los universitarios de la carrera profesional de Ingeniería civil, investigar y experimentar con diferentes porcentajes adicionales de sustitución de cemento por escoria de electrodos. Esto podría proporcionar una comprensión más completa del uso de la escoria de electrodos y poder proporcionar fuentes investigación para futuros estudios. Tomar en cuenta los factores climáticos al evaluar la resistencia del concreto con escoria de electrodos. Las condiciones climáticas pueden influir en el rendimiento a largo plazo del material.

Se recomienda a los gobiernos locales y municipalidades de la región de Tacna impulsar políticas y ordenanzas que promuevan la reutilización de residuos industriales en obras públicas, especialmente la escoria de electrodos, debido a su potencial económico y ambiental. Asimismo, se sugiere implementar programas de gestión de residuos, desarrollar obras piloto que incorporen estos materiales, fortalecer la capacitación del personal técnico y exigir estudios comparativos que aseguren que su aplicación en proyectos cumpla con los estándares de calidad, eficiencia y sostenibilidad.

Se recomienda a los ingenieros civiles considerar en sus prácticas de diseño y ejecución de concreto la incorporación de materiales alternativos y sostenibles, como la escoria de electrodos, evaluando de manera rigurosa su viabilidad técnica, económica y ambiental en los proyectos de construcción, a fin de promover mezclas más eficientes, sostenibles y acordes con las necesidades actuales del sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto Castillo, F. (2016). *Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas)*. Obtenido de <https://acortar.link/BnrPp9>
- Almaraz, A. (2015). *Como controlar la escoria en soldadura con facilidad*. ReparaTuCultivador.com. Obtenido de <https://n9.cl/fy1u>
- Alvarez Sifuentes, P., & Lozano Palma, M. (2021). *Repositorio Académico UPC*. Obtenido de 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: <http://hdl.handle.net/10757/657994>
- Díaz Galdos, M. & Millones Mateus, M. (2019). *Tecnología de Concreto – Texto universitario*. Obtenido de <https://n9.cl/hzcyx7>
- CONCRETO SUPERMIX. (2018). *Agregados para la elaboración de concreto*. Obtenido de <https://www.supermix.com.pe/agregados-para-la-elaboracion-de-concreto/>
- Escobedo Serranio, M. & Cordova Alvarez, J. (2022). *Resistencia a la compresión axial del concreto $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ diseñado con material Árido artificial (Escoria Siderúrgica) reemplazando el agregado fino en porcentajes de 10%, 15% Y 20%*. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/item/610aa1d3-8d1c-435a-9597-a955655b1d53>
- Espinoza, L., & Escalante, I. (2011). *Comparación de las propiedades del concreto utilizando escoria de alto horno como reemplazo parcial y total del cemento Pórtland ordinario*. Nexo Revista Científica, 21(1), 11-18. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5006296>
- Hernández Doria, E. & Rojas Montañez, J. (2022). *Estudio de la resistencia a la compresión del concreto, con vidrio molido reciclado como sustituto parcial del agregado fino*. Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/27150>
- Kosmatka, S. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de concreto*. Obtenido de <https://acortar.link/e1qFTL>
- Montoya Maldonado, L. & Aragón Cáceres, S. (2022). *Determinación de la resistencia a la compresión del concreto reciclado para construcciones ecoeficientes en la*

ciudad de Tacna, 2022. Obtenido de <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2376>

Pasquel Carbajal, E. (1998). *Temas de tecnología del concreto en el Perú*. Colegio de Ingenieros del Perú.

Patricia León, M., & Ramirez, F. (2010). *Revista ingeniería de construcción*. Obtenido de Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732010000200003&script=sci_arttext&tlng=pt

Prieto, C. & Montaña, A. (2019). *Evaluación Mecánica y Ambiental del Uso de Ceniza Volante con Activación Alcalina como Alternativa de Reemplazo Total del Cemento en la Elaboración de Tabletas Prefabricadas*. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300067>

Quispe Tacca, F., & Ortiz Mamani, M. (2020). *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. Obtenido de Análisis del comportamiento del concreto con la inclusión de escoria de cobre utilizando agregado de las canteras Icu de Ilo y la poderosa de Arequipa: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/1153>

Rosaura Vásquez . (2012). *Cemento y sus aplicaciones*. Obtenido de https://www.academia.edu/download/54684224/100611_Cemento_y_sus_aplicaciones.pdf

Sanjuán Barbudo, M. Á., & Chinchón Yepes, S. (2014). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland*. Universidad de Alicante.

Sarmiento Mejía, Z., & Huisa Ccori, C. (2008). *Sustitución de los Agregados por Escoria de Cobre en la Elaboración*. Obtenido de <https://acortar.link/NAbOe6>

Riva Lopez, E. (2004). *Naturaleza y Materiales del concreto*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/311561745/Concreto-Riva-Lopez>

Tahuiton Mora, A., Muciño Vélez, A. & Guillen Guillen, C. (2022). *Desempeño mecánico de concretos con agregados RCD, por método ACI y por volumen*. Obtenido de <https://doi.org/10.22201/fa.2007252xp.2022.26.84153>

Zuñiga Quenta, M. & Condori Chata, Y. (2019). *Influencia de Adiciones de Microsílice en la Resistencia a la Compresión del Concreto Producido con Agregados de la Cantera de Arunta de la Ciudad de Tacna*. Obtenido de <https://acortar.link/wsHOWD>

ANEXOS

Anexo N° 1. Matriz de consistencia

Tesis: "Evaluación de la incorporación de escoria de electrodos para mejorar la resistencia a la compresión del concreto en las construcciones de la región Tacna - 2025"

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables e Indicadores	Método de Investigación
<p>1. Interrogante Principal</p> <p>¿Cómo la incorporación de escoria de electrodos en la mezcla de concreto mejora la resistencia a la compresión en construcciones de la región de Tacna?</p> <p>2. Interrogantes Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las propiedades químicas de la escoria de electrodos y cómo se compatibilizan con las del Cemento Portland IP? • ¿Cómo afecta la sustitución de cemento por escoria en porcentajes del 0%, 4%, 8% y 12% en la resistencia a la compresión del concreto? • ¿Cuál es el impacto económico de la utilización de escoria de electrodos como sustituto parcial del cemento en la producción de concreto en la región de Tacna?" 	<p>1. Objetivo General</p> <p>Evaluar y demostrar cómo la incorporación de escoria de electrodos en la mezcla de concreto puede mejorar la resistencia a la compresión del concreto en construcciones de la región de Tacna.</p> <p>2. Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar cómo las propiedades químicas se compatibilizan con las del Cemento Portland IP y contribuyen a la mejora de la resistencia a la compresión del concreto en construcciones de la región de Tacna. • Comparar los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión entre las mezclas de concreto con porcentajes de sustitución del 0%, 4%, 8% y 12% de escoria de electrodos. • Cuantificar y analizar el impacto económico de la sustitución de cemento por escoria de electrodos en la producción de concreto en la región de Tacna. 	<p>1. Hipótesis General</p> <p>La incorporación de escoria de electrodos en la mezcla de concreto resulta en un aumento significativo en la resistencia a la compresión de las estructuras de concreto en la región de Tacna.</p> <p>2. Hipótesis Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las propiedades químicas de la escoria de electrodos y cemento Portland IP se compatibilizan y tendrá un impacto positivo en la resistencia a la compresión del concreto en construcciones de la región de Tacna. • A medida que aumenta el porcentaje de sustitución de cemento por escoria de electrodos, la resistencia a la compresión del concreto también aumentará de manera proporcional. • La sustitución de cemento por escoria de electrodos tiene un impacto económico significativamente diferente en comparación con el uso de concreto convencional 	<p>Variable Independiente:</p> <p>Incorporación de Escoria de Electrodos</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Composición Química de la Escoria • Granulometría y porcentaje de sustitución de la Escoria • Tipo de Electrodo utilizado <p>Variable Dependiente:</p> <p>Resistencia a la Compresión del Concreto</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la compresión (Kg/cm²) a 7, 14 y 28 días. • Numero de especímenes por edad. • Análisis de Precios Unitarios. 	<p>1. Tipo de Investigación</p> <p>Investigación aplicada</p> <p>2. Diseño de Investigación</p> <p>Experimental</p> <p>3. Población</p> <p>Construcciones de la Región Tacna</p> <p>4. Técnicas de Recolección De Datos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Experimentos de Laboratorio • Revisión de Documentos • Observación <p>5. Instrumentos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Protocolo para ensayo de materiales • Diseño de mezclas • Protocolo para pruebas a compresión • Prensa hidráulica • Software de análisis de datos – Excel